

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ISABELA DOMINGUES CANÊDO

POTENCIAL DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Varronia curassavica*
Jacq. NO CONTROLE DE *Fusarium oxysporum*

VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025

ISABELA DOMINGUES CANÊDO

POTENCIAL DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Varronia curassavica* Jacq.
NO CONTROLE DE *Fusarium oxysporum*

Relatório final, apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Bióloga.

Orientadora: Maira Christina Marques Fonseca

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2025

ISABELA DOMINGUES CANÊDO


POTENCIAL DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Varronia curassavica*
Jacq. NO CONTROLE DE *Fusarium oxysporum*

Relatório final, apresentado à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do
título de Bióloga.

Orientadora: Maira Christina Marques Fonseca


APROVADA: 29 de janeiro de 2025.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 ISABELA DOMINGUES CANEDO
Data: 01/02/2025 16:01:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Isabela Domingues Canêdo

Autora

Documento assinado digitalmente
 MAIRA CHRISTINA MARQUES FONSECA
Data: 01/02/2025 15:15:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maira Christina Marques Fonseca

Orientadora

Agradecimentos

A Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade concedida.

Ao curso de Ciências Biológicas – Bacharelado pelos conhecimentos extraordinários repassados.

À minha orientadora Maira pelo apoio e carinho oferecidos durante o último ano e pelas valiosas lições de vida.

Às minhas colegas de laboratório Alessandra e Adalgisa pela orientação e apoio oferecidos na elaboração deste trabalho e ao exemplo de força e resiliência.

Às minhas colegas de laboratório Mariane e Nathalia pelo apoio, oportunidade de aprendizagem e pelos momentos maravilhosos.

Ao Matias pela valiosa companhia e apoio durante os últimos anos.

Aos meus pais José Ronaldo e Sayonara pela oportunidade de estudar e pelo suporte oferecidos.

Resumo

CANÊDO, Isabela, D., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2025. **Potencial do óleo essencial de *Varronia curassavica* Jacq. no controle do fungo *Fusarium oxysporum*.** Orientador: Maira Christina Marques Fonseca.

As plantas medicinais produzem metabólitos secundários comumente utilizados como recursos terapêuticos, dentre eles destacam-se os óleos essenciais, os quais também podem apresentar potencial de uso no controle de fungos fitopatogênicos de importância agrícola. *Varronia curassavica* Jacq., Boraginaceae, é popularmente conhecida como erva baleeira e apresenta propriedades anti-inflamatórias e diversas pesquisas têm evidenciado significativa atividade antifúngica e antimicrobiana do óleo essencial extraído de suas folhas. O fungo *Fusarium oxysporum* é um fitopatógeno de solo que causa murcha vascular em culturas de grande importância agrícola. O objetivo deste trabalho foi avaliar “in vitro” a atividade antifúngica do óleo essencial de *Varronia curassavica* sobre *Fusarium oxysporum*. O óleo essencial foi extraído das folhas da erva baleeira por hidrodestilação em aparelho Clevenger por 4h, e, posteriormente diluído em meio batata-dextrose-ágar (BDA) com dimetilsulfóxido (DMSO) (1%), nas concentrações 0, 500 e 3000 mg L⁻¹, sendo a concentração 0 mg L⁻¹ o controle. Um volume de 20 mL de meio contendo as respectivas concentrações do óleo foi vertida em placas de Petri estéreis descartáveis. Após a solidificação do meio inseriu-se um disco de 5,23 mm do micélio do fungo *F. oxysporum* no centro de cada placa, a qual incubou-se em BOD à 26°C com fotoperíodo de 12h durante seis dias. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. A percentagem de redução do crescimento micelial do fungo em relação ao controle foi calculada em função das diferentes concentrações de óleo essencial testadas. O óleo da erva-baleeira nas concentrações 500 e 3000 mg L⁻¹ promoveu redução do crescimento micelial de 29,48% e 41,63% respectivamente, no último dia de avaliação. Concluiu-se que o óleo essencial extraído de folhas de *V. curassavica* apresenta potencial antifúngico no controle de *F. oxysporum*, sendo uma alternativa para compor novas formulações visando o controle deste fitopatógeno.

Palavras-chave: plantas medicinais; fitopatógenos; compostos voláteis; controle fitossanitário; constituintes fitoquímicos.

Abstract

CANÊDO, Isabela, D., Universidade Federal de Viçosa, January, 2025. **Potential of *Varronia curassavica* Jacq. essential oil on the control of the fungus *Fusarium oxysporum*.** Adviser: Maira Christina Marques Fonseca.

Medicinal plants produce secondary metabolites that are commonly used as therapeutic resources, which may also have potential for use in the control of agriculturally important phytopathogenic fungi. *Varronia curassavica* Jacq., Boraginaceae, is known as “erva baleeira” and has anti-inflammatory properties and several studies have shown significant antifungal and antimicrobial activity of the essential oil extracted from its leaves. The fungus *Fusarium oxysporum* is a soil-borne phytopathogen that causes vascular wilt in crops of great agricultural importance. The aim of this study was to evaluate the antifungal activity of *Varronia curassavica* essential oil on *Fusarium oxysporum* in vitro. The essential oil was extracted from the leaves of “erva baleeira” by hydrodistillation in a Clevenger apparatus for 4h and then diluted in potato-dextrose-agar (PDA) medium containing dimethyl sulfoxide (DMSO) (1%) at concentrations of 0, 500 and 3000 mg L⁻¹, with 0 mg L⁻¹ being the control concentration. A volume of 20 mL of culture medium containing the respective oil concentrations was poured into sterile, disposable Petri dishes. After the culture medium had solidified, a 5.23 mm disc of *Fusarium oxysporum* mycelium was inserted into the center of each plate, which was incubated in a BOD at 26°C with a 12h photoperiod for six days. The experiment was carried out in a completely randomized design with 4 replications. The percentage reduction in mycelial growth of the fungus in relation to the control was calculated according to the different concentrations of essential oil tested. “Erva baleeira” oil at concentrations of 500 mg L⁻¹ and 3000 mg L⁻¹ caused micelial growth reduction of 29,48% and 41,63%, respectively, on the last day of evaluation. It was concluded that the essential oil extracted from the leaves of *Varronia curassavica* has antifungal potential for controlling *F. oxysporum* and is an alternative for new formulations to control this phytopathogen

Keywords: medicinal plants; phytopathogens; volatile compounds; phytosanitary control; phytochemical constituents.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 <i>Varronia curassavica</i>	8
2.1.1 Propriedades medicinais.....	8
2.1.2 Óleo essencial e fatores que afetam sua produção.....	10
2.1.3 Atividade do óleo essencial em fitopatógenos fúngicos.....	11
2.2 <i>Fusarium oxysporum</i>	12
2.2.1 Descrição.....	12
2.2.2 Controle.....	13
3 OBJETIVOS	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 Obtenção dos isolados fúngicos	15
4.2 Obtenção do óleo essencial	16
4.3 Identificação dos constituintes químicos do óleo essencial	17
4.4 Método de diluição em ágar	17
4.5 Análises estatísticas	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5.1 Identificação dos constituintes químicos e rendimento do óleo essencial	18
5.2 Efeito do óleo essencial de <i>V. curassavica</i> sobre o crescimento micelial de <i>F. oxysporum</i>	21
6 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	25

1 Introdução

Os óleos essenciais são compostos complexos, aromáticos e voláteis constituídos principalmente por componentes lipofílicos apolares como, monoterpenos e sesquiterpenos (MARTIM, 2021). São produzidos por meio do metabolismo secundário vegetal e possuem diversas funções, dentre elas as relacionadas à defesa das plantas contra herbívoros e fitopatógenos (ERB M., 2020).

Os óleos essenciais são amplamente utilizados devido às suas propriedades medicinais: antifúngicas, antimicrobianas (DESAM, 2019; ABDULLAHI, 2020), antioxidantes (VELOSO, 2023), anti-inflamatórias (BRISTOT, 2021), dentre outras. Também são utilizados na indústria alimentícia (DAS, 2022; ZAFAR, 2024) e de cosméticos (CHANG, 2022), além do uso no controle de pragas (EBADOLLAHI, 2022; KIM, 2023) e doenças (DESAM, 2019; MUÑOZ CASTELLANOS, 2020; CHACÓN, 2021) em plantas cultivadas.

A produção de óleos essenciais pelas plantas é influenciada por diversos fatores: condições edafoclimáticas, sistema de cultivo, nutrientes do solo, irrigação, espaçamento entre plantas, época e horário de colheita, temperatura de secagem das plantas (FONSECA, 2023), método de extração (NIZIO, 2020) e forma de armazenamento do óleo (MARTIM, 2021). Nesse sentido, é necessário que cada etapa para obtenção do óleo essencial, desde o cultivo até a extração, seja feita utilizando tecnologias adequadas à cada espécie medicinal visando a qualidade fitoquímica e, conseqüentemente, a eficácia do produto final.

A erva baleeira (*Varronia curassavica*) é uma espécie medicinal nativa do Brasil, produtora de óleo essencial e usada principalmente por suas propriedades anti-inflamatórias (PASSOS, 2007; FERNANDES, 2007; BRISTOT, 2021), analgésicas, antirreumáticas, antiulcerogênicas, antimicrobianas (BRISTOT, 2021; MARTIM, 2021; GILBERT, 2022), antialérgicas (PASSOS, 2007) e antifúngicas (SILVA, J., 2024). Além das propriedades medicinais citadas, o óleo essencial da erva baleeira também tem mostrado potencial para controle de fitopatógenos de importância agrícola como, *Colletotrichum truncatum* (SILVA, A., 2012), *C. musae* (NIZIO, 2020), *Pseudocercospora griseola* (HOYOS, 2012), *Lasiodiplodia theobromae* (NIZIO, 2015) e *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (DA SILVA, 2020).

Dentre os fitopatógenos de importância agrícola, destaca-se o fungo *Fusarium oxysporum*, causador de murcha vascular em culturas amplamente cultivadas resultando em consideráveis perdas econômicas em todo o mundo (SEEPE, 2021). Por ser um patógeno de solo e possuir mecanismos de sobrevivência, como formação de clamidósporos, seu controle se torna mais difícil (SRINIVAS, 2019; GONÇALVES, 2021).

O uso indiscriminado de fungicidas sintéticos tem sido um grande problema no controle de fitopatógenos fúngicos, pois contribui para a resistência destes patógenos aos componentes, tornando-se inviável a continuidade de sua utilização (SEEPE, 2021). Além disso, pode resultar em impactos ambientais como contaminação de alimentos e da água e efeitos prejudiciais à saúde humana (PANTH, 2020; SEEPE, 2021). Neste contexto, o uso de óleos essenciais no controle de fitopatógenos pode ser vantajoso pois, a complexidade de sua composição química e a ação sinérgica entre os seus componentes podem intensificar os efeitos deletérios nos patógenos, otimizando seu controle e evitando o surgimento de patógenos resistentes (HOYOS, 2012; GONÇALVES, 2021), além de serem biodegradáveis, não tóxicos aos seres humanos e permitidos no sistema de cultivo orgânico (SEEPE, 2021; CHANG, 2022). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar “in vitro” a atividade antifúngica do óleo essencial da erva baleeira sobre *F. oxysporum*.

2 Revisão de Literatura

2.1. *Varronia curassavica*

2.1.1 Propriedades medicinais

Varronia curassavica Jacq. (erva baleeira) é uma espécie medicinal perene, arbustiva e aromática, pertencente à família Boraginaceae. Ocorre em quase toda América do Sul, América Central e México (MISSOURI BOTANICAL GARDEN). É amplamente distribuída na Amazônia, caatinga, cerrado, mata atlântica, pampa e ao longo da costa brasileira principalmente nas regiões de restinga (SILVA, 2020; MARTIM, 2021).

Essa planta medicinal é popularmente utilizada para tratamento de dores musculares decorrentes de pancadas, contusões e processos inflamatórios (BRISTOT, 2021). O extrato bruto da parte aérea dessa planta foi utilizado pelos indígenas por aplicação tópica para tratamento de inflamações (GILBERT, 2022). Vários estudos validaram a ação anti-inflamatória da erva baleeira e associaram este efeito principalmente aos componentes α -humuleno e (-) - trans-cariofileno (FERNANDES, 2007; PASSOS, 2007). Sendo o α -humuleno o componente marcador do óleo, um fator a partir do qual se baseia o controle de qualidade voltado para a produção de fitoterápicos com atividade antiinflamatória (MARQUES, 2019).

A erva baleeira consta na Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS (RENISUS) (GILBERT, 2022) e no Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira com indicação para o tratamento de sintomas advindos de processos inflamatórios locais por meio do uso tópico da infusão das folhas em forma de compressa ou do extrato alcoólico diluído em

gel base (Anvisa, 2021, 2º Edição p.57). Além disso, o óleo essencial da erva baleeira é a matéria prima para produção do fitoterápico Acheflan® (Achê), um anti-inflamatório nacional bastante utilizado (LEAL-COSTA, 2017; BRISTOT, 2021; MARTIM, 2021).

As folhas da erva baleeira possuem tricomas glandulares globulares, presentes na lâmina foliar e no pecíolo, onde é produzido e armazenado o óleo essencial que confere várias propriedades medicinais à planta (LEAL-COSTA, 2017). Passos (2007) verificaram a inibição da resposta edematogênica causada por *Apis mellifera* em ratos por meio da administração oral do óleo essencial da erva baleeira, evidenciando sua ação antialérgica e anti-inflamatória. Esses autores também sugeriram a existência de componentes do óleo com potencial no tratamento de artrite reumatoide.

O óleo essencial da erva baleeira demonstrou atividade antifúngica sobre *Candida albicans* e *Candida tropicalis*, patógenos oportunistas de grande importância médica, dos quais se tem elevada preocupação a respeito de sua resistência aos antifúngicos administrados na terapia convencional (SILVA, 2024). O óleo essencial também foi testado em *Candida krusei* pelos mesmos autores e não demonstrou atividade inibitória significativa, porém, quando administrado juntamente com o medicamento fluconazol, essa combinação promoveu a redução de 65% da concentração do medicamento requerido para a inibição do crescimento fúngico. Quando combinado com o fluconazol, o óleo essencial demonstrou inibição de 95% e 98% dos fungos *Candida albicans* e *Candida tropicalis*, respectivamente, mostrando alto potencial do uso do óleo essencial da erva baleeira como um agente complementar no tratamento de doenças fúngicas.

A erva baleeira é também utilizada popularmente na forma de extrato alcóolico, decocção e infusão por suas propriedades antiulcerogênicas, antimicrobianas, antirreumáticas, analgésicas e tônicas (PASSOS, 2007; MARTIM, 2021). O extrato alcóolico das folhas também apresentou atividade antioxidante em radicais livres sintéticos e espécies reativas de oxigênio de relevância biológica, o que provavelmente está relacionado com a presença de compostos fenólicos como, ácido rosmarínico, ácido caféico, derivados do ácido salvianólico e da quercetina (VELOSO, 2023).

Matias (2016) avaliaram a atividade antibacteriana de extratos (metanólico e hexânico) das folhas da erva baleeira em estirpes multirresistentes de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*. Os extratos demonstraram atividade antibacteriana moderada, porém, quando combinados com os antibióticos sintéticos testados, houve efeito sinérgico aumentando a eficácia dos antibióticos. As análises dos constituintes dos extratos evidenciaram a presença de compostos fenólicos e flavonoides como ácido gálico, quercetina, ácido cafeico,

ácido clorogênico e um glicosídeo fenólico não identificado, os quais estão relacionados com os efeitos antimicrobianos observados.

2.1.2 Óleo essencial e fatores que afetam sua produção

A composição química e o teor do óleo essencial podem variar de acordo com diversos fatores ambientais e genéticos (NIZIO, 2015; ABDULLAHI, 2020). A irradiância luminosa, por exemplo, afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas interferindo na translocação de assimilados entre os órgãos da planta e na produção de metabólitos secundários. Nesse sentido, foi observada maior frequência de tricomas glandulares na lâmina foliar da erva baleeira em resposta ao aumento na irradiância luminosa, resultando em maior teor e rendimento de óleo essencial. Quanto aos constituintes do óleo, derivados sesquiterpênicos, como o trans-cariofileno, foram mais abundantes nas plantas submetidas à maior irradiância, os monoterpenos α -pineno e β -pineno exibiram maiores teores nos valores intermediários de irradiância e o teor de α -humuleno permaneceu o mesmo, porém, sua concentração relativa aumentou em plantas cultivadas a pleno sol (FEIJÓ, 2014).

Marques (2019) verificaram diferenças no teor de α -humuleno entre acessos de diferentes locais e épocas de colheita. Plantas colhidas durante a primavera no Rio de Janeiro obtiveram maior teor de α -humuleno comparadas com os outros acessos. Já o teor de (E)-cariofileno variou entre os acessos dos diferentes locais, porém não variou entre as estações do ano. Maior rendimento de óleo essencial de *Varronia curassavica* cultivada em Minas Gerais foi obtido durante o inverno nos espaçamentos de 0,8 x 1,0 m e 1,0 m x 1,0 m (FONSECA, 2023), sendo que o teor de α -humuleno permaneceu dentro dos padrões recomendados pela Farmacopéia Brasileira. As variações genéticas entre e dentro de populações e/ou a interação do genótipo com o ambiente estão também associadas a variações dos constituintes químicos de indivíduos de *Varronia curassavica* acarretando diferenças nas atividades biológicas do óleo essencial (NIZIO, 2015). Nizio (2015) avaliou populações de erva baleeira nativas do nordeste brasileiro e, as plantas agrupadas em 3 grupos (clusters 2, 4 e 5) de acordo com seus constituintes químicos majoritários, revelaram maior inibição do crescimento micelial do fitopatógeno *Lasiodiplodia theobromae* em comparação com os outros grupos químicos analisados. Os autores sugeriram que esse efeito pode ter sido devido aos diferentes componentes majoritários do óleo essencial dos indivíduos desses 3 grupos.

A temperatura de secagem das plantas medicinais também afeta o rendimento e teor de óleo essencial, bem como, sua caracterização química, devido às diferentes temperaturas em que os componentes do óleo volatilizam. Para a secagem das folhas da erva baleeira em estufa

com circulação de ar forçada, à temperatura de 40°C resultou em maior rendimento de óleo essencial em comparação com temperaturas mais altas (FONSECA, 2023). Por outro lado, a temperatura não influenciou os constituintes majoritários α -humuleno e trans-cariofileno, pois são sesquiterpenos menos voláteis. Considerando o α -pineno, um monoterpene que possui alta volatilidade, a temperatura mais alta testada, 60°C, resultou em menor teor deste constituinte.

O método de extração do óleo essencial é outro fator que pode acarretar variações nos constituintes químicos, bem como, na sua atividade biológica. Nizio (2020) avaliou os efeitos da extração do óleo essencial da erva baleeira por hidrodestilação e por microondas nos constituintes químicos do óleo. Dentre todos os constituintes analisados, o germacreno D-4-ol foi o que apresentou maior diferença entre os métodos de extração, sendo a hidrodestilação o método que promoveu maior teor desse composto. De acordo com os autores, as diferenças nos teores dos constituintes químicos dos óleos essenciais da erva baleeira obtidos por diferentes métodos de extração podem ter promovido variação na atividade inibitória sobre o fungo fitopatogênico *Colletotrichum musae*. Dentre os compostos majoritários encontrados no óleo, apenas o germacreno D-4-ol foi reportado como tendo atividade antifúngica. Esse fato pode explicar a maior inibição do fungo pelo óleo essencial extraído por hidrodestilação.

2.1.3 Atividade do óleo essencial em fitopatógenos fúngicos

Os estudos sobre o controle de fungos fitopatogênicos utilizando o óleo essencial extraído de folhas da erva baleeira são escassos. Foram relatados efeitos sobre fungos do gênero *Colletotrichum* como, a inibição do crescimento micelial in vitro (NIZIO, 2020) e a inibição da produção de conídios (SILVA, 2012). Espécies do gênero *Colletotrichum* são comumente causadoras de antracnose em plantas cultivadas e seus frutos. *C. musae*, por exemplo, é um dos principais causadores da deterioração pós-colheita de banana causando grandes perdas econômicas. O óleo essencial da erva baleeira inibiu o crescimento micelial de *C. musae*, em todas as concentrações testadas (0.05, 0.1, 0.5, 1.0 e 3%), até 72h de incubação, evidenciando o potencial do uso deste óleo para a preservação da banana durante o seu transporte e armazenamento até chegar ao consumidor sem sinais de deterioração causada pela doença (NIZIO, 2020).

Por outro lado, o óleo essencial da erva baleeira não exibiu efeitos muito significativos na redução do crescimento micelial de *C. truncatum* in vitro, porém, inibiu drasticamente a esporulação do fungo e reduziu a germinação dos conídios, fatores que diminuem o potencial de dispersão e infecção do patógeno em um sistema de cultivo (SILVA, 2012). Além disso, os mesmos autores evidenciaram a redução da incidência do patógeno em sementes de soja

inoculadas tratadas com o óleo essencial da erva baleeira em todas as concentrações testadas, sem apresentar sinais de fitotoxicidade. Na concentração de 0,5%, o óleo essencial apresentou eficácia similar ao fungicida carbendazim e, nas concentrações maiores, foi mais eficiente.

O óleo essencial da erva baleeira também inibiu a germinação de conídios de duas estirpes de *Pseudocercospora griseola* nas concentrações de 0,1% (96 e 94% de inibição) e 0,5% (98 e 99% de inibição), representando potencial para o controle da mancha angular do feijoeiro (HOYOS, 2012).

De acordo com Nizio (2015), os óleos essenciais de diferentes quimiotipos originados de populações nativas da erva baleeira (Clusters 2, 4 e 5) foram capazes de inibir o crescimento micelial in vitro de *Lasiodiplodia theobromae* em 78,3% (Cluster 2), 71,7% (Cluster 4) e 73% (Cluster 5) na concentração de 3%, mostrando potencial no controle desse organismo. Este fungo fitopatogênico possui grande importância no cultivo de frutos tropicais, causando consideráveis perdas durante o cultivo e pós-colheita, sendo que, seu controle ou a redução da velocidade do crescimento micelial contribuem para prevenir danos causados pelo fungo nos frutos até chegar ao consumidor.

Foi relatada atividade antifúngica de componentes isolados de plantas medicinais, que estão presentes também na erva baleeira, como o ácido gálico, com inibição de 70% do crescimento de *Fusarium solani* na concentração de 500 ppm (SEEPE, 2021), o α -pineno (ABDULLAHI, 2020) e o germacreno D-4-ol (NIZIO, 2020). Porém não foram encontrados na literatura artigos sobre a atividade antifúngica do óleo essencial extraído das folhas de erva baleeira em espécies do fungo *Fusarium*.

2.2. *Fusarium oxysporum*

2.2.1 Descrição

O gênero *Fusarium* é composto de espécies patogênicas e não-patogênicas, sendo que, as espécies patogênicas conhecidas podem causar doenças em plantas e seres humanos (SEEPE, 2021). Algumas são produtoras de micotoxinas, o que gera grandes preocupações para a indústria de alimentos e para a saúde pública (SRINIVAS, 2019; ZAFAR, 2024). Muitas espécies do gênero *Fusarium* causam doenças em plantas cultivadas como milho, trigo, arroz, batatas, tomate, feijão, sorgo, banana, cana de açúcar, manga e outras culturas economicamente importantes. *Fusarium oxysporum* é um patógeno de solo causador de murcha vascular em diversas culturas como tomate, pepino, melancia e trigo (SEEPE, 2021) e possui diferentes *formae speciales* que infectam hospedeiros específicos (JOSHI, 2018; SRINIVAS, 2019).

Este fungo infecta as plantas a partir das raízes e, posteriormente, coloniza os vasos

xilemáticos obstruindo-os devido ao crescimento do micélio e à formação de esporos (JOSHI, 2018; SRINIVAS, 2019; MUÑOZ CASTELLANOS, 2020). O processo de obstrução dos vasos xilemáticos é acelerado devido à resposta de defesa das plantas como a produção de tiloses, géis, gomas e a proliferação de células parenquimáticas que ajudam a inibir o crescimento e dispersão do fungo pela planta (JOSHI, 2018; SRINIVAS, 2019). A obstrução do xilema impede a condução de água através da planta causando um dos sintomas mais comuns, a murcha (SRINIVAS, 2019), podendo ocorrer também o amarelecimento das folhas, escurecimento do tecido vascular, o atrofiamento e morte da planta, além de causar necrose em raízes e *damping off* de plântulas (JOSHI, 2018).

O fungo *F. oxysporum* pode sobreviver por longos períodos no solo na ausência do hospedeiro graças a sua capacidade de produzir esporos assexuados bastante resistentes, os clamidósporos (SRINIVAS, 2019; GONÇALVES, 2021) e os micro e macroconídios, além de poder sobreviver como micélio de forma saprofítica em restos culturais (AKHTER, 2016). Seus micros e macroconídios podem permanecer dormentes no solo por até 30 anos, o que dificulta seu controle (JOSHI, 2018). A disseminação do fungo pode ocorrer através do ar, água de irrigação, sementes e materiais propagativos infectados, ferramentas e maquinários (JOSHI, 2018; SRINIVAS, 2019).

2.2.2 Controle

Doenças de solo causam grande limitação à produção agrícola em todo o mundo, resultando em acentuadas perdas de produtividade e, para controlar essas doenças são necessárias aplicações frequentes de fungicidas sintéticos e fumigantes (PANTH, 2020). Porém, esses produtos possuem limitações e quando usados indiscriminadamente podem causar grandes impactos ambientais como, aumento da resistência dos patógenos aos seus constituintes, danos a organismos não alvo, contaminação das águas e toxicidade aos seres humanos, além de não serem recomendados para o cultivo orgânico (PANTH, 2020; SEEPE, 2021).

No passado, a utilização do brometo de metila como fumigante era bastante comum para a esterilização do solo e controle de espécies de *Fusarium* e outros microrganismos patogênicos do solo. O brometo de metila é uma substância que causa danos à camada de ozônio além de ser tóxico para os seres humanos, causando danos neurológicos e nos pulmões, sendo assim, seu uso foi banido (PANTH, 2020; SEEPE, 2021).

Neste sentido, diversas abordagens mais sustentáveis foram desenvolvidas ao longo do tempo para controlar patógenos de solo sem impactar o ecossistema negativamente, como, por exemplo, rotação de culturas, solarização do solo, utilização de biofumigantes, desenvolvimento

de cultivares resistentes, utilização de controle biológico, bem como, o uso de compostos extraídos de plantas (PANTH, 2020).

Os estudos sobre uso de óleos essenciais no controle de espécies de *Fusarium* têm se intensificado ao longo dos anos, principalmente devido ao fato de os óleos essenciais serem facilmente degradáveis e apresentarem baixo risco à saúde humana e à animais não alvo (SEEPE, 2021). Óleos essenciais têm apresentado potencial no controle de *Fusarium oxysporum*, e, alguns deles, evidenciaram efeitos similares à fungicidas sintéticos comumente utilizados. Por exemplo, os óleos essenciais de tomilho, cravo, funcho, alecrim-pimenta, anis, lavanda, manjeriço, melaleuca e sálvia em determinadas concentrações (7, 9, 15, 30, 30, 50, 70 e 50 $\mu\text{L}/10\text{ mL}$ PDA, respectivamente) tiveram o mesmo efeito do fungicida sintético Prosaro 250 EC, que inibiu completamente o crescimento micelial. O menor valor de IC50 foi para o óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*), que também mostrou completa inibição do crescimento micelial do fungo na menor concentração testada (3 $\mu\text{L}/10\text{ mL}$ PDA), evidenciando o melhor efeito antifúngico entre os óleos testados (PALFI, 2019).

O óleo essencial de gengibre (*Zingiber officinale*) é um potente antifúngico promovendo inibição de 50% e 100% do crescimento micelial de *F. oxysporum* in vitro nas concentrações de 1 $\mu\text{l}/\text{mL}$ e 5 $\mu\text{l}/\text{mL}$, respectivamente (ABDULLAHI, 2020). O óleo essencial de *Origanum vulgare* inibiu o crescimento micelial in vitro de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* em 100% na concentração de 323 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (GONÇALVES, 2021). De acordo com os mesmos autores, o óleo essencial de orégano promoveu efeito protetivo em sementes de tomate na concentração de 1,200 $\mu\text{g mL}^{-1}$, reduzindo a incidência da doença nas plântulas sem causar efeitos fitotóxicos. A sua ação fungicida foi equivalente à do fungicida comercial evidenciando sua utilização como alternativa no controle da doença em casas de vegetação. Os óleos essenciais de *Mentha x piperita* L. (DESAM, 2019) e *Eugenia caryophyllata* também mostraram forte atividade fungicida contra *F. oxysporum* em testes in vitro (MUÑOZ CASTELLANOS, et al., 2020).

O desenvolvimento de patógenos resistentes ocorre, muitas vezes, devido ao uso prolongado do mesmo princípio ativo no controle. Assim, é recomendado realizar aplicações de fungicidas com diferentes modos de ação além de se atentar às boas práticas agrícolas para prevenir o desenvolvimento da doença na área. Cultivos com menores impactos da doença devem ser conduzidos primeiramente utilizando-se abordagens integrativas de manejo sendo o uso de fungicidas sintéticos a última opção a se considerar (PANTH, 2020). Nesse contexto, o uso de óleos essenciais no controle de fitopatógenos pode ser de grande valia, visto a complexidade de sua composição química e seus diferentes modos de ação (HOYOS, 2012):

ruptura da integridade da parede celular fúngica por meio da inibição da síntese de quitina e β -glucanos, disrupção da integridade da membrana celular pela inibição da biossíntese de ergosterol, inibição da cadeia de transporte de elétrons da mitocôndria e do bombeamento de prótons, da divisão celular via interferência na polimerização dos microtúbulos, da síntese de ácidos ribonucleicos e desoxirribonucleicos ou da síntese de proteínas e de bombas de efluxo (SEEPE, 2021).

3 Objetivos

3.1 Objetivo geral:

Este trabalho teve como objetivo avaliar “in vitro” a atividade antifúngica do óleo essencial de *Varronia curassavica* Jacq. sobre o fungo *Fusarium oxysporum*.

3.2 Objetivos específicos:

- Extrair o óleo essencial das folhas da erva baleeira cultivada em sistema orgânico;
- Identificar os constituintes do óleo;
- Avaliar o efeito do óleo essencial da erva baleeira no crescimento micelial do fungo *Fusarium oxysporum* in vitro.

4 Materiais e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Agroecologia da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG Sudeste) localizado em Viçosa - MG.

4.1 Obtenção dos isolados fúngicos

O fungo (*Fusarium oxysporum*) foi isolado e cedido pelo Laboratório de Fitopatologia da UFV. O repique dos fungos foi realizado em câmara de fluxo laminar. Fragmentos de micélio e esporos do fungo foram transferidos para placas de Petri descartáveis e estéreis contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA), utilizando-se alça de repicagem. Posteriormente, as placas foram incubadas em câmara BOD à 26°C, com fotoperíodo de 12h até que o fungo colonizasse toda a superfície da placa.

4.2 Obtenção do óleo essencial

Os ramos de erva-baleeira foram colhidos em área de cultivo orgânico no Campo Experimental da EPAMIG, em Oratórios-MG, Brasil (20°25'49" S; 42°48'20" O) (Figura 1),

no dia 22 de novembro de 2024 pela manhã. As folhas foram destacadas dos ramos e secas em estufa com circulação forçada de ar a 40°C até peso constante. Posteriormente, as folhas secas foram colocadas em sacos plásticos de polietileno selados para evitar a reabsorção de umidade, os quais foram acondicionados em sacos de papel Kraft para proteger da luz, até o momento da extração do óleo essencial.

O óleo essencial foi extraído de folhas secas, por hidrodestilação, durante 4h, em aparelho Clevenger modificado utilizando-se balão de vidro de fundo redondo de 1000 mL. Em cada balão foram adicionados 500 mL de água destilada e 120 g de folhas secas. As amostras do óleo foram armazenadas em frascos de vidro protegidos da luz, em geladeira a 14°C até o momento da análise dos constituintes do óleo.

Figura 1 - Cultivo da erva baleeira no Campo Experimental da EPAMIG, Oratórios-MG.



Fonte: Autores

4.3 Identificação dos constituintes químicos do óleo essencial

As análises da composição química do óleo essencial de folhas desidratadas da erva baleeira foram realizadas em um cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massas tipo quadrupolo (GCMS-QP2010) da Shimadzu (Kyoto, Japão) usando um sistema de injeção

automática (AOC-20i.). A separação cromatográfica dos componentes dos óleos foi realizada em uma coluna capilar (SH-Rtx-5MS) cuja fase estacionária é composta de 5% fenil e 95% dimetilpolissiloxano (30 m x 0,25 mm D.I.; 0,25 µm de espessura de filme). O hélio (grau de pureza 99,999%, White Martins, Brasil) foi utilizado como gás de arraste, a uma vazão de 1,15 mL min⁻¹. A programação de temperatura da coluna consistia em manter a temperatura inicial a 50 °C por 1 min, aquecer a uma taxa de 3°C min⁻¹ até 150 °C e manter esta temperatura por 10 min e em seguida um aumento de 20°C até 260 °C, permanecendo nesta temperatura por 10 min. O tempo total de cada análise foi de 59,33 min. A temperatura da injeção foi ajustada para 270 °C. Os parâmetros operacionais significativos do espectrômetro de massas foram: temperatura de interface de 300 °C; ionização por impacto de elétrons a 70 eV com uma faixa de massa de 35-500 m/z. 1 µL da mistura de alcanos lineares C₇-C₄₀ (Sigma Aldrich®) foi injetada no cromatógrafo sob as mesmas condições de análise (modo *Scan*) do óleo essencial de erva baleeira dissolvido em etanol (split 1:100). Os constituintes químicos do óleo foram identificados com base na comparação de seu tempo de retenção e espectros de massa, com dados disponíveis na Biblioteca do National Institute of Standards and Technology (*NIST 14*) e com dados da literatura (ADAMS, 2007).

Os índices aritméticos foram calculados através da Equação (1) respectivamente para cada um dos compostos:

$$AIX=100Pz+100[(RTx-RTPz)(RTPz+1-RTPz)] \quad (1)$$

Onde:

X: é o composto de interesse;

Pz: é o número de átomos de carbono do hidrocarboneto com tempo de retenção imediatamente anterior ao tempo de retenção de X;

RTx: é o tempo de retenção de X;

RTPz: é o tempo de retenção de Z;

RTPz +1: é o tempo de retenção do hidrocarboneto com tempo de retenção imediatamente posterior ao tempo de retenção de X.

4.4 Método de diluição em ágar

Para o preparo do meio de cultura foram dissolvidos no interior de erlenmeyers de 250 mL 3,9 g de meio Batata-Ágar-Dextrose (BDA) em 100 mL de água destilada e após acrescentou-se 1 mL de dimetilsulfóxido (DMSO), um solvente orgânico usado para dissolver o óleo favorecendo sua homogeneização ao meio. Os erlenmeyers contendo o meio de cultura foram tampados com algodão, gaze e papel alumínio e esterilizados em autoclave.

O óleo essencial foi diluído nas concentrações de 500 mg L⁻¹ e 3000 mg L⁻¹ no meio BDA preparado, quando este se encontrava em estado líquido à aproximadamente 45°C. Nesta temperatura também reduz-se a volatilização dos constituintes do óleo essencial. As concentrações foram escolhidas com base em testes preliminares. Verteu-se 20 mL do meio contendo as respectivas concentrações do óleo essencial em placas de Petri de plástico esterilizadas de 9 cm. Placas contendo apenas o meio BDA e DMSO foram utilizadas como controle. Discos de micélio de 5,23 mm de diâmetro da colônia do fungo foram colocados no centro de cada placa de Petri. As placas foram incubadas em BOD à 26°C com fotoperíodo de 12h durante seis dias. O diâmetro das colônias (Dc) foi obtido a partir da média de duas medidas diametralmente opostas utilizando-se paquímetro digital. As medidas foram feitas diariamente durante cinco dias, sendo a primeira, após 48h de incubação. A porcentagem de redução do crescimento micelial do fungo em relação ao controle foi calculada em função das diferentes concentrações do óleo essencial testadas utilizando-se a Equação 2:

$$\% \text{ redução do crescimento micelial} = \frac{Dc \text{ tratamento controle} - Dc \text{ tratamento com óleo} \times 100}{Dc \text{ tratamento controle}} \quad (2)$$

4.5 Análises estatísticas

O experimento foi conduzido segundo um esquema de parcela subdividida no tempo, tendo nas parcelas os tratamentos (controle e duas concentrações do óleo de *V. curassavica*, sendo T2 = 500 mg L⁻¹ e T3 = 3000 mg L⁻¹), e, nas subparcelas os dias de avaliação do diâmetro do micélio fúngico (1, 2, 3, 4 e 5), no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições.

Para comparar as médias das duas concentrações do óleo de *V. curassavica*, testadas (T2 = 500 mg L⁻¹ e T3 = 3000 mg L⁻¹), com o tratamento controle (0 mg L⁻¹), a cada 24 horas, durante 5 dias foi utilizado o teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. As médias também foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 5 % de probabilidade.

5 Resultados e Discussão

5.1 Identificação dos constituintes químicos e rendimento do óleo essencial

Os rendimentos dos óleos essenciais (Tabela 1) foram expressos em porcentagem de óleo essencial em relação à matéria seca do produto (% m.s) de acordo com a Equação 3. Foram utilizadas 120 g de folhas secas da erva baleeira em cada extração (n=3).

$$\frac{(massa\ do\ frasco\ com\ óleo\ (g)) - massa\ do\ frasco\ vazio\ (g)}{massa\ inicial\ da\ amostra\ (g)} \times 100 \quad (3)$$

O rendimento do óleo essencial está representado na Tabela 1. Observa-se que o valor médio do rendimento do óleo essencial extraído das folhas secas da erva baleeira por hidrodestilação foi de 1,22 % m/m.

Tabela 1- Rendimento do óleo essencial extraído a partir das folhas secas de *V. curassavica*.

Óleo essencial de erva baleeira					
Frasco vazio (g)	Frasco com óleo (g)	Óleo puro (g)	Rendimento (%)	Rendimento médio (%)	Desvio padrão
15,94	17,420	1,48	1,233		
15,35	16,69	1,34	1,117		
16,13	17,55	1,22	1,017	1,22	0,11

Fonte: Autores

A composição química e a porcentagem relativa dos constituintes químicos identificados no óleo essencial extraído das folhas secas de erva baleeira constam na Tabela 2. Foram identificados 25 constituintes, sendo o α -pineno o majoritário (32,34%), o que corrobora com outros artigos científicos que analisaram a composição química de *Varronia curassavica* e evidenciaram o α -pineno como um dos compostos majoritários do óleo (DE CARVALHO, 2004; SCIARRONE, 2017; MARQUES, 2019; FONSECA, 2023; SILVA, 2024).

Os constituintes químicos identificados neste estudo estão entre os constituintes químicos identificados no óleo essencial extraído de folhas de erva baleeira e citados na literatura como, por exemplo: α -humuleno, espatulenol, α -pineno, aromadendreno, canfeno, germacreno-D, β -pineno, 1,8-cineol, β -elemeno, α -copaeno, δ -elemeno, β -mirceno e óxido de cariofileno (MARQUES, 2019; MARTIM, 2021; FONSECA, 2023).

Tabela 2 – Constituintes químicos identificados no óleo essencial extraído de folhas da erva baleeira por meio da análise de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS).

Número	Compostos	TR (min)	IRL _{calc}	IRL _{tab}	Área relativa (%)
1	α -Pineno	6,017	929	932	32,34
2	Canfeno	6,466	944	946	0,27
3	β -Pineno	7,358	973	974	1,32
4	β -Mirceno	7,906	991	988	0,77
5	o-Cimeno	9,180	1026	1022	0,9
6	Eucaliptol ou 1,8-cineol	9,237	1027	1026	1,06

7	Cânfora	13,615	1136	1141	0,82
8	Isobornil acetato	19,826	1280	1283	0,5
9	δ -Elemeno	22,038	1331	1335	0,49
10	α -Ylangeno	23,651	1370	1373	0,65
11	α -Copaeno	23,994	1378	1374	0,5
12	NI	24,255	1384	-----	0,23
13	β -Elemeno	24,360	1386	1389	1,35
14	α -Cedreno	25,032	1402	1410	0,56
15	α -Bergamoteno	25,429	1412	1411	26,31
16	α -Santaleno	25,525	1414	1416	2,18
17	α -Humuleno	26,877	1448	1452	6,25
18	Aromadendreno	27,086	1453	1458	12,39
19	Germacreno D	27,921	1474	1480	3,85
20	Guaieno	28,519	1488	1492	2,11
21	α -Farneseno	29,148	1504	1505	0,69
22	β -Cadineno	29,656	1517	1513	1,4
23	Espatulenol	31,743	1571	1577	0,74
24	Óxido de cariofileno	31,791	1573	1582	0,92
25	α -Santalol	35,485	1667	1674	1,4

TR - Tempo de retenção (min); IRL_{calc} - Índice de retenção linear calculado; IRL_{tab} - Índice de retenção linear tabelado (Adams, 2017) e NI- Não identificado.

Fonte: Autores

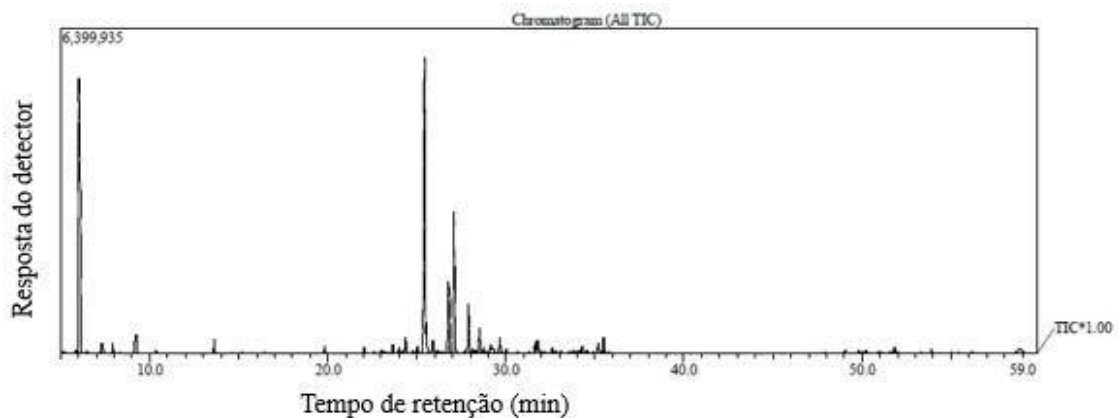
Atividades antifúngica e antibacteriana são atribuídas ao α -pineno (ABDULLAHI, 2020) inclusive contra patógenos do gênero *Candida*, como *C. parapsilosis* e *C. kruzei*, diminuindo a produção de blastoconídios e a transição para pseudo-hifas, importantes fatores de virulência desses fungos, além de demonstrar forte potencial antifúngico contra *Rhodotorula rubra* e *Penicillium chrysogenum* (ALLENSPACH, 2021). No trabalho de Silva (2024) são relatados possíveis modos de ação do α -pineno em fungos, como danos em organelas celulares, indução de estresse oxidativo, interrupção da produção de enzimas e formação de biofilmes e disrupção da permeabilidade das membranas por meio da sua ligação com o ergosterol.

Os outros constituintes majoritários do óleo identificados neste trabalho, como α -Bergamoteno (26,31%) e Aromadendreno (12,39%), diferem dos resultados de estudos feitos por outros autores (MARQUES, 2019; FONSECA, 2023; SILVA, 2024). Isso pode ter ocorrido devido a diferenças na época de colheita, região geográfica, condições edafoclimáticas, ataque de pragas ou patógenos, sistemas de cultivo e/ou a utilização de indivíduos advindos de

populações nativas, considerando que fatores genéticos também podem promover esse tipo de alteração. Nesse sentido, Da Silva (2020) avaliaram a composição química de diferentes genótipos da erva baleeira e evidenciaram diferenças nos constituintes químicos majoritários dos mesmos.

Segundo Nizio (2020), a inibição do crescimento micelial de *C. musae* promovida pelo óleo essencial de *V. curassavica* pode ser atribuída aos seus compostos majoritários. Porém, as ações sinérgicas entre os componentes majoritários e minoritários que constituem os óleos essenciais são relatadas e devem ser levadas em consideração (HOYOS, 2012) pois, podem também afetar a atividade biológica dos óleos (SILVA, 2014; NIZIO, 2020). Neste contexto, o composto germacreno-D, identificado no presente trabalho na concentração de 3,85%, pode ter contribuído sinérgicamente no efeito antifúngico do óleo, pois há relatos científicos sobre a atividade antifúngica do germacreno-D (BARROS, 2023).

Figura 2 - Cromatograma do óleo essencial extraído das folhas de *Varronia curassavica*.



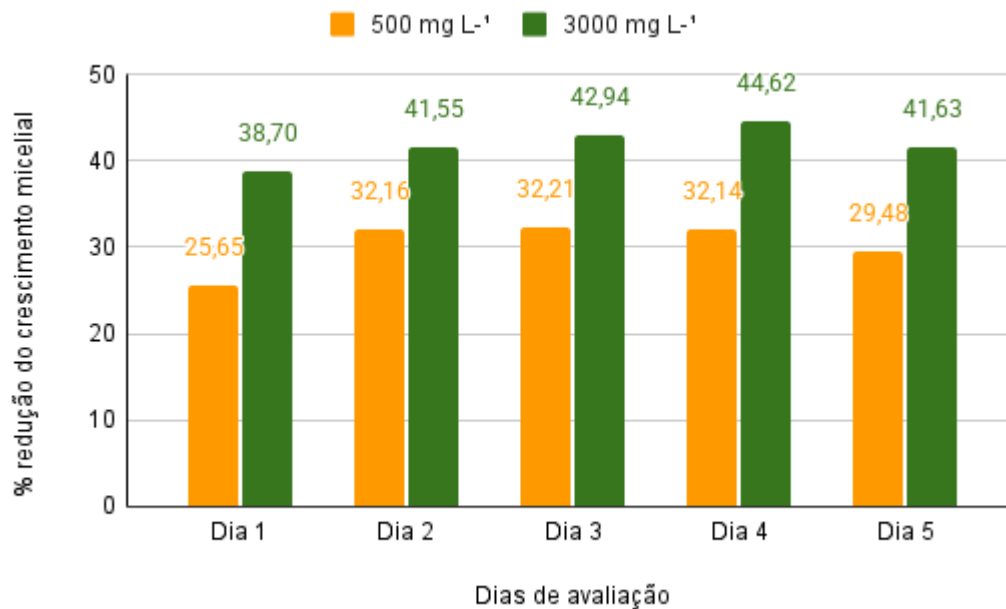
Fonte: Autores

5.2 Efeito do óleo essencial de *V. curassavica* sobre o crescimento micelial de *F. oxysporum*.

As concentrações do óleo essencial testadas, 500 e 3000 mg L⁻¹, exerceram efeito inibitório sobre *F. oxysporum* sendo que as porcentagens de redução do crescimento micelial variaram de 25,65% a 32,21% e de 38,7% a 44,62%, para as duas concentrações respectivamente (Gráfico 1). Apesar do óleo essencial não ter promovido efeito fungicida (100% de inibição), o crescimento micelial do fungo foi significativamente reduzido nas placas contendo o óleo essencial em comparação com o controle em todos os dias avaliados (Tabela 3 e Figura 3). Da mesma forma, o óleo essencial da erva baleeira, promoveu inibição do crescimento micelial de *C. musae* e *C. truncatum* em relação ao controle, nas concentrações de

0,05% e 2%, respectivamente, ainda que não tenha exercido efeito fungicida (SILVA, 2012; NIZIO, 2020). Os óleos essenciais de *Pimpinella anisum* (20 µg/mL) e *Satureja hortensis* (10 e 20 µg/mL), por outro lado, inibiram em 100% o crescimento micelial de *F. oxysporum*, exibindo efeito fungicida contra esses fungos (FERDES, 2017).

Gráfico 1- Porcentagem de inibição do crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* promovido pelo óleo essencial de *V. curassavica* nas concentrações de 500 e 3000 mg L⁻¹ durante os 5 dias de avaliação.



Fonte: Autores

Foi observado redução do crescimento micelial de *F. oxysporum* em função do aumento da concentração do óleo essencial de *V. curassavica* (Tabela 3 e Gráfico 2), sendo a concentração de 3000 mg L⁻¹ a que promoveu maior porcentagem de redução do crescimento micelial (41,63%) no último dia de avaliação em comparação com a concentração de 500 mg L⁻¹ (29,48%). Esses resultados corroboram com estudos feitos por outros autores que também evidenciaram maior atividade antifúngica (*Pseudocercospora griseola*, *Colletotrichum truncatum* e *Colletotrichum musae*, *Lasiodiplodia theobromae*) do óleo essencial da erva baleeira com o aumento da sua concentração (HOYOS, 2012; SILVA, 2012; NIZIO, 2015; NIZIO, 2020). Por outro lado, todas as concentrações do óleo essencial de *V. curassavica* testadas em *Oidium eucalypti* foram eficientes no seu controle, até mesmo as concentrações mais baixas (0,25 e 0,5%), não havendo diferenças significativas entre os tratamentos, o que sugere que a atividade antifúngica do óleo sobre esta espécie de fungo está mais correlacionada com o sinergismo entre as moléculas do que com a concentração absoluta (SILVA, 2014).

Os resultados das análises estatísticas mostraram diferenças significativas entre os tratamentos contendo as concentrações dos óleos essenciais da erva baleeira em todos os dias avaliados quando comparadas com o controle, sendo as médias dos diâmetros do fungo significativamente menores para a concentração de 3000 mg L⁻¹ (Tabela 3). Mas a concentração de 500 mg L⁻¹ também inibiu o crescimento micelial quando comparada com o controle e, apresentando potencial no controle do fungo.

Tabela 3 - Valores médios diários do diâmetro dos micélios (mm) de *Fusarium oxysporum* em função das concentrações (0, 500 e 3000 mg L⁻¹) do óleo essencial de erva baleeira (*V. curassavica*) e do tempo.

	DIÂMETROS				
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
CONTROLE	16,9 a	29,2 a	38,9 a	48,3 a	56,1 a
500 mg L ⁻¹	12,6 b*	19,8 b*	26,3 b*	32,8 b*	39,5 b*
3000 mg L ⁻¹	10,4 c*	17,1 c*	22,2 c*	26,7 c*	32,7 c*

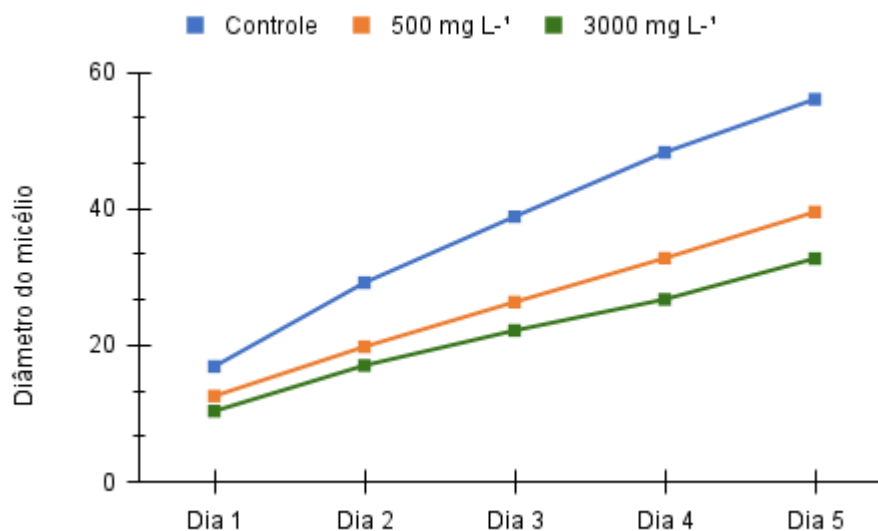
CV = 2,87

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

*Médias de tratamento diferem da média da testemunha pelo teste de Dunnett (P<0,05).

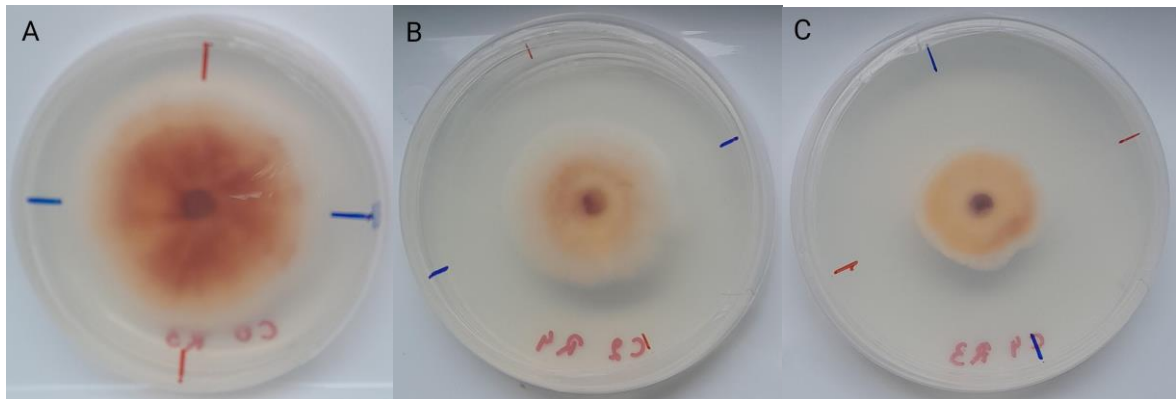
Fonte: Autores

Gráfico 2 - Estimativa do diâmetro dos micélios (mm) de *Fusarium oxysporum* cultivados em meio BDA, 26°C com fotoperíodo de 12h, contendo óleo essencial de erva baleeira (*V. curassavica*) nas concentrações (0, 500 e 3000 mg L⁻¹) durante 5 dias.



Fonte: Autores

Figura 3 - Colônias de *Fusarium oxysporum* cultivadas em meio BDA, contendo (A) 0 mg L⁻¹, (B) 500 mg L⁻¹ e (C) 3000 mg L⁻¹ de óleo essencial de erva baleeira (*V. curassavica*) 26°C por 5 dias.



Fonte: Autores

Devido à sua complexidade, os óleos essenciais podem exercer inúmeros efeitos sobre os fitopatógenos. Por exemplo, o óleo essencial da erva baleeira promoveu a lise das paredes das hifas, deformação dos conidióforos e diminuição da produção de conídios em *Oidium eucalypti* (SILVA, 2014). Hoyos (2012) evidenciou a degeneração da integridade da membrana plasmática e, conseqüentemente, perda de conteúdo citoplasmático, além de desorganização do citoplasma, ruptura da parede celular e extensiva disrupção da estrutura interna das mitocôndrias de conídios de *P. griseola* tratados com os óleos de *Cymbopogon martini*, *C. citratus* e *Eugenia caryophyllata*. Como não foram encontrados estudos a respeito da atividade antifúngica do óleo essencial de *V. curassavica* em *F. oxysporum*, seus exatos modos de ação neste fungo ainda são desconhecidos, sendo necessária a elaboração de mais pesquisas científicas a fim de elucidar seus efeitos sobre este fungo.

Os efeitos dos óleos essenciais sobre os fitopatógenos dependem da constituição química do óleo, da sua concentração e da suscetibilidade do patógeno, que pode variar de espécie para espécie (FERDES, 2017), bem como, entre diferentes estirpes de uma mesma espécie. Os óleos essenciais de diferentes quimiotipos da erva baleeira na concentração de 3% promoveram inibição do crescimento micelial de *Lasiodiplodia theobromae* em magnitudes variadas devido às diferenças em seus constituintes químicos majoritários (NIZIO, 2015). Dependendo da concentração do óleo, pode haver diferenças na inibição do fungo como, por exemplo, o óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* na concentração de 10 µg/mL inibiu o crescimento micelial de *F. oxysporum* em apenas 48%, já a concentração de 20 µg/mL, inibiu em 100% (FERDES, 2017). Numa concentração de 0,02%, os óleos essenciais de *Eugenia*

caryophyllata e *Cinnamomum* sp. inibiram quase totalmente (99,48 e 98,43%, respectivamente) a germinação de conídios de uma estirpe de *P. griseola* e, em contrapartida, inibiram apenas 50% da outra estirpe estudada, evidenciando uma variação de suscetibilidade de cada estirpe aos óleos essenciais (HOYOS, 2012).

Além disso, também foi observado que o óleo essencial da erva baleeira exerceu efeitos mais pronunciados na produção de conídios do que no crescimento micelial de *C. truncatum* (SILVA, 2012). Esses resultados sugerem que os óleos essenciais também podem promover diferentes danos nos fungos a depender dos seus modos de ação e da suscetibilidade de cada estrutura fúngica aos seus constituintes.

Neste contexto, é de extrema importância estudos com o intuito de estabelecer parâmetros confiáveis em relação a escolha da espécie vegetal a ser utilizada no controle de determinado fungo, a definição da concentração adequada do óleo essencial utilizado e das estratégias a serem abordadas, dependendo dos modos de ação do óleo e visando maior eficiência no controle de fitopatógenos.

6 Conclusão

Conclui-se que o óleo essencial extraído de folhas de *V. curassavica*, nas concentrações testadas, apresentou potencial antifúngico no controle de *F. oxysporum*, sendo uma alternativa para compor novas formulações visando o controle deste fitopatógeno. Sendo necessário a elaboração de mais pesquisas científicas visando avaliar a eficácia do óleo essencial da erva baleeira sobre *F. oxysporum* em condições de campo, bem como, elucidar os seus modos de ação por meio de análises morfológicas e metabólicas do micélio e dos esporos do fungo.

Referências

ABDULLAHI, A. et al. **Phytochemical profiling and antimicrobial activity of ginger (*Zingiber officinale*) essential oils against important phytopathogens.** *Arabian Journal of Chemistry*, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 8012–8025, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.09.031>.

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography mass spectroscopy.** 4. ed. Carol Stream, Illinois, USA: Allured Publishing Corporation, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Formulário de Fitoterápicos, Farmacopeia Brasileira.** 2. ed. Brasília: Anvisa, p. 57, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/formulario-fitoterapico/formulario-fitoterapico>. Acesso em: 15 out. 2024

AKHTER, A. et al. **Potential of *Fusarium* wilt-inducing chlamydospores, in vitro behaviour in root exudates and physiology of tomato in biochar and compost amended soil.** Plant and Soil, [s. l.], v. 406, n. 1–2, p. 425–440, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2948-4>.

ALLENSPACH, M.; STEUER, C. **α -Pinene: A never-ending story.** Phytochemistry, [s. l.], v. 190, p. 112857, out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2021.112857>.

BARROS, D. B. et al. **Antifungal activity of terpenes isolated from the Brazilian Caatinga: a review.** Brazilian Journal of Biology, [s. l.], v. 83, p. e270966, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.270966>.

BRISTOT, S. F. et al. **Uso medicinal de *Varronia curassavica* Jacq. “erva-baleeira” (Boraginaceae): estudo de caso no sul do Brasil.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 170–182, 2021. Doi: 10.34188/bjaerv4n1-016.

CHACÓN, C. et al. **In Vitro Antifungal Activity and Chemical Composition of *Piper auritum* Kunth Essential Oil against *Fusarium oxysporum* and *Fusarium equiseti*.** Agronomy, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1098, maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11061098>.

CHANG, Y. et al. **Biocontrol Potential of Essential Oils in Organic Horticulture Systems: From Farm to Fork.** Frontiers in Nutrition, [s. l.], v. 8, p. 805138, jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805138>.

DA SILVA, R.S. et al. **Synergistic effect of *Cordia curassavica* Jacq. essential oils association against the phytopathogen *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*.** Environ Sci Pollut Res, [s. l.], v. 27, p. 4376–4389, feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06631-8>.

DAS, S. et al. **High speed homogenization assisted encapsulation of synergistic essential oils formulation: Characterization, in vitro release study, safety profile, and efficacy towards mitigation of aflatoxin B1 induced deterioration in rice samples.** Food and Chemical Toxicology, [s. l.], v. 169, p. 113443, nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113443>.

DE CARVALHO, P. M. et al. **Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Cordia verbenacea* D.C.** Journal of Ethnopharmacology, [s. l.], v. 95, n. 2–3, p. 297–301, dez. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.07.028>.

DESAM, N. R. et al. **Chemical constituents, in vitro antibacterial and antifungal activity of *Mentha*×*Piperita* L. (peppermint) essential oils.** Journal of King Saud University - Science, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 528–533, out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.07.013>.

DUTRA, R. C. et al. **Medicinal plants in Brazil: Pharmacological studies, drug discovery, challenges and perspectives.** Pharmacological Research, [s. l.], v. 112, p. 4–29, out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2016.01.021>.

EBADOLLAHI, A. et al. **Promising Insecticidal Efficiency of Essential Oils Isolated from Four Cultivated *Eucalyptus* Species in Iran against the Lesser Grain Borer, *Rhyzopertha***

dominica (F.). *Insects*, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 517, maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13060517>.

ERB, M.; KLIEBENSTEIN, D. J. **Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: the blurred functional trichotomy.** *Plant physiology*, [s. l.], v. 184, n. 1, p. 39-52, Set. 2020. DOI: [10.1104/pp.20.00433](https://doi.org/10.1104/pp.20.00433).

FEIJÓ, E. V. R. DA S.; OLIVEIRA, R. A. DE.; COSTA, L. C. DO B. **Light affects *Varronia curassavica* essential oil yield by increasing trichomes frequency.** *Revista Brasileira de Farmacognosia*, [s. l.], v. 24, n. 5, p. 516–523, set. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2014.10.005>.

FERNANDES, E. S. et al. **Anti-inflammatory effects of compounds alpha-humulene and (-)-trans-caryophyllene isolated from the essential oil of *Cordia verbenacea*.** *European Journal of Pharmacology*, [s. l.], v. 569, n. 3, p. 228–236, ago. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2007.04.059>.

FONSECA, M. C. M. et al. **Production and essential oil quality of *Varronia curassavica* DC. submitted to different spacing between plants, harvest season and drying temperatures of leaves.** *Ciência Rural*, [s. l.], v. 53, n. 6, p. e20210770, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210770>.

FONSECA, M. C. M. et al. **Potencial de óleos essenciais de plantas medicinais no controle de fitopatógenos.** *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 17, n. 1, p. 45–50, jan. 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-084X/12_170.

GILBERT, B.; ALVES, L. F.; FAVORETO, R. F. **Monografias de Plantas Medicinais Brasileiras e Acimatadas: Volume II** [online]. Rio de Janeiro, Editora FIOCRUZ, 291 p., 2022. DOI: <https://doi.org/10.7476/9786557081778>.

GONÇALVES, D. C. et al. **Reduction of *Fusarium* wilt symptoms in tomato seedlings following seed treatment with *Origanum vulgare* L. essential oil and carvacrol.** *Crop Protection*, [s. l.], v. 141, p. 105487, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105487>.

HOYOS, J. M. Á. et al. **Antifungal activity and ultrastructural alterations in *Pseudocercospora griseola* treated with essential oils.** *Ciência e Agrotecnologia*, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 270–284, maio 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000300002>.

JOSHI, R. **A review of *Fusarium oxysporum* on its plant interaction and industrial use.** *Journal of Medicinal Plants Studies*, [s. l.], v. 6, n. 3b, p. 112–115, maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.22271/plants.2018.v6.i3b.07>.

KIM, S.-I. et al. **Screening of insecticidal activity of plant essential oils and extract-based formulations against four agricultural insect pests and their risk assessment.** *Journal of Asia-Pacific Entomology*, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 102127, dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2023.102127>.

LEAL-COSTA, M. V.; AMÉLIA, R. P. **Anatomia foliar de *Varronia curassavica* Jacq (Cordiaceae).** *Revista Fitos*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 33-39, set. 2017. DOI: [10.5935/2446-](https://doi.org/10.5935/2446-)

4775.20170004.

MARQUES, A. P. S. et al. **Chemical composition of essential oil from *Varronia curassavica* Jacq. accessions in different seasons of the year.** *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 140, p. 111656, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111656>.

MARTIM, J. K. P.; MARANHO, L. T.; COSTA-CASAGRANDE, T. A. **Review: Role of the chemical compounds present in the essential oil and in the extract of *Cordia verbenacea* DC as an anti-inflammatory, antimicrobial and healing product.** *Journal of Ethnopharmacology*, [s. l.], v. 265, p. 113300, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113300>.

MATIAS, E. F. F. et al. **Potential of antibiotic activity of aminoglycosides by natural products from *Cordia verbenacea* DC.** *Microbial Pathogenesis*, [s. l.], v. 95, p. 111–116, jun. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2016.03.009>.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN. Tropicos.org. Saint Louis, Missouri. Disponível em: <http://www.tropicos.org/Name/4001245>. Acesso em: 8 nov. 2024

MUÑOZ CASTELLANOS, L. et al. **In Vitro and In Vivo Antifungal Activity of Clove (*Eugenia caryophyllata*) and Pepper (*Piper nigrum* L.) Essential Oils and Functional Extracts Against *Fusarium oxysporum* and *Aspergillus niger* in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.).** *International Journal of Microbiology*, [s. l.], v. 2020, p. 1–8, maio 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/1702037>.

NIZIO, D.A. de C. et al. **A comparative study of the antifungal activity of essential oils of *Varronia curassavica* Jacq. obtained by different distillation methods.** *Bioscience Journal*, [s. l.], v. 36, n. 6, pp. 1951–1960, nov./dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-47869>.

NIZIO, D. A. D. C. et al. **Chemical diversity of native populations of *Varronia curassavica* Jacq. and antifungal activity against *Lasiodiplodia theobromae*.** *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 76, p. 437–448, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.026>.

PALFI, M.; KONJEVODA, P.; VRANDEČIĆ, K. **Antifungal activity of essential oils on mycelial growth of *Fusarium oxysporum* and *Bortyitis cinerea*.** *Emirates Journal of Food and Agriculture*, [s. l.], p. 544, ago. 2019. DOI: [10.9755/ejfa.2019.v31.i7.1972](https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i7.1972).

PANTH, M.; HASSLER, S. C.; BAYSAL-GUREL, F. **Methods for Management of Soilborne Diseases in Crop Production.** *Agriculture*, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 16, jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10010016>.

PASSOS, G. F. et al. **Anti-inflammatory and anti-allergic properties of the essential oil and active compounds from *Cordia verbenacea*.** *Journal of Ethnopharmacology*, [s. l.], v. 110, n. 2, p. 323–333, mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.032>.

RODRIGUES, F.F. et al. **Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of essential oil from *Cordia verbenacea* DC leaves.** *Pharmacogn. Res*, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 161–165, jul. 2012. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-8490.99080>.

SCIARRONE, D. et al. **Quali-quantitative characterization of the volatile constituents in *Cordia verbenacea* D.C. essential oil exploiting advanced chromatographic approaches and nuclear magnetic resonance analysis.** Journal of Chromatography A, [s. l.], v. 1524, p. 246–253, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.10.007>.

SEEPE, H.A.; Nxumalo, W.; Amoo, S.O. **Natural Products from Medicinal Plants against Phytopathogenic *Fusarium* Species: Current Research Endeavours, Challenges and Prospects.** Molecules, [s. l.], v. 26, n. 21, p. 6539, out. 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26216539>.

SHARMA, A. et al. **Antifungal activities of selected essential oils against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* 1322, with emphasis on *Syzygium aromaticum* essential oil.** Journal of Bioscience and Bioengineering, [s. l.], v. 123, n. 3, p. 308–313, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2016.09.011>.

SILVA, A. C. DA. et al. **Effectiveness of essential oils in the treatment of *Colletotrichum truncatum*-infected soybean seeds.** Tropical Plant Pathology, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 305–313, set. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000500001>.

SILVA, A. C. et al. **Local and systemic control of powdery mildew in eucalyptus using essential oils and decoctions from traditional Brazilian medicinal plants.** Forest Pathology, Freising, v. 44, n. 2, p. 145–153, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/efp.12079>.

SILVA, J. T. D. C. et al. **ADME/Tox Study, Phytochemical Analysis and In Vitro Antifungal Activity of Essential Oil from *Varronia curassavica* Jacq. (Boraginaceae).** Analytica, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 440–450, set. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/analytica5030029>.

SRINIVAS, C. et al. ***Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity– A review.** Saudi Journal of Biological Sciences, [s. l.], v. 26, n. 7, p. 1315–1324, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002>.

VELOSO, G. B. R. et al. **Scavenging Activity on Reactive Oxygen Species with Biological Relevance by *Varronia curassavica*.** Orbital: The Electronic Journal of Chemistry, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 111–117, jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.17807/orbital.v15i2.17939>.

ZAFAR, S. et al. **Nanoformulations of plant essential oils for managing mycotoxins producing fungi: An overview.** Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, [s. l.], v. 60, p. 103314, set. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103314>.