



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**



**APLICAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE**  
**MILHO: CONTROLE DE ORGANISMOS FITOPATOGÊNICOS E EFEITO**  
**BIOESTIMULANTE**

**MILENA DE CARVALHO NASCIMENTO**

**Araras**

**2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**  
**E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**PPGADR**



**MILENA DE CARVALHO NASCIMENTO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. VICTOR AUGUSTO FORTI**  
**COORIENTADORES: DR. ANDERSON DE SOUZA GALLO**  
**DRA. ANA CRISTINA SIEWERT GAROFOLO**

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Agroecologia e  
Desenvolvimento Rural como requisito  
à obtenção do título de MESTRE EM  
AGROECOLOGIA E  
DESENVOLVIMENTO RURAL.

Araras

2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

Milena de Carvalho., Nascimento

Aplicação de óleos vegetais no tratamento de sementes de milho: controle de organismos fitopatogênicos e efeito bioestimulante / Nascimento Milena de Carvalho. -- 2025.  
118f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras  
Orientador (a): Victor Augusto Forti  
Banca Examinadora: Maria Paula Domene, Ana Paula de Oliveira Amaral Mello  
Bibliografia

1. Óleos vegetais, sementes, milho. I. Milena de Carvalho., Nascimento. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

## DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8  
7083



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias  
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

---

### Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Milena de Carvalho Nascimento, realizada em 16/06/2025.

#### Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Victor Augusto Forti (UFSCar)

Profa. Dra. Maria Paula Domene (CATI)

Profa. Dra. Ana Paula de Oliveira Amaral Mello (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço com todo o meu coração à minha amada família, aos meus irmãos, primas e tios que sempre me apoiam, especialmente aos meus pais, que, mesmo à distância, me envolvem com seu amor constante, me fortalecem nos momentos desafiadores e jamais me abandonam. Meu eterno 'papai' e 'mamãe', vocês são meu porto seguro.

À minha espiritualidade, fonte inesgotável de guia, força e proteção em cada passo da minha jornada.

Meu profundo agradecimento ao meu companheiro, Edilson, por sua presença constante, compreensão infinita em meus momentos de ansiedade, além da sua ajuda com meu trabalho no laboratório, e por sua disposição em trilhar todos os caminhos da vida ao meu lado.

Agradeço ao NEPAS – Núcleo de Extensão e Pesquisa em Agricultura Sustentável, onde encontrei pessoas dedicadas e acolhedoras, que presenciaram e ajudaram em diversos testes, e a todos os demais membros, que sempre me estenderam a mão com generosidade. Queria ter mais tempo para desfrutar da companhia de cada um de vocês.

Manifesto meu apreço ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural, cujo apoio foi fundamental em minha jornada. Em especial, agradeço à Cris, por sua dedicação incansável e prontidão em auxiliar os alunos, e aos professores, por sua disponibilidade e valiosos conselho.

Agradeço a CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, pela doação do milho orgânico usado neste trabalho em especial a Maria Paula.

Agradeço aos meus queridos colegas do mestrado, por compartilharem comigo momentos de alegria, apoio mútuo e por estarem presentes em cada etapa importante desta jornada, aos amigos que fiz na cidade de Araras, agradeço pelo companheirismo e por tornarem minha estadia mais leve e feliz.

Agradeço aos meus coorientadores, Anderson Gallo e Ana Garofollo, por sua orientação conjunta e dedicada. Anderson pela sua participação em todas as etapas deste trabalho foi essencial, e Ana pela valiosa introdução às propriedades dos óleos vegetais.

Sou imensamente grata ao meu orientador, Victor Forti, por ter me acolhido desde o início desta jornada como uma pesquisadora iniciante. Sua paciência infinita, sabedoria generosa e constante encorajamento foram pilares que sustentaram meu crescimento acadêmico e pessoal, inspirando-me a superar desafios e a acreditar no meu potencial. Este trabalho só foi possível graças à sua dedicação e confiança, que levarei sempre comigo.

E agradeço ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo financiamento concedido (Código de Financiamento 001).

## SUMÁRIO

<b>2.1.INTRODUÇÃO</b> .....	19
2.1.1.OBJETIVOS .....	20
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
2.2.1 - Obtenção do conjunto de dados .....	21
1.3.2 - Mapeamento científico .....	22
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	23
2.3.1 -Análise de desempenho .....	23
2.3.2 Mapeamento científico com base no VOSViewer .....	30
2.3.2.1 – Análise geral – de todos os artigos selecionados.....	30
2.3.2.1.1. - Curcuma longa L. ....	34
2.3.2.1.2. - Schinus terebinthifolius .....	37
2.3.2.1.3. - Dysphania Ambrosioides.....	40
<b>2.4. CONCLUSÕES</b> .....	43
<b>3.1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	48
3.1.1. Métodos de extração .....	48
3.1.1.1. Destilação a Vapor .....	49
3.1.1.2. Prensagem a Frio .....	50
3.1.1.3. Extração por Solventes .....	51
3.1.2 Contextos de utilização .....	52
3.1.2.1 – Óleos Vegetais Utilizados.....	53
3.1.2.1.1. Curcuma longa .....	54
3.1.2.1.2. Dysphania ambrosioides .....	56
3.1.2.1.3. Schinus terebinthifolius.....	57
<b>3.2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	62
3.2.1. Tratamentos de óleos vegetais aplicados .....	62
3.2.2. Avaliações de potencial fisiológico e sanitário.....	65
3.2.2.1 - Teste de germinação.....	65

3.2.2.2. - Comprimento de plântulas .....	66
3.2.2.3 - Massa de matéria seca de plântulas .....	66
3.2.2.4. - Emergência de plântulas em bandeja .....	66
3.2.2.5 - Índice de Velocidade de Emergência (IVE) .....	67
3.2.2.6 - Teste de condutividade elétrica.....	67
3.2.2.7 - Teste de sanidade.....	67
3.2.2.8 - Análise estatística .....	68
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>68</b>
3.3.1. - Resultados - Tempo 1 .....	68
3.3.2. - Resultados - Tempo 2.....	77
3.3.3. - Resultados - Tempo 3.....	84
3.3.4. - Resultados - Tempo 4.....	94
<b>3.4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

<p><b>Tabela 1</b> - Autores mais ativos em número de publicações sobre óleos vegetais das espécies <i>Dysphania ambrosioides</i>, <i>Curcuma longa</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i> indexadas no Web of Science entre os anos de 1978 e 2024 .....</p>	<b>25</b>
<p><b>Tabela 2</b> - Instituições mais ativas em número de publicações sobre óleos vegetais das espécies <i>Dysphania ambrosioides</i>, <i>Curcuma longa</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i> .....</p>	<b>26</b>
<p><b>Tabela 3</b> - Revistas mais ativas em número de publicações sobre óleos vegetais das espécies <i>Dysphania ambrosioides</i>, <i>Curcuma longa</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i> .....</p>	<b>27</b>
<p><b>Tabela 4</b> - Descrição dos tratamentos de óleos vegetais aplicados em sementes de milho .....</p>	<b>65</b>
<p><b>Tabela 5</b> - Concentrações finais usadas dos óleos vegetais em contato direto</p>	<b>66</b>
<p><b>Tabela 6</b> - Concentrações finais usadas dos óleos vegetais em fumigação ...</p>	<b>66</b>
<p><b>Tabela 7</b> - Germinação, Emergência de Plântulas, Índice de Velocidade de Emergência e Condutividade Elétrica de sementes de milho tratadas com óleos vegetais de <i>Schinus terebinthifolius</i>, <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Curcuma longa</i>, em contato direto (CD) e fumigação (F) .....</p>	<b>69</b>
<p><b>Tabela 8</b> - Comprimento de Plântulas e Massa de Matéria Seca de milho tratadas com óleos vegetais de <i>Schinus terebinthifolius</i>, <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Curcuma longa</i>, em contato direto (CD) e fumigação (F) .....</p>	<b>74</b>
<p><b>Tabela 9</b> - Teste de sanidade com os fungos <i>Fusarium</i> sp., <i>Aspergillus</i> sp. e <i>Penicillium</i> sp. ....</p>	<b>75</b>
<p><b>Tabela 10</b> - Germinação, Emergência de Plântulas, Índice de Velocidade de Emergência e Condutividade Elétrica de milho tratadas com óleos vegetais de <i>Schinus terebinthifolius</i>, <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Curcuma longa</i> em contato direto (CD) e fumigação (F) .....</p>	<b>79</b>
<p><b>Tabela 11</b> - Comprimento de Plântulas e Massa de Matéria Seca de milho tratadas com óleos vegetais de <i>Schinus terebinthifolius</i>, <i>Dysphania</i></p>	

<i>ambrosioides</i> e <i>Curcuma longa</i> em contato direto (CD) e fumigação (F) .....	82
<b>Tabela 12</b> - Teste de sanidade com os fungos <i>Fusarium</i> sp., <i>Aspergillus</i> sp. e <i>Penicillium</i> sp. ....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Etapas para a execução da revisão bibliométrica sobre o uso de óleos vegetais na agricultura .....	22
<b>Figura 2:</b> Evolução temporal dos artigos sobre uso de óleos de <i>Dysphania ambrosioides</i> , <i>Curcuma longa</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i> , indexados no Web of Science e publicados entre os anos de 1978 e 2024 .....	24
<b>Figura 3:</b> Número de publicação por país .....	29
<b>Figura 4:</b> Mapa de palavras-chave presentes em pesquisas sobre óleos vegetais das espécies <i>Curcuma longa</i> L., <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i> .....	30
<b>Figura 5:</b> Mapa de palavras-chave mostrando o tempo de maiores publicações em pesquisa sobre óleos vegetais e as espécies <i>Curcuma longa</i> L., <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i> .....	32
<b>Figura 6:</b> Mapa de países que mais publicam sobre óleos vegetais com ênfase nas espécies <i>Curcuma longa</i> L., <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i> .....	33
<b>Figura 7:</b> Mapa de palavras-chave que mais são encontradas na pesquisa sobre óleos vegetais com ênfase na espécie <i>Curcuma longa</i> L. ....	34
<b>Figura 8:</b> Mapa de palavras-chave mostrando a evolução temporal dos termos nas publicações sobre óleos vegetais e a espécie <i>Curcuma longa</i> L.....	35
<b>Figura 9:</b> Mapa de países que mais publicam sobre o tema de óleos vegetais com a espécie <i>Curcuma longa</i> L. ....	36
<b>Figura 10:</b> Mapa de palavras-chave que mais são encontradas na pesquisa sobre óleos vegetais com a espécie <i>Schinus terebinthifolius</i> .....	37
<b>Figura 11:</b> Mapa de palavras-chave mostrando a evolução temporal dos termos nas publicações sobre óleos vegetais e a espécie <i>Schinus</i>	

<i>terebinthifolius</i> .....	38
<b>Figura 12:</b> Mapa de países que mais publicam sobre o tema de óleos vegetais com a espécie <i>Schinus terebinthifolius</i> .....	39
<b>Figura 13:</b> Mapa de palavras-chave que mais são encontradas na pesquisa sobre óleos vegetais com a espécie <i>Dysphania ambrosioides</i> .....	40
<b>Figura 14:</b> Mapa de palavras-chave mostrando a evolução temporal dos termos nas publicações sobre óleos vegetais e a espécie <i>Dysphania ambrosioides</i> .....	41
<b>Figura 15:</b> Mapa de países que mais publicam sobre o tema de óleos vegetais com a espécie <i>Dysphania ambrosioides</i> .....	42

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Distribuição temporal da germinação de sementes de milho, em porcentagem, tratadas com óleos vegetais de <i>Schinus terebinthifolius</i> , <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Curcuma longa</i> , em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas em câmara fria.....	106
<b>Gráfico 2:</b> Distribuição temporal da germinação de sementes de milho, em porcentagem, tratadas com óleos vegetais de <i>Schinus terebinthifolius</i> , <i>Dysphania ambrosioides</i> e <i>Curcuma longa</i> , em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas em ambiente sem controle. ....	107

## **APLICAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO: CONTROLE DE ORGANISMOS FITOPATOGÊNICOS E EFEITO BIOESTIMULANTE**

**Autora: MILENA DE CARVALHO NASCIMENTO**

**Orientador: Prof. Dr. VICTOR AUGUSTO FORTI**

**Coorientadores: Dr. ANDERSON DE SOUZA GALLO**

**Dra. ANA CRISTINA SIEWERT GAROFOLO**

### **RESUMO**

A aplicação de óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa* como alternativa sustentável no tratamento de sementes de milho tem se mostrado promissora no controle de fitopatógenos e na promoção de efeitos bioestimulantes. Este trabalho foi realizado em duas etapas, a primeira baseada em uma revisão bibliométrica de estudos indexados à plataforma de dados *Web of Science* (WoS), sobre o uso de óleos vegetais na agricultura, com foco nas espécies *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa* e a segunda com o objetivo de avaliar o potencial antifúngico e bioestimulante dessas espécies no tratamento de sementes de milho, variando-se os métodos de aplicação dos óleos (contato direto e fumigação) durante o armazenamento por 12 meses em ambiente de câmara fria (10 °C, 40% UR) e em ambiente não controlado. A revisão bibliométrica foi realizada com base em 215 publicações (1978–2024) e revelou crescimento exponencial das pesquisas, com destaque para *C. longa* (70,8%), seguida por *S. terebinthifolius* (23,4%) e *D. ambrosioides* (6,5%). A análise, complementada pelo software *VOSviewer*, mostrou que temas como "atividade antimicrobiana" e "controle de pragas" ganharam destaque recentemente, evidenciando uma mudança para práticas agrícolas mais sustentáveis e ecológicas. Os principais autores e trabalhos publicados são do Brasil, Índia e China. Na análise experimental, observou-se que a fumigação obteve melhor desempenho em ambiente de câmara fria, resultando em 85% de germinação para *C. longa*, além de uma redução de 33% na incidência de *Fusarium* sp. e

condutividade elétrica mais baixa (23,18  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) em relação ao controle. Já o contato direto foi mais eficaz em condições adversas, com destaque para *D. ambrosioides*, que apresentou 62,7% de emergência de plântulas. Combinações como *C. longa* + *S. terebinthifolius* demonstraram sinergismo, especialmente em ambientes controlados, com 83,5% de germinação. Conclui-se que a escolha estratégica do método de aplicação, fumigação em armazenamento refrigerado e contato direto em ambientes não controlados, é fundamental para otimizar o uso desses óleos vegetais como alternativas sustentáveis aos agroquímicos, promovendo práticas alinhadas à agroecologia e à segurança alimentar.

Palavras chave: Óleo, Atividade antifúngica, Controle ecológico, Plantas medicinais.

## **APPLICATION OF VEGETABLE OILS IN MAIZE SEED TREATMENT: CONTROL OF PHYTOPATHOGENIC ORGANISMS AND BIOSTIMULANT EFFECT**

**Author: MILENA DE CARVALHO NASCIMENTO**

**Adviser: Prof. Dr. VICTOR FORTI**

**Co-adviser: Prof. Dr. ANDERSON GALLO E Dra. ANA GAROFOLO**

### **ABSTRACT**

The application of plant-based oils from *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides*, and *Curcuma longa* as sustainable alternatives for maize seed treatment has shown promising results in controlling phytopathogens and promoting biostimulant effects. This study was conducted in two phases: the first involved a bibliometric review of studies indexed on the Web of Science (WoS) platform, focusing on the agricultural use of plant-based oils, particularly from *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides*, and *Curcuma longa*; the second aimed to evaluate the antifungal and biostimulant potential of these species in maize seed treatment, testing different application methods (direct contact and fumigation) during 12 months of storage in a cold chamber (10°C, 40% RH) and a non-controlled environment. The bibliometric analysis, based on 215 publications (1978–2024), revealed exponential growth in research, with a focus on *C. longa* (70.8%), followed by *S. terebinthifolius* (23.4%) and *D. ambrosioides* (6.5%). Analysis using VOSviewer software highlighted emerging trends such as "antimicrobial activity" and "pest control," reflecting a shift toward sustainable and eco-friendly agricultural practices. Leading authors and publications originated from Brazil, India, and China. In the experimental phase, fumigation performed better in the cold chamber, achieving 85% germination for *C. longa*, a 33% reduction in *Fusarium* sp. incidence, and lower electrical conductivity (23.18  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) compared to the control. Direct contact was more effective under adverse conditions, particularly for *D. ambrosioides*, which exhibited 62.7% seedling emergence. Combinations such as *C. longa* + *S. terebinthifolius* demonstrated synergism, especially in controlled environments,

with 83.5% germination. In conclusion, strategic selection of application methods—fumigation in refrigerated storage and direct contact in non-controlled environments—is critical to optimizing the use of these plant-based oils as sustainable alternatives to agrochemicals, aligning with agroecology and food security principles.

**Keywords:** Essential, Antifungal activity, Ecological control, Medicinal plants.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A crescente preocupação global com a sustentabilidade e a segurança alimentar tem direcionado esforços para a busca de alternativas naturais aos insumos agrícolas. Entre essas alternativas, destacam-se os óleos vegetais, compostos naturais derivados de plantas com propriedades bioativas (Bendaoud et al., 2010; Al-Hasani et al., 2020). Tais substâncias têm eficácia comprovada no controle de fitopatógenos (Pavela et al., 2018; García-Ramírez et al., 2023; Rangel-Fajardo et al., 2020) e apresentam potencial bioestimulante, contribuindo para o desenvolvimento saudável das culturas agrícolas (Cozzolino et al., 2020; Rathore et al., 2009).

Esses benefícios tornam-se particularmente relevantes diante dos desafios contemporâneos enfrentados pela agricultura, como o aumento da resistência aos agroquímicos tradicionais e os impactos ambientais associados ao uso intensivo de produtos sintéticos (García-Ramírez et al., 2023). Nesse contexto, a utilização de óleos vegetais pode desempenhar um papel estratégico na transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis, reduzindo a dependência de insumos químicos e alinhando-se às demandas globais de segurança alimentar e conservação ambiental (Cozzolino et al., 2020; Alhaithloul et al., 2023; Pavela et al., 2018).

As propriedades intrínsecas dos óleos vegetais incluem a capacidade de acelerar o processo de germinação, melhorar a qualidade das culturas e reduzir a competição com plantas infestantes (Rathore et al., 2009; Sandeep et al., 2017). Essas características resultam em menor dependência de agroquímicos, além de possibilitar a antecipação da maturação das culturas, proporcionando colheitas mais eficientes e ambientalmente responsáveis (Mathai, 1979; Al-Hasani et al., 2020). Assim, tais aplicações tornam-se especialmente relevantes em um cenário de mudanças climáticas e aumento de condições adversas, como os estresses abióticos, que desafiam a adaptabilidade das culturas agrícolas (Rathore et al., 2009).

O presente estudo foca em três espécies com reconhecido potencial: *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*. A seleção

dessas espécies fundamenta-se em suas propriedades bioativas e em sua relevância para práticas agrícolas sustentáveis. No primeiro capítulo, uma análise bibliométrica foi conduzida com o objetivo de mapear o estado da arte sobre esses óleos, identificando tendências, redes de colaboração e lacunas de pesquisa. Esse levantamento bibliográfico permitiu contextualizar os resultados experimentais subsequentes e reforçar a compreensão sobre o papel desses compostos no manejo sustentável de sementes (Cozzolino et al., 2020; García-Ramírez et al., 2023).

No segundo capítulo, foi realizado um experimento para avaliar a eficácia dos óleos vegetais no controle de fitopatógenos associados às sementes de milho, bem como seus efeitos na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas. A metodologia envolve a análise de parâmetros de qualidade e vigor, além de avaliações sanitárias para a identificação de patógenos. Os tratamentos foram aplicados por métodos diferentes e as sementes armazenadas por 12 meses em duas condições ambientais, permitindo assim avaliação de seu comportamento ao longo do tempo.

A integração entre a análise bibliométrica e o estudo experimental fornece uma abordagem robusta para explorar o potencial dos óleos vegetais no manejo de sementes. Essa abordagem não apenas contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis, mas também promove benefícios econômicos e ecológicos, reduzindo a dependência de insumos sintéticos e reforçando o compromisso com a preservação ambiental e a segurança alimentar. Espera-se que os resultados deste trabalho sejam relevantes para produtores agrícolas e para a formulação de estratégias alinhadas aos princípios da agroecologia e da sustentabilidade.

## 2. CAPÍTULO 1: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE O USO DE ÓLEOS DE *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa* NA AGRICULTURA

### RESUMO

Este capítulo fornece uma análise bibliométrica sobre o uso de óleos vegetais na agricultura, com foco nas espécies *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*. A revisão foi realizada com base em estudos indexados à plataforma de dados Web of Science (WoS), utilizando termos de pesquisa relacionados a essas espécies e óleos vegetais. A análise abrangeu 215 publicações desde 1978, das quais 154 foram selecionadas como relevantes, destacando 11 estudos especificamente sobre tratamentos de sementes. Os dados revelam um aumento considerável no número de publicações a partir de 2020, refletindo um interesse crescente da comunidade científica por práticas agrícolas sustentáveis. A pesquisa revelou que *Curcuma longa* é a espécie mais estudada, com 109 publicações (70,8%), seguida por *Schinus terebinthifolius* com 36 (23,4%) e *Dysphania ambrosioides* com 10 (6,5%), sendo a maioria das investigações focadas no controle de pragas e na resistência a patógenos. A análise, complementada pelo software VOSviewer, mostrou que temas como "atividade antimicrobiana" e "controle de pragas" ganharam destaque recentemente, evidenciando uma mudança para práticas agrícolas mais sustentáveis e ecológicas no controle de patógenos. Os autores mais citados incluem Nayak S. (5 artigos, 115 citações) e Singh S. (4 artigos, 100 citações), e as instituições com maior produção são a *Egyptian Knowledge Bank* (12 artigos) e o *Indian Council of Agricultural Research* (10 artigos). A revista mais influente na área é *Industrial Crops and Products*, com 6 publicações. A pesquisa foi distribuída globalmente, com ênfase em países como Brasil (39 publicações), Índia (35) e China (14), indicando a ampla relevância dos óleos vegetais na agricultura e a contribuição estratégica desses países para o avanço de tecnologias sustentáveis no setor agrícola.

Palavras-chave: óleo essencial, tratamento de sementes, VOSviewer.

## 2.1 - INTRODUÇÃO

A demanda crescente por soluções sustentáveis na agricultura tem impulsionado o interesse no uso de óleos vegetais, reconhecidos por suas propriedades bioativas e pelo potencial de substituir insumos químicos convencionais. Entre as espécies estudadas, *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa* destacam-se como alternativas promissoras no tratamento de sementes, devido às suas propriedades antimicrobianas e possivelmente bioestimulantes (Al-Hasani et al., 2020; Bendaoud et al., 2010). Esses óleos oferecem estratégias naturais para o controle de fitopatógenos e a promoção do crescimento vegetal, contribuindo para a redução da dependência de produtos sintéticos que, muitas vezes, estão associados a impactos negativos ao meio ambiente (Pavela et al., 2018; Rangel-Fajardo e outros, 2020).

O óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* é amplamente reconhecido por suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes, demonstrando eficácia no controle de patógenos que afetam sementes e plântulas (Bendaoud et al., 2010). Além disso, estudos sugerem sua capacidade de induzir sistemas de defesa nas plantas, fortalecendo a resistência contra doenças e contribuindo para o manejo integrado de culturas agrícolas. Esse efeito é particularmente relevante no contexto da agricultura sustentável, ao proporcionar maior segurança fitossanitária sem comprometer a produtividade (Bendaoud et al., 2010).

Já a *Dysphania ambrosioides* é conhecida historicamente por seu uso na medicina tradicional, com compostos bioativos presentes em seu óleo essencial que possuem aplicações úteis na agricultura. Pesquisas recentes evidenciaram que o óleo extraído das sementes dessa planta apresenta uma composição química específica, rica em ácidos graxos e compostos voláteis, responsáveis por atividades antifúngicas e inseticidas (Al-Hasani et al., 2020; Pavela et al., 2018). Essas características tornam seu uso promissor no manejo sustentável de sementes, especialmente no controle de doenças causadas por fungos fitopatogênicos e na mitigação de pragas agrícolas (Al-Hasani et al., 2020).

A *Curcuma longa*, por sua vez, destaca-se tanto por suas propriedades antifúngicas quanto por seus possíveis efeitos bioestimulantes. Estudos indicam que o óleo essencial da planta não apenas controla fungos nocivos às sementes, mas também promove o crescimento saudável das plântulas (Sandeep et al., 2017; Mathai, 1979). Sua aplicação tem sido associada ao fortalecimento das plantas contra estresses bióticos, o que se posiciona como uma alternativa estratégica para práticas agrícolas sustentáveis, especialmente em sistemas de cultivo que buscam aliar produtividade e preservação ambiental (Al-Shahli et al., 2018).

A sistematização do conhecimento científico sobre os óleos vegetais é necessária para compreender melhores suas propriedades e identificar as condições ideais de uso no manejo de sementes. Por meio de análises abrangentes, é possível avaliar não apenas a eficácia de cada óleo, mas também sua interação com os diferentes tipos de sementes e o ambiente em que são aplicados. Além disso, tais investigações permitem explorar novas possibilidades de integração desses compostos em sistemas agrícolas e agroecológicos, promovendo soluções inovadoras e ambientalmente responsáveis.

Assim, a pesquisa científica desempenha um papel central na consolidação do uso de óleos vegetais como ferramentas para o desenvolvimento de tecnologias agrícolas mais sustentáveis, capazes de atender às demandas globais de segurança alimentar e preservação ambiental.

### **2.1.1. OBJETIVOS**

Analisar, por meio de indicadores bibliométricos, a ciência produzida envolvendo o uso dos óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius* (Aroeira pimenteira), *Dysphania ambrosioides* (Erva de santa maria e Mastruz) e *Curcuma longa* (açafraão) na agricultura, com foco no tratamento de sementes.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 - Obtenção do conjunto de dados

Para garantir a abrangência e a qualidade da revisão, a pesquisa foi conduzida utilizando a *Web of Science*, uma das principais bases de dados de literatura científica. Esta plataforma é amplamente reconhecida por sua cobertura de periódicos acadêmicos, oferecendo acesso a uma vasta coleção de artigos revisados por pares em diversas disciplinas. Esta base de dados é essencial para uma análise sistemática, pois permite buscar por pesquisas mais relevantes envolvendo o tema pesquisado (Wang, 2016).

Para recuperar os estudos, foram utilizados termos de busca específicos, aplicados aos resumos, títulos e palavras-chave. Utilizou-se o seguinte comando de busca: [("Dysphania ambrosioides" OR "Curcuma longa" OR "Schinus terebinthifolius)" AND ("plant\*" OR "seed\*") AND (oil OR oils)].

Inicialmente, 215 artigos foram recuperados. Esses artigos foram avaliados para determinar se tratavam de áreas relacionadas a humanos ou animais, como doenças ou tratamentos, e tais estudos foram excluídos. Em seguida, cada espécie foi pesquisada separadamente com os mesmos termos de busca: [("plant\*" OR "seed\*") AND (oil OR oils)].

Os indicadores bibliométricos utilizados na avaliação foram: autores mais produtivos, instituições mais prolíficas, revistas de maior impacto, principais áreas de pesquisa e análise temporal das publicações.

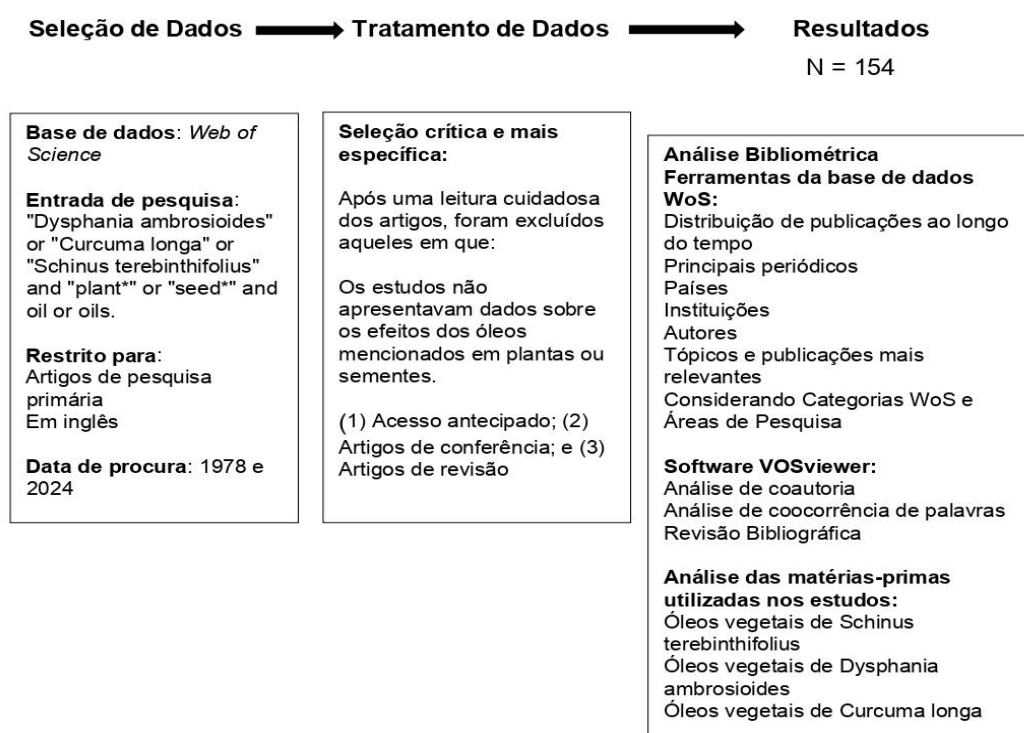
Inicialmente, 215 artigos foram recuperados. Esses artigos foram avaliados para determinar se tratavam de áreas relacionadas a humanos ou animais, como doenças ou tratamentos, e tais estudos foram excluídos. Em seguida, cada espécie foi pesquisada separadamente com os mesmos termos de busca: [("plant\*" OR "seed\*") AND (oil OR oils)].

A partir desses dados, foram realizadas uma análise detalhada e a criação de visualizações do grupo para cada espécie utilizando o software *VOSviewer* para o mapeamento, enquanto a análise de desempenho foi realizada na própria plataforma *Web of Science*, focando em países, autores e revistas relacionadas aos artigos encontrados. O objetivo de uma revisão bibliométrica é fornecer a lista mais completa possível de estudos publicados relacionados à área investigada, garantindo, assim, maior objetividade da avaliação dos conceitos

analisados, utilizando critérios explícitos para identificar, avaliar criticamente e sintetizar a literatura sobre o tema (Cronin, Ryan e Coughlan, 2008).

Os resultados foram compilados e os estudos relevantes foram selecionados com base nos critérios de inclusão e exclusão (Figura 1). Pesquisadores históricos em bibliometria reconheceram que incorporar as dimensões do tempo e do espaço na análise bibliométrica pode proporcionar uma nova perspectiva sobre o desenvolvimento do conhecimento e o registro acadêmico (Bunge, 1999). A sequência de busca e avaliação dos trabalhos selecionados estão representados na Figura 1.

**Figura 1:** Etapas para a execução da revisão sistemática sobre o uso de óleos vegetais na agricultura.



### 2.2.2 - Mapeamento científico

O mapeamento científico deste estudo foi realizado utilizando o software *VOSviewer*, que é uma ferramenta que facilita a visualização da análise sistemática de literatura, incluindo mapas de co-citação, co-autoria e co-ocorrência de palavras-chave. Desenvolvido para explorar e representar as interações entre diferentes elementos da literatura científica, o *VOSviewer*

permite uma compreensão das conexões e padrões dentro de um campo de pesquisa (Van Eck; Waltman, 2010).

Com a utilização do *VOSviewer*, os dados exportados foram analisados para criar um mapa visual que ilustra as relações entre os diversos estudos dos óleos vegetais investigados. Este mapeamento visa identificar *clusters* temáticos, destacar áreas de interesse predominantes e revelar lacunas no conhecimento. Juntamente à análise bibliométrica, foi possível melhor visualizar as interações entre publicações, possibilitando uma interpretação mais crítica e informada dos resultados.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 - Análise de desempenho

Foram identificados 215 trabalhos científicos que investigaram o uso de óleos vegetais das espécies de interesse. Após a triagem realizada considerando os parâmetros de exclusão, restaram 154 artigos que se mostraram diretamente relevantes para o tema proposto. Destes, apenas 11 tratavam diretamente do tratamento de sementes com óleos vegetais ou correlatos.

Na análise dos artigos filtrados, observa-se que a espécie *Curcuma longa* L. é a mais frequente nos estudos, com 109 publicações representando 70,8% do total. A seguir, *Schinus terebinthifolius* aparece com 36 publicações (23,4%), e *Dysphania ambrosioides* com 10 publicações (6,5%).

Entre 2020 e 2024, o número de publicações sobre óleos vegetais cresceu significativamente, com uma média de 12 estudos por ano (Figura 2). Esse aumento pode ser reflexo da crescente conscientização sobre práticas agrícolas sustentáveis e a busca por alternativas naturais aos agroquímicos. O potencial dos óleos vegetais para o manejo integrado em sistemas de produção agrícolas tem atraído a atenção de pesquisadores específicos em soluções ecológicas e inovadoras.

O crescente interesse por plantas com propriedades medicinais, como *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius*, está relacionado às suas reconhecidas atividades imunomoduladoras e antimicrobianas, o que impulsiona pesquisas

voltadas para a aplicação de seus óleos vegetais na agricultura. Esses compostos bioativos vêm sendo estudados por seu potencial em promover o crescimento vegetal e atuar na proteção contra patógenos. Pesquisas como as de Alsahli et al. (2018) e Al-Hasani et al. (2020) evidenciam a eficácia desses óleos em contextos agrícolas, favorecendo o desenvolvimento de práticas de manejo mais sustentáveis e ecologicamente responsáveis.

O estudo mais antigo indexado no *Web of Science* referente ao uso de óleo de *S. terebinthifolius*, *D. ambrosioides* ou *C. longa* na agricultura foi publicado em 1978, com o título “Pattern of rhizome yield and their accumulation of commercially important chemical constituents in turmeric (*Curcuma species*), during growth and development” (Mathai, 1978), cujo objetivo era investigar a acumulação de substâncias químicas de importância comercial, especificamente curcumina.

**Figura 2:** Evolução temporal dos artigos sobre uso de óleos de *Dysphania ambrosioides*, *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius*, indexados no Web of Science e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Na análise dos autores mais ativos na pesquisa sobre óleos vegetais das espécies *Dysphania ambrosioides*, *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius*, observa-se uma diversidade considerável nas contribuições (Tabela 2). Nayak

S. aparece com destaque, contabilizando cinco publicações e 115 citações. Apesar de apresentar o maior número de citações entre os autores analisados, seu índice H é de 5, o que sugere uma influência moderada dentro da área. Esse valor indica que suas publicações são citadas com alguma frequência, mas ainda não refletem um impacto científico amplamente consolidado, especialmente em comparação com áreas mais consolidadas ou autores com produção mais extensa.

Em contraste, Zhao J., embora também tenha cinco publicações, possui um índice H de 4 e um total de 42 citações, sugerindo que, embora suas contribuições sejam notáveis, elas têm um impacto menor em comparação com Nayak S. Essa diferença de impacto entre os autores é relevante para entender a influência e a relevância das pesquisas individuais no campo dos óleos vegetais. Singh S, com 4 publicações e 100 citações, e Dubey NK, com três publicações e 102 citações, são outros autores de destaque. Os pesquisadores possuem índices H de 4 e 3, respectivamente, indicando uma influência (ainda que incipiente) na comunidade científica. Isso destaca que a qualidade e o impacto das pesquisas são cruciais para o reconhecimento acadêmico, além da mera quantidade de publicações.

Outros autores como Long M e Chakira H também contribuem substancialmente, com quatro e três publicações, respectivamente, mas com um impacto menor em termos de citações e índices H. A pluralidade de autores e a ampla colaboração no campo de estudo são indicativas de um cenário de pesquisa diversificado, que é essencial para o avanço do conhecimento sobre as propriedades e aplicações dos óleos vegetais.

**Tabela 1** - Autores mais ativos em número de publicações sobre óleos vegetais e as espécies *Dysphania ambrosioides*, *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius* indexadas no *Web of Science* entre os anos de 1978 a 2024.

Autores	NP	%	TC	<i>h</i>
Nayak S	5	3,2	115	5
Zhao J	5	3,2	42	4
Long M	4	2,56	23	3
Singh S	4	2,56	100	4
Chakira H	3	1,92	22	3
Dai GH	3	1,92	21	2
Dixit D	3	1,92	25	3
Dubey NK	3	1,92	102	3
Fu WJ	3	1,92	21	2

Hua HX	3	1,92	13	2
--------	---	------	----	---

---

NP = número de publicações; % = porcentagem do total; TC = total de citações; h = índice H.

A análise das instituições mais ativas em publicações sobre óleos vegetais das espécies *Dysphania ambrosioides*, *Curcuma longa*, e *Schinus terebinthifolius* revela a *Egyptian Knowledge Bank* (Ekb) como a que lidera em número de publicações, com 12 artigos, representando 7,69% do total. No entanto, o impacto de suas pesquisas, medido pelo total de citações (TC), é moderado, com 249 citações. Em contraste, o *Indian Council of Agricultural Research* (ICAR), apesar de ter 10 publicações, destaca-se pelo alto impacto, com 605 citações, indicando que suas pesquisas são altamente valorizadas pela comunidade científica (Tabela 3).

O *Council Of Scientific Industrial Research* (CSIR India) também se destaca, com 9 publicações e um índice H de 6, demonstrando consistência no impacto de suas pesquisas. Entre as universidades, a Universidade de Alexandria e a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) se destacam, cada uma com 6 publicações. No entanto, a Universidade de Alexandria tem um impacto maior, com 198 citações, em comparação com 87 citações da UFRPE. A Universidade Estadual de Maringá, com 5 publicações e 185 citações, mostra um desempenho robusto em termos de impacto.

No geral, as instituições indianas, como o ICAR e o CSIR India, mostram uma presença significativa tanto em produtividade quanto em impacto. As instituições brasileiras, representadas por universidades como a UFRPE, a Universidade Estadual de Maringá e a Universidade Federal de Viçosa, também fazem contribuições importantes, embora com variações no impacto de suas pesquisas. Este panorama destaca a importância de não apenas produzir conhecimento, mas também garantir que as pesquisas sejam amplamente reconhecidas e referenciadas na literatura científica.

**Tabela 2** - Instituições mais ativas em número de publicações sobre óleos vegetais e as espécies *Dysphania ambrosioides*, *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius*. indexadas no Web of Science e publicados entre os anos de 1978 e 2024.

Instituição	NP	%	TC	h
Egyptian Knowledge Bank	12	7,69	249	7
Indian Council of Agricultural Research	10	6,41	605	4
Council of Scientific Industrial Research India	9	5,76	160	6
Alexandria University	6	3,84	198	5
Universidade Federal Rural de Pernambuco	6	3,84	87	5
Central Institute of Medicinal Aromatic Plants	5	3,2	99	4
Siksha of Anusandhan University	5	3,2	115	5
Universidade Estadual de Maringá	5	3,2	185	5
Universidade Federal de Viçosa	5	3,2	49	3
Banaras Hindu University	4	2,56	110	4

NP = número de publicações; % = porcentagem do total; TC = total de citações; h = índice H.

A análise dos periódicos que veiculam publicações sobre óleos vegetais demonstrou a liderança da "Industrial Crops and Products", com 6 publicações (3,84%), destacando-se em produtos industriais de origem vegetal, incluindo bioenergia e bioprodutos químicos (Tabela 4). O "Journal of Essential Oil Bearing Plants" e "Molecules" têm 4 registros cada (2,56%), com foco em óleos essenciais e suas propriedades químicas e bioativas. Essas revistas são cruciais para a disseminação de pesquisas aplicadas e fundamentais sobre óleos essenciais.

Além dessas, outras revistas como "Bioscience Journal" e "Environmental Science and Pollution Research", com 3 publicações cada, abrangem tópicos que vão desde biotecnologia até sustentabilidade ambiental. A pesquisa sobre óleos essenciais também se expande para áreas práticas, como controle de pragas, com destaque para publicações no "Journal of Pest Science" e "Journal of Applied Entomology". Esses trabalhos publicados discutem o uso de óleos essenciais como alternativas naturais aos pesticidas químicos tradicionais.

A diversidade de publicações, incluindo aquelas em revistas de entomologia e ciências ambientais, indica uma abordagem interdisciplinar crescente. Esta variedade não apenas amplia o conhecimento sobre óleos essenciais e fixos, mas também promove o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos em áreas como agricultura, biotecnologia e proteção

ambiental. A presença em uma ampla gama de revistas reflete a importância dos óleos essenciais em diferentes contextos científicos e práticos.

**Tabela 3** - Revistas mais ativas em número de publicações sobre óleos vegetais e as espécies *Dysphania ambrosioides*, *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius* indexados no Web of Science e publicados entre os anos de 1978 e 2024.

Revista	JCR	NP	%	TC	H
Industrial Crops and Products	5.6	6	3,84	157	5
Journal of Essential Oil-Bearing Plants	2.1	4	2,56	65	3
Molecules	4.2	4	2,56	74	2
Bioscience Journal	0.6	3	1,92	18	2
Environmental Science and Pollution Research	0.99	3	1,92	60	2
Journal of Applied Entomology	1.7	3	1,92	23	3
Journal of Pest Science	4.3	3	1,92	121	2
Journal of Stored Products Research	2.7	3	1,92	44	2
Pakistan Journal of Zoology	0.5	3	1,92	34	3
Plants	4	3	1,92	60	3

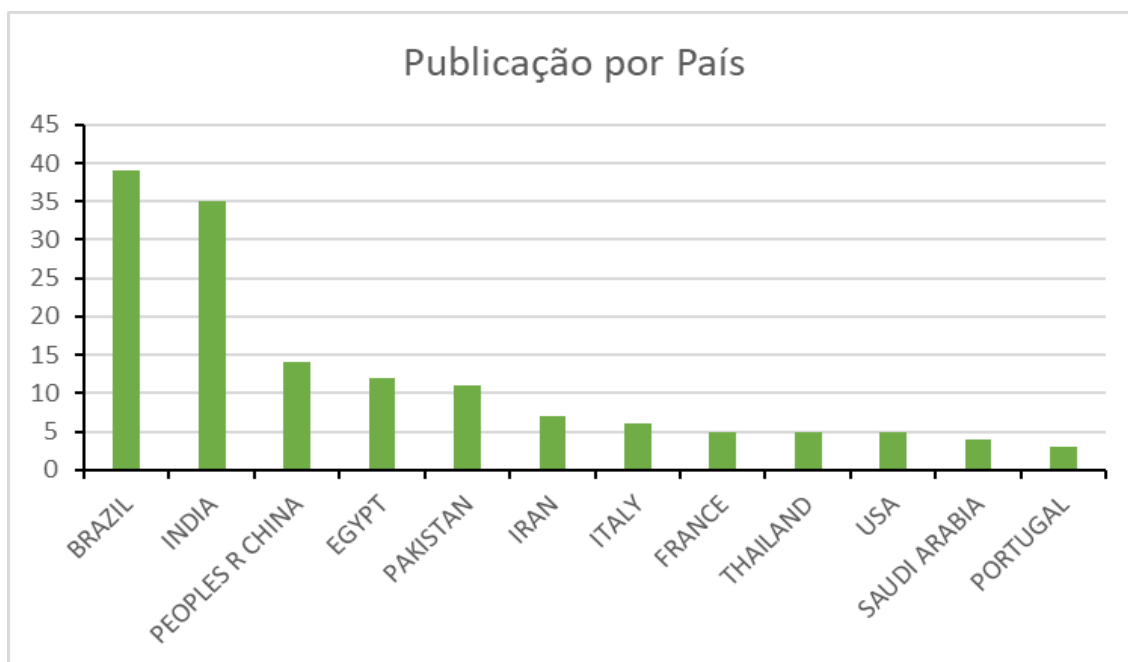
JCR = Fator de impacto NP = número de publicações; % = porcentagem do total; TC = total de citações; h = índice H.

O Brasil é o líder em publicações sobre óleos vegetais, com 39 registros (Figura 3), refletindo a importância da agricultura em sua economia e a busca por práticas sustentáveis. Instituições brasileiras têm se destacado em pesquisas que abrangem áreas como Agricultura, Química, e Ciências Ambientais, demonstrando um compromisso com abordagens multidisciplinares para resolver problemas ambientais e de saúde.

A Índia, com 35 publicações, também tem desenvolvido trabalhos com foco, principalmente, em Agricultura e Ciências das Plantas. A forte presença indiana em Química e Biotecnologia Aplicada indica um investimento substancial em pesquisa básica e aplicada, vital para o avanço tecnológico e industrial.

A China contribuiu com 14 publicações e se destaca especialmente em Química, Bioquímica e Biologia Molecular, e Ciências Ambientais, refletindo seu forte investimento em pesquisa para avanços tecnológicos e soluções ambientais. O Egito, com 12 publicações, e o Paquistão, com 11, também mostram um foco significativo em Agricultura e Ciências das Plantas, essenciais para suas economias dependentes da agricultura e a necessidade de segurança alimentar.

**Figura 3:** Número de publicação por país sobre óleos vegetais e as espécies *Dysphania ambrosioides*, *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius* indexados no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Considerando as áreas de pesquisa cobertas pelos artigos relacionados ao uso de *D. ambrosioides*, *S. terebinthifolius* e *C. longa*, a agricultura lidera com 41 registros focando na substituição de pesticidas químicos por óleos essenciais para controle de pragas e doenças. Ciências das Plantas, com 32 registros, investiga como os óleos influenciam o metabolismo vegetal e aumentam a resistência a estresses, melhorando a produtividade e a resiliência das culturas.

Na Química (27 registros), a ênfase está na análise de compostos ativos dos óleos, crucial para padronização e controle de qualidade. Ciência e Tecnologia de Alimentos (23 registros) destaca a utilização desses óleos como conservantes naturais, prolongando a vida útil dos alimentos sem aditivos químicos.

Entomologia (18 registros) explora o uso de óleos essenciais como alternativas menos tóxicas aos pesticidas tradicionais. Bioquímica e Biologia Molecular, junto com Farmacologia (11 registros), examina os mecanismos bioquímicos e potenciais usos terapêuticos dos óleos essenciais.

## 2.3.2 Mapeamento científico com base no VOSViewer

### 2.3.2.1 – Análise geral (todos os artigos selecionados)

Dos 154 artigos analisados, poucos apresentaram uma diversidade significativa de palavras-chave. Ao todo, foram identificadas 772 palavras, mas, após uma filtragem que determinadas apenas aquelas com pelo menos 2 ocorrências, restaram 138 palavras-chave distribuídas em 10 *clusters*.

Na análise inicial que relaciona os três óleos estudados, observou-se uma quantidade significativa de pesquisas sobre a espécie *Curcuma longa* L., enquanto para *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* há uma notável escassez de estudos.

A escassez de estudos sobre *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* pode ser atribuída a fatores como menor valorização histórica dessas espécies em relação às plantas extremamente reconhecidas, como *Curcuma longa*, além de desafios relacionados ao cultivo em larga escala e à padronização de metodologias de extração e análise de seus compostos bioativos. Essa lacuna reflete uma concentração de esforços de pesquisa em espécies mais consolidadas no mercado e na literatura científica, muitas vezes devido à disponibilidade de dados prévios e maior interesse comercial.

No entanto, a relevância desses óleos essenciais para a agricultura sustentável, especialmente no controle de fitopatógenos e na promoção do crescimento vegetal, reforça a importância de investigações que ampliem o conhecimento sobre essas plantas. Compreender o potencial dessas espécies pode diversificar as soluções para os desafios fitossanitários e ambientais, contribuindo para o desenvolvimento de biopesticidas e outras práticas agrícolas mais sustentáveis (Costa et al., 2019; Maia et al., 2008).

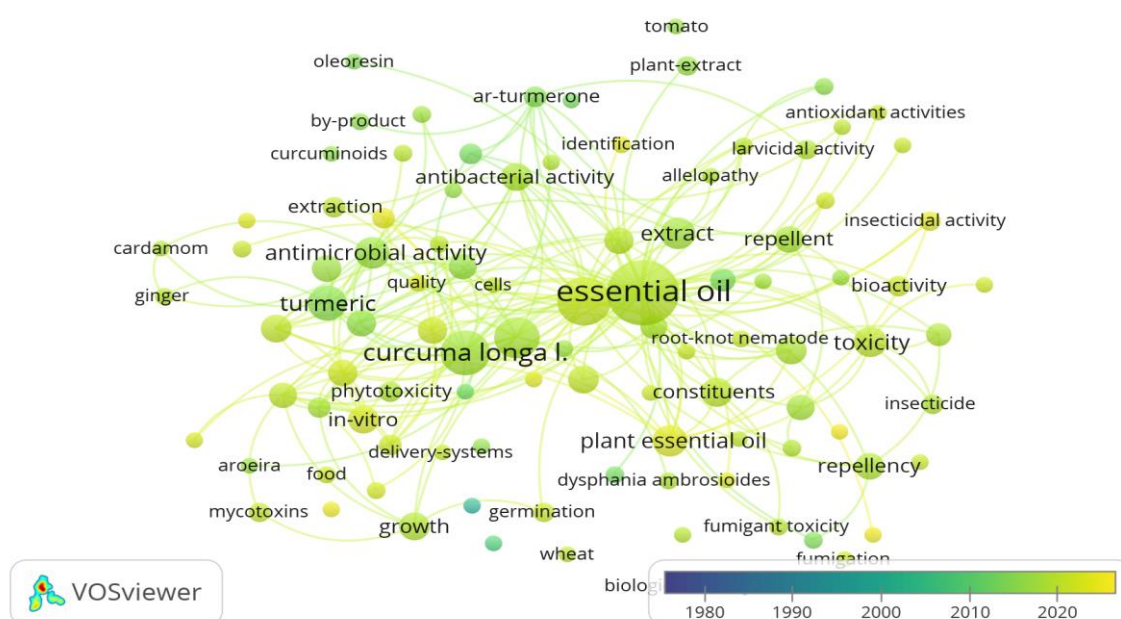
O mapa de palavras-chave mostra *clusters* distintos que revelam diferentes tópicos de pesquisa sobre óleos vegetais (Figura 4). O grupo vermelho destaca uma forte correlação entre termos como "atividade antifúngica", "controle biológico" e "planta medicinal", sugerindo um interesse na utilização de óleos vegetais para o controle de fungos e pragas, além de seu uso em plantas



O mapa temporal de palavras-chave citadas nos estudos sobre os óleos vegetais revela a evolução dos focos de pesquisa ao longo do tempo, destacando um gradiente de cores que vai de azul para publicações mais antigas a amarelo para as mais recentes (Figura 5). Nos anos 2000, houve um aumento significativo nas pesquisas, com ênfase em termos como "germination" e "*Dysphania ambrosioides*". Esses estudos iniciais concentraram-se na caracterização das propriedades antimicrobianas dos óleos e na otimização dos métodos de extração, refletindo um interesse em entender os óleos vegetais e seus potenciais.

Com o avanço dos anos, especialmente nos períodos intermediários, surgiram palavras-chave como "turmeric" e "curcuminoids", indicando uma progressão para uma análise mais detalhada dos compostos químicos e suas aplicações práticas. Atualmente, o foco mudou para termos como "antimicrobial activity", "plant-extract" e "bioactivity", com uma crescente ênfase em utilizar óleos vegetais para práticas agrícolas sustentáveis e no desenvolvimento de produtos ecológicos. Essa mudança reflete a adaptação da pesquisa às novas demandas ambientais e desafios na agricultura moderna.

**Figura 5:** Mapa de palavras-chave mostrando o tempo de maiores publicações em pesquisa sobre óleos vegetais e as espécies *Curcuma longa L.*, *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* indexados no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Os países mais centrais e conectados na rede de publicações sobre óleos vegetais, com ênfase nas espécies *Curcuma longa*, *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius*, são Brasil, Índia, Egito e Estados Unidos (Figura 6). O Brasil destaca-se como o nó mais central, indicando não apenas uma alta produção de pesquisas, mas também uma forte conectividade com outras nações. Esse destaque sugere uma posição de liderança na pesquisa de óleos essenciais, possivelmente devido a um robusto sistema de pesquisa e desenvolvimento. A Índia, como outro nó altamente central, reflete sua longa tradição no uso e estudo de óleos essenciais, bem como uma ativa participação em colaborações científicas. Os Estados Unidos e o Egito, embora com um menor volume de publicações, exibem conexões significativas, indicando colaborações internacionais que reforçam a diversidade e a abrangência dos estudos realizados. Essas interações são cruciais para a troca de conhecimentos e tecnologias, ampliando o impacto das pesquisas e a aplicabilidade prática dos óleos vegetais.

**Figura 6:** Mapa de países que mais publicam artigos sobre óleos vegetais com ênfase nas espécies *Curcuma longa* L. *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* indexados no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



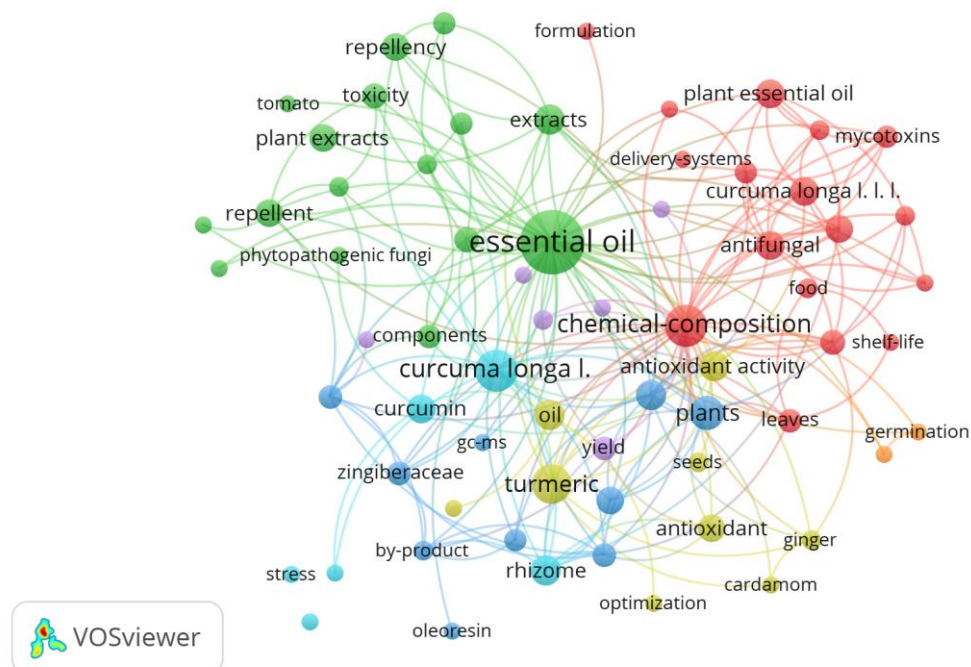
Fonte: VOSViewer

### **2.3.2.1.1. - *Curcuma longa* L.**

A análise bibliométrica das publicações relacionadas à *Curcuma longa* L. e óleos vegetais foi conduzida a partir de refinamentos aplicados na base de dados Web of Science, utilizando o conjunto de palavras-chave [(“*Curcuma longa*”) AND (“*plant*” OR “*seed*”) AND (oil OR oils)], o que resultou em um total de 109 registros relevantes. A Figura 7 revela diversas áreas temáticas recorrentes nesse campo de pesquisa, conforme ilustrado pelos agrupamentos (clusters) de palavras-chave gerados. O cluster verde, que reúne termos como "repelência", "toxicidade" e "fitopatogênicos", evidencia o crescente interesse nas propriedades bioativas da cúrcuma voltadas à defesa vegetal, especialmente no controle de patógenos. Esse grupo sugere que a *Curcuma longa* tem sido estudada por seu potencial de aplicação na proteção de plantas contra pragas e doenças, reforçando sua relevância na agricultura sustentável (Alshahli et al., 2018; Al-Hasani et al., 2020). Já o cluster vermelho destaca palavras associadas às propriedades antifúngicas e antioxidantes da planta, bem como seu uso como ingrediente alimentar, refletindo um foco voltado aos benefícios medicinais e nutricionais da cúrcuma (Medeiros et al., 2021; Lima et al., 2019).

O Azul mostra uma concentração na otimização da cúrcuma, especialmente em sua forma de óleo e raiz, com ênfase na curcumina e seu uso potencial em plantas. Isso reflete uma tendência de pesquisa voltada para melhorar o rendimento e a aplicação dos compostos ativos da cúrcuma. Adicionalmente, o Amarelo destaca a análise química da cúrcuma em comparação com outros membros da família Zingiberaceae, como gengibre e açafrão, indicando um interesse em entender suas propriedades em um contexto mais amplo. Outros termos, como "sistemas de entrega", "subproduto", "estresse" e "germinação", sugerem que a cúrcuma também está sendo explorada para aplicações inovadoras, como sistemas de entrega de medicamentos e impacto na germinação de plantas.

**Figura 7:** Mapa de palavras-chave que mais são encontradas na pesquisa sobre óleos vegetais com ênfase na espécie *Curcuma longa* L.. indexadas no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Fonte: VOSViewer

A análise de evolução temporal dos termos revela que "essential oil" e "antimicrobial activity" mantiveram-se centrais na pesquisa sobre *Curcuma longa*, indicando seu destaque contínuo na literatura científica (Figura 8). A partir de 2000, houve um aumento expressivo nas publicações, refletindo um interesse crescente na aplicação do óleo essencial de cúrcuma, especialmente em relação ao seu potencial antimicrobiano.





Fonte: VOSViewer

### 2.3.2.1.2. - *Schinus terebinthifolius*

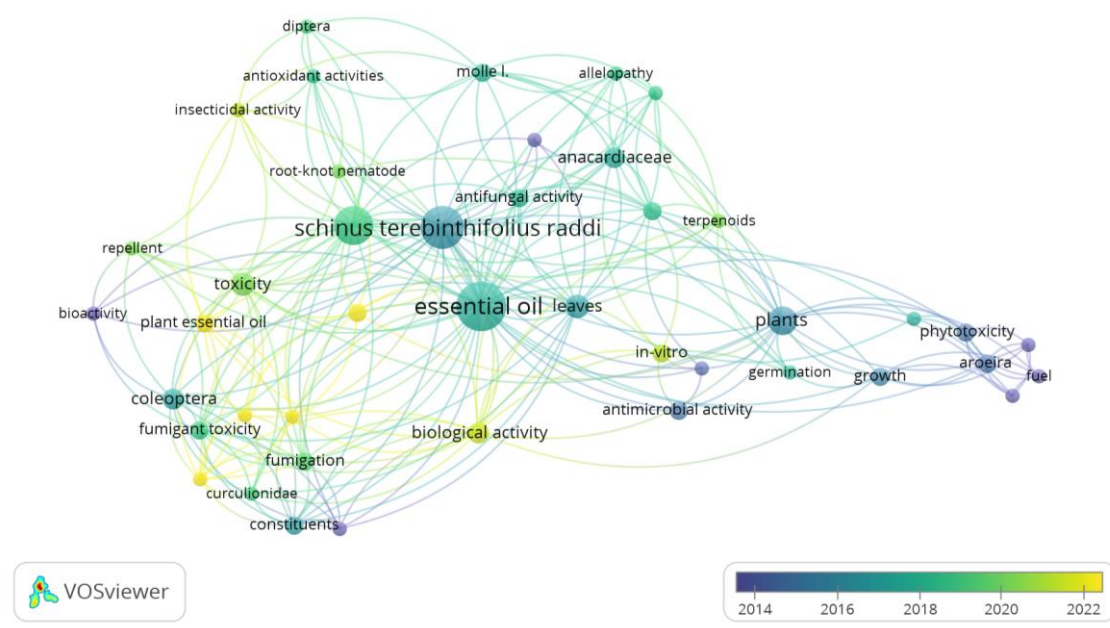
A partir das filtrações aplicadas na base de dados Web of Science e do uso da combinação de palavras-chave [“(“*Schinus terebinthifolius*”) AND (“plant” OR “seed”) AND (oil OR oils)], foram identificadas 36 publicações relevantes sobre o tema (Figura 10). A análise dos agrupamentos de palavras-chave revela diferentes focos de estudo relacionados aos óleos vegetais extraídos de *Schinus terebinthifolius*. Os nós azuis apontam conexões com a família Anacardiaceae, à qual a espécie pertence, além de destacarem propriedades alelopáticas. Os nós verde-claros, por sua vez, evidenciam aplicações ligadas à fitotoxicidade, uso como bioinseticida e influência no crescimento vegetal, sugerindo potencial para manejo agroecológico (Alshahli et al., 2018; Al-Hasani et al., 2020). Já os nós amarelos estão relacionados a atividades antioxidantes e ao controle de nematoides, enquanto os nós roxo-claros indicam interesse nos terpenoides e em suas propriedades antimicrobianas *in vitro*.

O cluster vermelho enfatiza a toxicidade e o uso de óleos essenciais da planta no controle de insetos e fungos, enquanto o grupo roxo se concentra na diversidade de aplicações do óleo essencial e na importância de *S. terebinthifolius* em diferentes contextos de pesquisa científica (Medeiros et al., 2021; Lima et al., 2019).



aparecem em amarelo, sugerindo um interesse emergente em entender as interações químicas e explorar aplicações práticas, incluindo "in vitro" e "fumigation". Essa tendência aponta para um movimento em direção à inovação e ao uso de compostos naturais para soluções sustentáveis em diversas áreas.

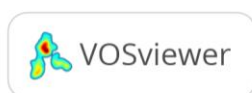
**Figura 11:** Mapa de palavras-chave mostrando a evolução temporal dos termos nas publicações sobre óleos vegetais e a espécie *Schinus Terebinthifolius* indexados no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Fonte: VOSviewer

A análise das redes de colaboração internacional destaca o Brasil como um nó central na rede de publicações científicas. O país se destaca não apenas pelo elevado número de publicações, mas também pela forte interconexão com outros países, incluindo EUA, Egito, França e Arábia Saudita (Figura 12). As redes de autores mostram uma distinção entre aqueles que colaboram ativamente e aqueles que operam de forma mais isolada. No contexto internacional, o Brasil emerge como um centro de publicação significativo, com colaborações diversificadas.

**Figura 12:** Mapa de países que mais publicam artigos sobre o tema de óleos vegetais com a espécie *Schinus Terebinthifolius* indexados no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



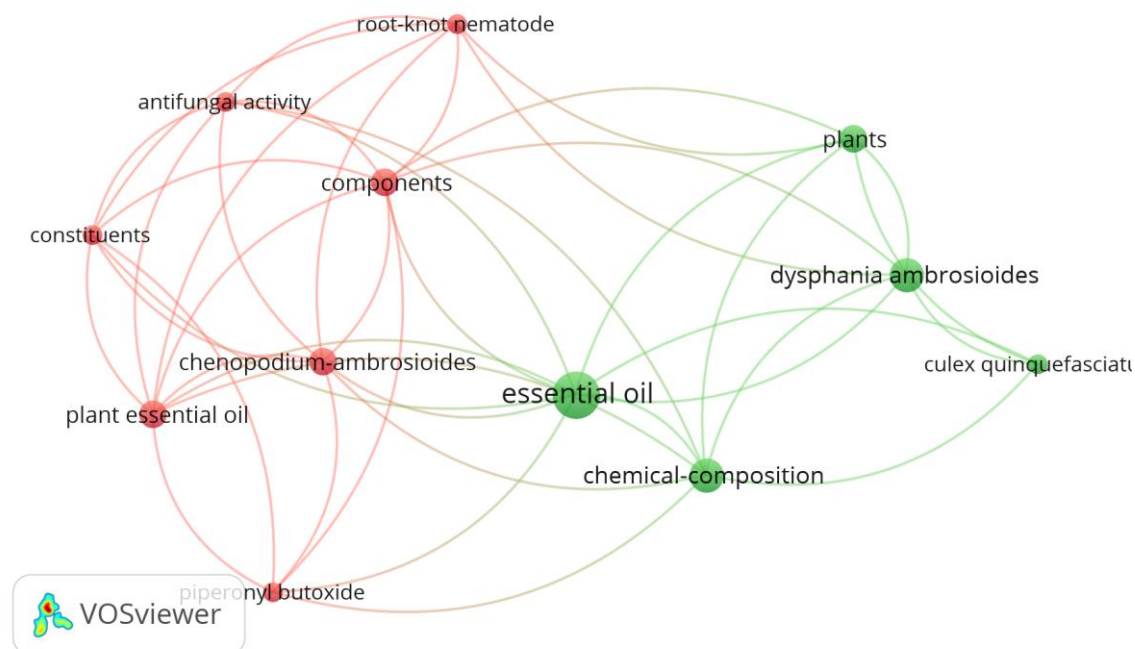
Fonte: VOSViewer

### 2.3.2.1.3. - *Dysphania Ambrosioides*

A análise da rede de palavras-chave relacionadas a óleos vegetais, após as filtrações necessárias utilizando termos como "[("Dysphania ambrosioides" AND ("plant\*" OR "seed\*") AND (oil OR oils)]. ", resultou em um total de 10 pesquisas. O mapa de palavras-chave mostra duas áreas distintas de interesse. As palavras-chave em vermelho, como "*Chenopodium ambrosioides*" e "plant essential oil", sugerem um foco crescente no uso de óleos vegetais. Estes termos indicam uma ênfase no potencial e dos óleos vegetais como substitutos aos métodos tradicionais (Figura 13).

Por outro lado, as palavras-chave em verde, como "antifungal activity", "chemical composition", e "*Culex quinquefasciatus*", refletem um interesse na análise das propriedades dos óleos vegetais e seu impacto sobre plantas e insetos. O tamanho das palavras-chave no mapa indica sua frequência na literatura científica, com termos maiores, como "óleo essencial", sendo mais frequentes nas pesquisas. A visualização sugere uma quantidade significativa de pesquisas sobre o uso de óleos essenciais.

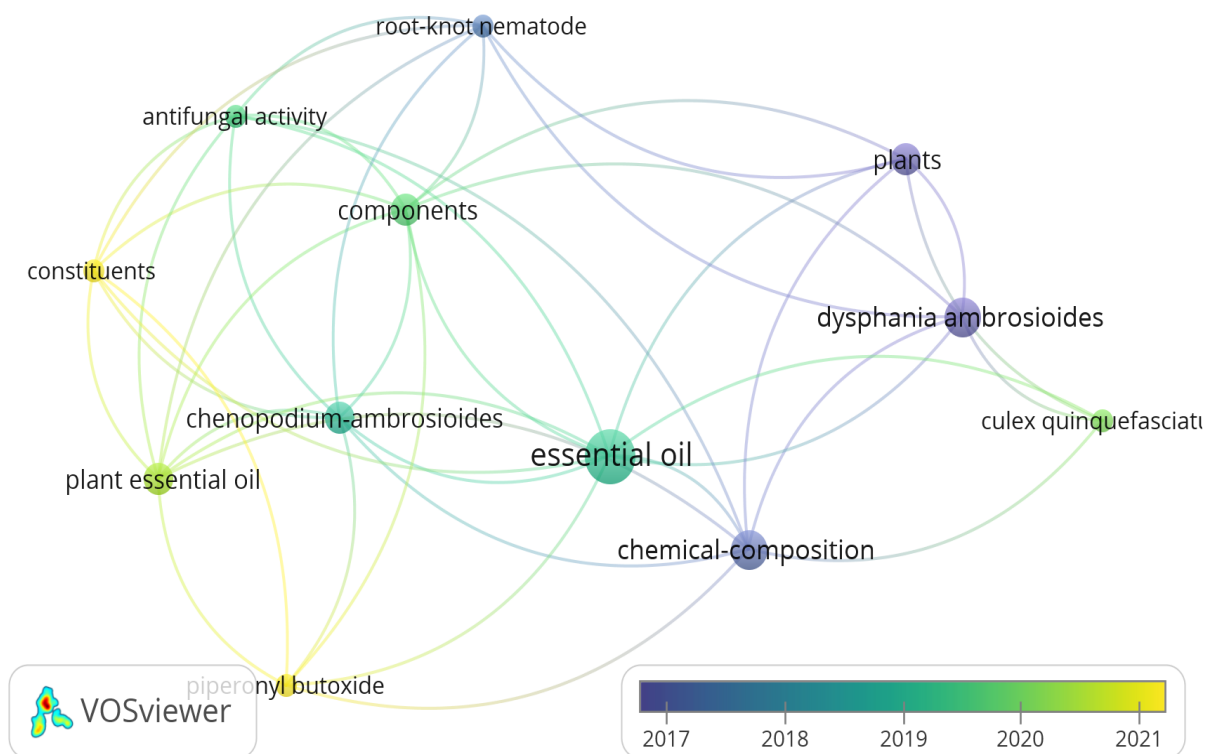
**Figura 13:** Mapa de palavras-chave mostrando a evolução temporal dos termos nas publicações sobre óleos vegetais e a espécie *Dysphania Ambrosioides* indexados no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Fonte: VOSViewer

No período entre 2017 e 2018, indicado pelos tons de azul, o foco principal estava em termos como "plants", "chemical composition" e "dysphania ambrosioides" (Figura 14). Essas palavras-chave mostram que, nessa fase inicial, os estudos estavam concentrados na caracterização química e identificação dos componentes das plantas, assim como nas propriedades da espécie em questão. Com o passar dos anos, especialmente a partir de 2019, evidenciado pelos tons de verde, e até 2021, com tons de amarelo, houve uma expansão dos temas de pesquisa para incluir "essential oil", "antifungal activity", e "constituents". Isso reflete um interesse crescente em explorar as propriedades específicas dos óleos essenciais extraídos de *Dysphania ambrosioides*, particularmente em suas aplicações antifúngicas e biológicas. A presença de termos como "piperonyl butoxide" e "components" indica uma investigação mais detalhada sobre os componentes do óleo essencial.

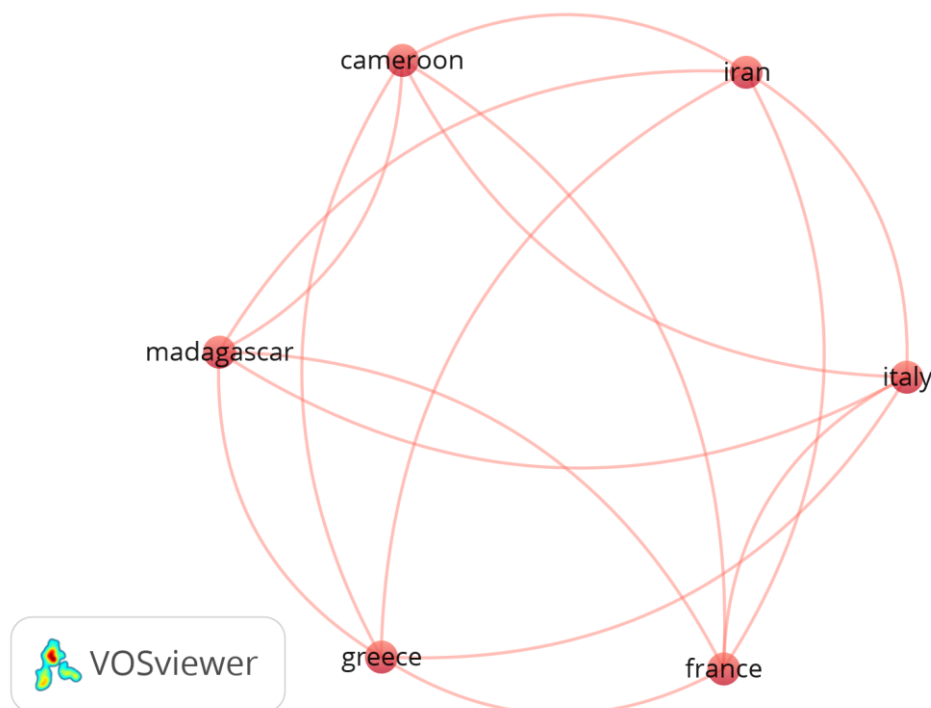
**Figura 14:** Mapa de palavras-chave mostrando a evolução temporal dos termos nas publicações sobre óleos vegetais e a espécie *Dysphania ambrosioides* indexadas no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Fonte: VOSviewer

A Figura 15 apresenta uma rede de colaboração entre países que publicam estudos sobre óleos vegetais relacionados à espécie *Dysphania ambrosioides*. Os países envolvidos incluem Itália, Camarões, França, Grécia, Madagascar e Irã. Cada um desses países é representado como um nó na rede, com conexões que sugerem colaborações entre eles. As linhas conectando os nós indicam a frequência e a intensidade dessas colaborações. Observa-se que as colaborações internacionais para em estudos envolvendo a espécie ainda é incipiente.

**Figura 15:** Mapa de países que mais publicam artigos sobre o tema de óleos vegetais com a espécie *Dysphania Ambrosioides* indexados no *Web of Science* e publicados entre os anos de 1978 e 2024.



Fonte: VOSViewer

## 2.4 - CONCLUSÕES

Este estudo demonstra o potencial dos óleos essenciais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa* como alternativas promissoras para a agricultura sustentável. Foram verificados 154 artigos sobre esse campo, destacando 11 estudos especificamente o tratamento de sementes. Houve um aumento considerável no número de publicações a partir de 2020. A *Curcuma longa* é a espécie mais estudada, seguida por *Schinus terebinthifolius* e *Dysphania ambrosioides*, com a maioria das investigações focadas no controle de pragas e na resistência a patógenos. Temas como "atividade antimicrobiana" e "controle de pragas" ganharam destaque recentemente, evidenciando uma mudança para práticas agrícolas mais sustentáveis e ecológicas. Os autores

mais citados incluem Nayak S (25 artigos) e Singh S (20 artigos), e as instituições com maior produção são Egyptian knowledge Bank (30 artigos) e Indian Council of Agricultural Research (28 artigos). A revista mais influente na área é "Industrial Crops and Products" (35 artigos). A pesquisa foi distribuída globalmente, com ênfase em países como Brasil, Índia e China, indicando a ampla relevância dos óleos vegetais na agricultura. Os resultados obtidos contribuem para o desenvolvimento de alternativas mais eficazes e seguras, reduzindo a dependência de produtos químicos sintéticos e promovendo a saúde dos ecossistemas agrícolas. No entanto, são necessárias mais pesquisas para otimizar a produção e aplicação desses óleos, além da avaliação de seus impactos a longo prazo na agricultura e no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HASANI, Sami Abdulrahman; AL-KHATEEB, Muhammad Ahmed; AL-MOUSAWI, Maher Ahmed; AL-AZAWI, Samir Hassan. Chemical composition and biological activities of fixed oil from *Dysphania ambrosioides* seeds. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 97, n. 8, p. 2211-2220, 2020.

ALHAITHLOUL, Haifa A. S.; EL-READI, Mohamed; YOUNS, Mohamed; MULYANINGSIH, S.; SPORER, F.; EFFERTH, Thomas; WINK, Michael. Rosemary and neem methanolic extract: antioxidant, cytotoxic, and larvicidal activities supported by chemical composition and molecular docking simulations. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1155698, 2023.

BENDAOU, Hicham; ROMDHANE, Mohamed; SOUCHARD, Jean-Pierre; CAZAUX, Stéphane; BOUJILA, Jalloul. Chemical composition and anticancer and antioxidant activities of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolius* Raddi berries essential oils. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, p. C466-C472, 2010.

BUNGE, Mario. Philosophy in the sixties. In: KUHN, Thomas S. (Ed.). *The structure of scientific revolutions*. 3. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

COZZOLINO, E.; GIORDANO, M.; FIORENTINO, N.; EL-NAKHEL, C.; PANNICO, A.; DI MOLA, I.; ... & ROUPHAEL, Y. Appraisal of biodegradable mulching films and vegetal-derived biostimulant application as eco-sustainable practices for enhancing lettuce crop performance and nutritive value. **Agronomy**, [s.l.], v. **10**, n. 3, 2020.

CRONIN, Patricia; RYAN, Frances; COUGHLAN, Michael. Undertaking a literature review: a step-by-step approach. **British Journal of Nursing**, v. **17**, n. 1, p. 38-43, 2008.

GARCÍA-RAMÍREZ, E.; CONTRERAS-OLIVA, A.; SALINAS-RUIZ, J.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, G.; SPINOSO-CASTILLO, J. L.; COLMENARES CUEVAS, S. I. Plant extracts control *in vitro* growth of disease-causing fungi in chayote. **Plants**, v. **12**, n. 9, p. 1800, 2023.

HAWKINS, David T. Bibliometrics of the World Wide Web: an exploratory analysis of the intellectual structure of cyberspace. In: **PROCEEDINGS OF THE 43rd ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY FOR INFORMATION SCIENCE**, 2001.

MATHAI, C. K. Pattern of rhizome yield and their accumulation of commercially important chemical constituents in turmeric (*Curcuma* species), during growth and development. **Qualitas Plantarum**, v. **28**, n. 3, p. 239-247, 1978.

PAVELA, Roman; MAGGI, Filippo; LUPIDI, Giulio; MBUNTCHA, Hyacinthe; WOGUEM, Valerie; WOMENI, Hilaire Modeste; BENELLI, Giovanni. *Clausena anisata* and *Dysphania ambrosioides* essential oils: from ethno-medicine to modern uses as effective insecticides. **Environmental Science and Pollution Research**, v. **25**, p. 10493-10503, 2018.

PRITCHARD, Alan. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of Documentation**, v. **25**, n. 4, p. 348-349, 1969.

RATHORE, Surendra Singh; CHAUDHARY, Dharmendra Raj; BORICHA, Govind Nath; GHOSH, Arup; BHATT, Bhikha Premji; ZODAPE, Satish T.; PATOLIA, Jagdish S. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 2, p. 351-355, 2009.

RANGEL-FAJARDO, Maria Antonia; TUCUCH-HAAS, José Inocencio; GÓMEZ-MONTIEL, Norma Obdulia; BASTO-BARBUDO, Dionicia De La Cruz; BURGOS-DÍAZ, José Alfredo. Control of weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) with powder of epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants) in different genotypes of maize. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 43, n. 3, p. 307-315, 2020.

SANDEEP, Indra S.; DAS, Surajit; NASIM, Naveed; MISHRA, Anil; ACHARYA, Laxmikant; JOSHI, Rajiv Kumar; MOHANTY, Satyabadi. Differential expression of CURS gene during various growth stages, climatic condition and soil nutrients in turmeric (*Curcuma longa*): towards site specific cultivation for high curcumin yield. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 118, p. 348-355, 2017.

VAN ECK, Nees Jan; WALTMAN, Ludo. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.

WANG, Xianwen; FANG, Zhichao; SUN, Xiaoling. Usage patterns of scholarly articles on Web of Science: a study on Web of Science usage count. **Scientometrics**, v. 109, n. 2, p. 917-926, 2016.

### 3. CAPÍTULO 2: ANÁLISE EXPERIMENTAL SOBRE O USO DE ÓLEOS VEGETAIS PARA O TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO

#### RESUMO

Avaliou-se o potencial antifúngico e bioestimulante dos óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa* no tratamento de sementes de milho, com foco na eficácia de dois métodos de aplicação, contato direto e fumigação, em duas condições de armazenamento: câmara fria (10 °C, 40% UR) e ambiente não controlado. Os óleos foram aplicados de forma isolada e combinada, e as sementes foram acompanhadas por 12 meses, com avaliações trimestrais dos parâmetros fisiológicos (germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, condutividade elétrica, comprimento e massa seca de plântulas) e sanitários (incidência de *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp.). Em condições controladas, a fumigação com *C. longa* destacou-se, alcançando 85% de germinação (comparado a 77% no contato direto), redução de 33% na incidência de *Fusarium* sp. e menor condutividade elétrica (23,18  $\mu$ S/cm vs. 28,67  $\mu$ S/cm no controle). Combinações sinérgicas, como *C. longa* + *S. terebinthifolius*, também mostraram resultados superiores, com 83,5% de germinação. Por outro lado, o contato direto foi mais eficiente em condições não controladas, com destaque para *D. ambrosioides*, que proporcionou 62,7% de emergência de plântulas. A análise sanitária revelou maior supressão de patógenos em ambientes adversos quando se utilizou o contato direto, especialmente na redução de 34,5% da incidência de *Penicillium* sp. Conclui-se que a escolha estratégica do método de aplicação, fumigação em armazenamento refrigerado e contato direto em ambientes não controlados, é fundamental para otimizar o uso desses óleos vegetais como alternativas sustentáveis aos agroquímicos, promovendo práticas alinhadas à agroecologia e à segurança alimentar.

**Palavras-chave:** Controle de fitopatógenos; Fumigação; Germinação; Sustentabilidade.

### 3.1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira destaca-se por elevados índices de produtividade, mas é igualmente caracterizada por uma forte dependência de insumos sintéticos, como agrotóxicos. O uso intensivo desses compostos, especialmente no tratamento de sementes, tem gerado crescentes preocupações ambientais e de saúde pública, incluindo a contaminação do solo e da água, a degradação da biodiversidade e o surgimento de organismos resistentes aos princípios ativos (Carvalho et al., 2019; Rodrigues; Souza, 2020).

Nesse cenário, o tratamento químico de sementes, prática comum em sistemas convencionais, surge como uma estratégia para proteger as sementes durante o armazenamento e promover o controle de patógenos e insetos-praga logo nas primeiras fases do ciclo das culturas (Brasil, 2009; Campolo et al., 2018). No entanto, o uso contínuo dessas substâncias pode comprometer a viabilidade das sementes a longo prazo (Dias et al., 2021) e impactar negativamente a saúde humana e ambiental (Pimentel & Burgess, 2014; Khursheed et al., 2022). Diante dessa problemática, destaca-se a importância do desenvolvimento de estratégias alternativas que aliem eficiência no controle de patógenos com sustentabilidade (Gliessman, 2014; Altieri & Nicholls, 2017).

O tratamento de sementes, portanto, é uma etapa fundamental para garantir a qualidade fisiológica e sanitária das sementes armazenadas, influenciando diretamente a germinação, a emergência de plântulas e o desempenho inicial da lavoura (Marcos Filho, 2015; Finch-Savage, 2013). Entre as culturas que mais demandam atenção nesse processo, o milho (*Zea mays*) se destaca como uma cultura de grande importância estratégica para o Brasil, sendo amplamente utilizado na alimentação humana e animal, além de representar uma das principais commodities agrícolas do país (Companhia Nacional de Abastecimento, 2020; IBGE, 2019).

Apesar de sua relevância, o milho é altamente suscetível a pragas e doenças que comprometem seu armazenamento e a produtividade da lavoura (Klich, 2007; Frisvad & Samson, 2004), o que justifica a busca por alternativas viáveis e ambientalmente seguras para seu tratamento. Entre essas alternativas, os óleos vegetais têm emergido como uma solução promissora, apresentando

propriedades antimicrobianas, antifúngicas, inseticidas e bioestimulantes (Isman, 2020; Pavela et al., 2018).

Extraídos de plantas medicinais e aromáticas, esses compostos naturais podem atuar no controle de organismos fitopatogênicos, além de favorecer a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Aggarwal et al., 2010; Ibáñez & Blázquez, 2019). A aplicação de óleos vegetais no tratamento de sementes pode ser realizada por diferentes métodos, como o contato direto e a fumigação, que variam em eficácia de acordo com as condições de armazenamento (Nascimento et al., 2007; Carvalho et al., 2013). Assim, a investigação do uso desses óleos como alternativa aos defensivos químicos se insere no esforço por práticas agrícolas mais sustentáveis, alinhadas aos princípios da agroecologia, da segurança alimentar e da conservação dos recursos naturais (Altieri & Toledo, 2011; Schneider & Niederle, 2010).

## **3.2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.2.1 A problemática do uso dos agrotóxicos na agricultura brasileira**

A agricultura brasileira, embora altamente produtiva, é marcada pelo uso intensivo de defensivos químicos, tanto em sistemas convencionais quanto em processos pós-colheita. O Brasil figura entre os maiores consumidores mundiais de agrotóxicos, o que levanta preocupações em relação à saúde humana, à contaminação ambiental e à biodiversidade (Altieri & Nicholls, 2017). O uso excessivo desses insumos tem sido associado à degradação dos recursos naturais, à poluição de solos e corpos hídricos, além do aumento da resistência de patógenos e pragas aos princípios ativos (Tilman et al., 2002; García-Ramírez et al., 2023).

Essa dependência química compromete a sustentabilidade do sistema agrícola, tornando urgente a transição para práticas mais seguras e ecologicamente equilibradas. Nesse cenário, a agroecologia se destaca como uma abordagem transformadora, por promover a substituição de insumos sintéticos por estratégias baseadas na biodiversidade e no uso de recursos naturais renováveis (Gliessman, 2014; Altieri & Toledo, 2011). A busca por

alternativas menos tóxicas e mais eficazes inclui o uso de extratos vegetais e óleos essenciais, que apresentam atividade antifúngica e inseticida, além de propriedades bioestimulantes que favorecem o desenvolvimento das plantas (Pimentel & Burgess, 2014; Isman, 2020).

### **3.2.2 O uso dos agrotóxicos no tratamento de sementes e seus impactos**

O tratamento de sementes é uma prática amplamente adotada na agricultura convencional com o objetivo de proteger as sementes contra o ataque de pragas e patógenos durante o armazenamento e as fases iniciais de desenvolvimento da planta. Essa técnica envolve, predominantemente, o uso de fungicidas e inseticidas sintéticos, aplicados por métodos como revestimento, pulverização ou imersão das sementes (Prakash et al., 2012; García-Ramírez et al., 2023). Embora eficiente no controle imediato de microrganismos e insetos, o uso recorrente de defensivos químicos no tratamento de sementes levanta preocupações quanto à toxicidade ambiental e à contaminação dos alimentos, especialmente em culturas de grande consumo como o milho.

Além disso, os resíduos de agrotóxicos presentes nas sementes e no solo podem afetar organismos não-alvo, como polinizadores e micro-organismos benéficos, desequilibrando os agroecossistemas (Altieri & Nicholls, 2017). Outro impacto negativo associado ao uso contínuo desses produtos é o desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos, o que exige doses cada vez maiores ou a combinação de diferentes princípios ativos, aumentando os custos e os riscos à saúde humana e ambiental (Pimentel & Burgess, 2014; Swamy, 2015). Nesse sentido, torna-se evidente a necessidade de alternativas que sejam eficazes, sustentáveis e seguras para o tratamento de sementes.

### **3.2.3 A importância do tratamento de sementes para o armazenamento**

O tratamento de sementes é uma etapa fundamental para assegurar a qualidade sanitária, fisiológica e física das sementes, especialmente durante o armazenamento. Essa prática visa proteger as sementes contra o ataque de pragas e patógenos que podem comprometer sua viabilidade, germinação e

vigor, além de evitar perdas significativas na produtividade agrícola (Tofel, 2017; Prakash et al., 2012). A presença de fungos, insetos e bactérias em ambientes de armazenamento pode acelerar o processo de deterioração dos grãos, afetando negativamente o desempenho das sementes no campo.

Além da proteção fitossanitária, o tratamento de sementes contribui para a manutenção da integridade fisiológica do material armazenado, aspecto essencial para a conservação de sementes e a segurança alimentar (Campolo et al., 2018). Métodos eficazes de tratamento são especialmente importantes em regiões tropicais, como o Brasil, onde a alta umidade e temperatura favorecem o desenvolvimento de organismos que promovem a deterioração. O uso de substâncias com ação antimicrobiana e antioxidante, como é o caso de certos óleos vegetais, pode auxiliar na preservação dos grãos, atuando como barreira física e bioquímica contra agentes nocivos (Rafi, 2015; Costa et al., 2019).

Nesse contexto, estratégias de tratamento que combinem proteção fitossanitária com estímulo ao desempenho fisiológico das sementes ganham destaque, principalmente quando se busca aliar produtividade e sustentabilidade em sistemas agrícolas de base familiar e ecológica.

### **3.2.4 A importância econômica e alimentar do milho**

O milho (*Zea mays L.*) é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, com ampla utilização na alimentação humana e animal, além de ser matéria-prima para diversos produtos industriais, como etanol, amidos, óleos e alimentos processados (CONAB, 2020; IBGE, 2019). No Brasil, a cultura ocupa posição estratégica por sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas, alta produtividade e papel central na economia rural. O país é um dos principais produtores e exportadores de milho do mundo, com destaque para sua contribuição no abastecimento interno e na geração de divisas para o agronegócio.

Além de seu valor econômico, o milho tem relevância nutricional, sendo fonte importante de carboidratos, fibras, vitaminas e minerais. Os grãos de milho são amplamente utilizados na produção de alimentos como farinha, fubá, flocos, pipoca, óleo e produtos derivados, além de compor a base da alimentação

animal em sistemas intensivos de criação de aves, suínos e bovinos (IBGE, 2019). A versatilidade dessa cultura, associada à sua capacidade de integrar cadeias produtivas diversas, torna o milho essencial para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável no Brasil.

Contudo, o milho é altamente suscetível a pragas e doenças, tanto no campo quanto durante o armazenamento, o que pode gerar perdas significativas. Estima-se que até 20% da produção possa ser comprometida por agentes fitopatogênicos como fungos e insetos, como o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) e a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) (FAO, 2014; Costa et al., 2019). Esses desafios sanitários reforçam a necessidade de adoção de práticas seguras e eficazes no tratamento e conservação das sementes e grãos, com vistas a garantir a produtividade e a qualidade dos alimentos.

### **3.2.5 O tratamento de sementes de milho e seus desafios atuais**

O tratamento de sementes de milho é uma prática essencial para proteger as sementes contra pragas e doenças que afetam o armazenamento e as fases iniciais do desenvolvimento da planta para garantir maior vigor, uniformidade de emergência e estabelecimento das plântulas, otimizando o desempenho inicial da cultura (Prakash et al., 2012; Restello et al., 2009). Tradicionalmente, esse tratamento é feito com o uso de produtos químicos, como fungicidas e inseticidas sintéticos, aplicados por via seca ou líquida. Esses produtos atuam de forma preventiva, reduzindo a incidência de fitopatógenos como *Stenocarpella maydis*, *Fusarium* spp. e insetos como *S. zeamais*, comuns durante o armazenamento.

Apesar da sua eficácia, o uso contínuo desses defensivos enfrenta desafios crescentes. Além do desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos e pragas, há uma crescente demanda por métodos menos tóxicos e com menor impacto ambiental. Outro desafio é garantir que o tratamento não afete negativamente a fisiologia da semente, como o comprometimento da germinação ou a redução do vigor em razão da toxicidade de certos princípios ativos (Khursheed et al., 2022). Ainda, a crescente exigência dos mercados consumidores por produtos livres de resíduos químicos pressiona o setor agrícola a buscar alternativas sustentáveis para o tratamento de sementes.

Dessa forma, surgem os extratos vegetais e óleos essenciais como alternativas promissoras, capazes de atuar como agentes antimicrobianos e inseticidas naturais, com baixo risco ambiental. Essas soluções ainda podem atuar como bioestimulantes, promovendo o crescimento radicular e a tolerância ao estresse nas fases iniciais da cultura (Swamy, 2015; Costa et al., 2019). Entretanto, apesar dos avanços, é necessário aprofundar os estudos sobre a eficácia desses compostos em diferentes condições de armazenamento e cultivo, além de estabelecer protocolos de aplicação eficientes e reprodutíveis.

### **3.2.6 Alternativas sustentáveis: os óleos vegetais como agentes bioativos no tratamento de sementes**

Diante dos impactos negativos associados ao uso intensivo de defensivos químicos, cresce o interesse por alternativas naturais e sustentáveis para o tratamento de sementes. Entre essas alternativas, os óleos vegetais, tanto os essenciais quanto os fixos, vêm ganhando destaque por suas propriedades antimicrobianas, inseticidas e bioestimulantes (Isman, 2020; Pimentel & Burgess, 2014). Esses compostos de origem vegetal apresentam grande potencial para o controle de patógenos e pragas que comprometem a qualidade das sementes, ao mesmo tempo em que promovem o crescimento saudável das plântulas.

Os óleos essenciais são substâncias voláteis obtidas, geralmente, por destilação a vapor, e compostos principalmente por monoterpenos e sesquiterpenos, responsáveis por suas atividades biológicas (Swamy & Sinniah, 2015). Já os óleos fixos, extraídos por prensagem ou solventes, são formados principalmente por triacilgliceróis e ácidos graxos, com atividades antioxidantes e bioestimulantes reconhecidas (Al-Hasani et al., 2020). Ambos os tipos de óleo podem inibir o crescimento de fungos e bactérias, reduzir a infestação de insetos-praga e atuar na indução de mecanismos de defesa nas plantas (Campolo et al., 2018; García-Ramírez et al., 2023).

Além disso, a aplicação de óleos vegetais tem se mostrado eficaz na conservação das sementes durante o armazenamento, ajudando a manter sua viabilidade e vigor ao longo do tempo. Estudos indicam que esses compostos

naturais protegem os grãos contra a deterioração oxidativa e microbiológica, prolongando sua vida útil sem comprometer a qualidade fisiológica (Tofel, 2017; Prakash, 2012). Outro ponto relevante é que, por serem biodegradáveis e de baixa toxicidade, os óleos vegetais apresentam risco reduzido ao meio ambiente e à saúde humana, alinhando-se aos princípios da agroecologia e à demanda por sistemas agrícolas mais sustentáveis (Altieri & Toledo, 2011).

Entre as espécies vegetais mais promissoras nesse contexto destacam-se *Curcuma longa* (cúrcuma), *Dysphania ambrosioides* (erva-de-santa-maria) e *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha), cujos óleos já demonstraram eficácia contra patógenos agrícolas e apresentam propriedades inseticidas e antifúngicas significativas (Pavela et al., 2018; Mohamed et al., 2020; Ibáñez & Blázquez, 2019).

A eficácia dos óleos vegetais no tratamento de sementes depende não apenas de sua composição química, mas também do método de aplicação utilizado. Entre os métodos mais explorados estão o contato direto e a fumigação, ambos com potencial para controlar organismos fitopatogênicos e promover efeitos bioestimulantes nas sementes (Campolo et al., 2018; Prakash, 2012).

No método de contato direto, o óleo vegetal é aplicado diretamente sobre as sementes, por imersão ou pulverização, garantindo uma cobertura uniforme da superfície. Essa técnica permite que os compostos bioativos ajam de forma localizada, inibindo a germinação de esporos fúngicos e prevenindo o ataque de insetos durante o armazenamento (Khursheed et al., 2022; Swamy, 2015). Além disso, a aplicação direta pode atuar como um filme protetor que reduz a perda de umidade, auxilia na manutenção da qualidade fisiológica das sementes e, em alguns casos, estimula a germinação e o desenvolvimento radicular.

Já a fumigação com óleos essenciais baseia-se na liberação de compostos voláteis no ambiente onde as sementes estão armazenadas. Esses vapores atuam como agentes antimicrobianos e repelentes de pragas, penetrando em microfissuras dos grãos e impedindo o crescimento de fungos e o desenvolvimento de insetos (Tofel, 2017; Prakash et al., 2012). Esse método é especialmente vantajoso para o controle de pragas internas, como o gorgulho-

do-milho (*Sitophilus zeamais*), e para ambientes fechados, como câmaras frias ou armazéns de sementes.

A escolha entre contato direto e fumigação depende de diversos fatores, como o tipo de patógeno ou praga-alvo, as condições ambientais, a espécie vegetal do óleo utilizado e o tipo de semente tratada. Estudos demonstram que, em algumas situações, a combinação dos dois métodos pode potencializar os efeitos de proteção e estimulação das sementes, oferecendo maior eficácia no manejo fitossanitário (Bayih, 2018; García-Ramírez et al., 2023).

Assim, o aprofundamento nas técnicas de aplicação e a padronização de protocolos são fundamentais para viabilizar o uso de óleos vegetais em larga escala no tratamento de sementes, contribuindo para a redução do uso de defensivos químicos e para a promoção de uma agricultura mais sustentável.

Os métodos de extração de óleos vegetais são determinantes para a qualidade e composição química dos óleos obtidos. Eles incluem técnicas como destilação a vapor, prensagem a frio e extração por solventes, amplamente utilizadas em diferentes tipos de matéria-prima vegetal.

A destilação a vapor é a técnica mais comum para extração de óleos essenciais, especialmente em plantas aromáticas. Nesse método, o vapor de água passa pelo material vegetal, provocando a evaporação dos compostos voláteis. Após a condensação, o óleo é separado da água pela diferença de densidade. A principal vantagem dessa técnica é a preservação das propriedades químicas dos compostos, o que a torna amplamente utilizada nas indústrias cosmética e farmacêutica (Busato et al., 2014).

A prensagem a frio é uma técnica mecânica que aplica pressão sobre partes da planta, como sementes ou cascas, para liberar óleos fixos. Essa técnica é comum em espécies oleaginosas, como o girassol e a laranja. A principal vantagem é a ausência de calor, que permite a preservação de nutrientes e compostos bioativos, como ácidos graxos insaturados e vitaminas (Singh et al., 2005; Swamy & Sinniah, 2015). Contudo, os rendimentos obtidos costumam ser menores.

A extração por solventes é utilizada principalmente para óleos vegetais não voláteis. O material vegetal é imerso em solventes como o hexano, que dissolve os compostos lipofílicos. Após a evaporação do solvente, obtém-se o

óleo concentrado. Apesar de eficiente, há preocupações quanto à toxicidade residual e à segurança ambiental (Bertini et al., 2009; Singh et al., 2005). A escolha adequada do método de extração é essencial para garantir a eficácia do óleo e sua aplicação segura na agricultura.

A aplicação de óleos vegetais no tratamento de sementes tem se mostrado eficaz não apenas no controle de pragas e doenças, mas também na promoção do desenvolvimento vegetal. Além de sua ação antifúngica e inseticida, esses óleos possuem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e bioestimulantes, contribuindo para maior vigor e germinação das sementes (Cozzolino et al., 2020). A análise da composição dos óleos essenciais foi realizada com base nas informações fornecidas pelos fornecedores dos produtos. Os óleos essenciais de cúrcuma (*Curcuma longa*), aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e o óleo fixo de erva-de-santa-maria (*Dysphania ambrosioides*) foram adquiridos em diferentes lojas especializadas: o óleo de cúrcuma e o de aroeira foram comprados na Laszlo, reconhecida pela qualidade de seus produtos naturais. Todos os óleos foram descritos como 100% naturais, sem aditivos, conservantes ou diluentes sintéticos.

### **3.2.9.1 *Curcuma longa***

A *Curcuma longa*, conhecida popularmente como cúrcuma, é uma planta da família Zingiberaceae, amplamente empregada na medicina tradicional e como condimento culinário (Parveen, 2013). Seus rizomas são fontes de óleos essenciais e compostos fenólicos, entre os quais se destacam curcumina, turmerona, ar-turmerona e  $\alpha$ -turmerona, reconhecidos por sua atividade antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana e antifúngica (Parveen et al., 2013; González-Molina et al., 2012). O óleo essencial utilizado neste estudo foi obtido por destilação a vapor dos rizomas da planta e adquirido na loja Laszlo. A cromatografia fornecida pela empresa identificou os principais compostos e suas respectivas faixas de concentração: ar-curcumeno (1–6%),  $\alpha$ -zingibereno (<1–6%),  $\beta$ -sesquifelandreno (3–8%), ar-turmerona (25–35%),  $\alpha$ -turmerona (8–15%),  $\beta$ -turmerona (8–15%), tumerol (<3%), curlona (8–14%),  $\alpha$ -atlantona (<3%) e farmeseno (<1–7%).

Os extratos e óleos da cúrcuma podem apresentar eficácia contra fungos fitopatogênicos como *Alternaria solani* e *Fusarium oxysporum*, inibindo o crescimento micelial e reduzindo a incidência de doenças em cultivos agrícolas (Lengai, 2021; Prakash et al., 2012). Além disso, a cúrcuma tem sido investigada como bioestimulante: em testes com arroz, a aplicação de óleo essencial promoveu aumento no crescimento, no rendimento e na atividade antioxidante das plantas (Prakash et al., 2012). Os rendimentos de óleo essencial da *C. longa* variam de 2,5% a 7,0%, sendo a colheita ideal entre 8 e 10 meses após o plantio (Ravindran et al., 2007).

Além dos usos terapêuticos e condimentos, a *Curcuma longa* tem ganhado destaque em pesquisas que buscam alternativas sustentáveis para o manejo de pragas e doenças agrícolas, sobretudo por sua baixa toxicidade e rápida degradação no ambiente. Segundo Kumar et al. (2020), o óleo essencial de cúrcuma demonstrou eficácia em testes in vitro contra *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causador da antracnose em diversas culturas, sugerindo seu potencial como fungicida natural. Esses achados abrem possibilidades para a substituição de agroquímicos sintéticos por formulações à base de plantas, com impactos positivos tanto para a saúde humana quanto para a conservação ambiental.

Além do controle fitopatogênico, os compostos da cúrcuma também influenciam mecanismos fisiológicos das plantas. Estudos de Singhal et al. (2019) revelaram que a aplicação foliar de extrato de cúrcuma em hortaliças provocou aumento na fotossíntese líquida e na atividade de enzimas antioxidantes, indicando ação promissora como elicitador vegetal. Esses efeitos estão associados à ativação de defesas sistêmicas induzidas, que fortalecem a resposta das plantas a estresses bióticos e abióticos. Portanto, a aplicação de *Curcuma longa* na agricultura vai além do efeito direto sobre patógenos, contribuindo também para o vigor e a resiliência das plantas cultivadas.

### **3.2.9.2 *Dysphania ambrosioides***

A *Dysphania ambrosioides*, conhecida como erva-de-santa-maria, pertence à família Amaranthaceae e é tradicionalmente utilizada como vermífugo e no controle de pragas. Seus extratos e óleos essenciais são ricos em ascaridol, um composto monoterpênico com reconhecida atividade inseticida, antifúngica e antimicrobiana (Al-Hasani et al., 2020; García-Ramírez et al., 2023). O extrato fluido utilizado neste estudo foi adquirido na loja Mundo dos Óleos, descrito como obtido por maceração ou percolação da planta em óleo vegetal prensado a frio, geralmente de girassol. Embora a cromatografia não tenha sido fornecida pela empresa, estudos científicos indicam que os principais compostos do óleo essencial da erva-de-santa-maria são (Z)-ascaridol, (E)-ascaridol, carvacrol, p-cimeno e  $\alpha$ -terpineno. Estes compostos são amplamente responsáveis pelas propriedades biológicas da planta, incluindo atividades antimicrobianas e antiparasitárias, reforçando a autenticidade do extrato como um produto natural.

Estudos mostram que o óleo essencial de *D. ambrosioides* é eficaz contra diversas pragas agrícolas, como moscas-das-frutas (*Ceratitis capitata*), pulgões, traças, mosquitos e carrapatos (Pavela, 2018). Além de sua toxicidade sobre insetos-praga, também apresenta atividade contra fungos fitopatogênicos do solo e sementes. Embora o efeito bioestimulante ainda careça de mais estudos específicos, os resultados iniciais sugerem seu potencial como agente promotor de crescimento. Os rendimentos de óleo essencial da *D. ambrosioides* variam de 0,2% a 1,0%, com as partes aéreas da planta apresentando maior concentração no início da floração (Costa et al., 2019). O plantio denso e o uso de adubação orgânica são estratégias que favorecem a produção de compostos bioativos e aumentam a eficácia do óleo no controle de fitopatógenos (Martins et al., 2018).

A atividade inseticida de *Dysphania ambrosioides* tem sido amplamente validada em estudos laboratoriais e de campo, destacando sua aplicabilidade como alternativa aos pesticidas sintéticos. Um experimento conduzido por Silva et al. (2021) demonstrou que o óleo essencial da planta reduziu significativamente a sobrevivência e a reprodução de *Spodoptera frugiperda*, praga comum em culturas como milho e soja. A eficácia foi atribuída à alta concentração de ascaridol, que compromete o sistema respiratório dos insetos

e promove a desidratação dos tecidos. Essa ação seletiva e rápida torna a erva-de-santa-maria uma opção promissora para o manejo agroecológico de pragas.

Além disso, *D. ambrosioides* tem mostrado resultados positivos no controle de patógenos pós-colheita. Estudos realizados por Oliveira et al. (2022) indicam que a aplicação do extrato fluido sobre sementes de feijão e arroz inibiu o crescimento de fungos como *Fusarium spp.* e *Rhizoctonia solani*, aumentando a taxa de germinação e a sanidade das plântulas. Tais resultados evidenciam o duplo papel do extrato como agente antifúngico e como indutor de vigor fisiológico em sementes. Essa multifuncionalidade, aliada ao baixo custo de cultivo da planta e à facilidade de extração dos compostos, reforça seu valor como insumo agrícola natural e sustentável.

### 3.2.9.3 *Schinus terebinthifolius*

A *Schinus terebinthifolius*, conhecida como aroeira-pimenteira ou aroeira-vermelha, é uma espécie nativa da América do Sul pertencente à família Anacardiaceae. Suas folhas e frutos contêm óleos essenciais ricos em limoneno, pineno, terpineol, monoterpenos e sesquiterpenos, com propriedades antioxidantes, antimicrobianas, inseticidas e repelentes (Maia et al., 2023; Bendaoud, 2010). O óleo essencial de *S. terebinthifolius* utilizado neste estudo foi também adquirido da loja Laszlo, que forneceu uma cromatografia com os seguintes compostos majoritários:  $\alpha$ -pineno (23,8%), sabineno (0,3%),  $\beta$ -pineno (1,1%), mirceno (2,1%),  $\alpha$ -felandreno (10,1%),  $\alpha$ -terpineno (20,7%), p-cimeno (10,4%), limoneno (5,3%), 1,8-cineol (8,7%),  $\alpha$ -copaeno (0,4%), cariofileno (2,5%),  $\alpha$ -humuleno (0,3%), biciclogermacreno (1,7%),  $\gamma$ -cadineno (0,9%),  $\alpha$ -cadineno (1,8%), espatulenol (0,3%) e  $\alpha$ -cadinol (0,5%).

Estudos apontam que o óleo essencial da *S. terebinthifolius* tem excelente desempenho no controle de pragas agrícolas e na conservação de sementes. Sua ação antimicrobiana contribui para evitar o desenvolvimento de fungos deteriorantes durante o armazenamento (Carvalho et al., 2013), enquanto seu efeito repelente auxilia na proteção contra insetos como *Sitophilus zeamais* (Ibáñez; Blázquez, 2017). O rendimento do óleo essencial extraído das folhas varia entre 0,2% e 0,4%, enquanto dos frutos pode atingir de 1,0% a 2,0%

(Carvalho et al., 2013). O manejo adequado da planta, incluindo poda controlada e coleta seletiva dos frutos maduros, contribui significativamente para aumentar a produção e a qualidade do óleo.

A pesquisa sobre *Schinus terebinthifolius* tem avançado não apenas em função de seu potencial inseticida e antifúngico, mas também pelo seu uso como alternativa ecológica na agricultura orgânica. Em estudo conduzido por Silva et al. (2022), o óleo essencial da espécie foi testado contra o fungo *Aspergillus flavus*, um dos principais contaminantes de grãos armazenados, mostrando significativa inibição do crescimento fúngico e da produção de aflatoxinas. Esses resultados reforçam sua viabilidade como uma ferramenta natural para a conservação de produtos agrícolas, especialmente em sistemas que evitam o uso de conservantes sintéticos.

Além de sua aplicação pós-colheita, há evidências de que o óleo de *S. terebinthifolius* pode atuar como agente de controle biológico em campo, especialmente contra pragas de hortaliças e leguminosas. De acordo com os dados de Pereira et al. (2021), a aplicação foliar do óleo promoveu redução populacional de *Bemisia tabaci*, praga relevante em culturas como tomate e feijão. Essa ação está relacionada à presença de monoterpenos como o  $\alpha$ -pineno e o  $\alpha$ -terpineno, compostos que afetam o sistema nervoso dos insetos e reduzem sua capacidade de oviposição. Com isso, a espécie se consolida como uma alternativa promissora dentro do manejo integrado de pragas, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis e seguras.

#### **3.2.9.4 Os óleos e seus efeitos bioestimulantes**

Além das ações fitossanitárias, os óleos vegetais extraídos de *Curcuma longa*, *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* apresentam propriedades bioestimulantes, promovendo benefícios como o aumento da germinação, vigor das sementes e resistência ao estresse abiótico (Cozzolino et al., 2020). Compostos ativos, como curcuminoides, cineol, linalol, ascaridol e taninos, estão envolvidos na indução de respostas antioxidantes e na ativação de mecanismos de resistência sistêmica em plantas, contribuindo para o desenvolvimento saudável das culturas desde as fases iniciais. Além disso,

esses óleos possuem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas, reforçando sua atuação multifuncional no tratamento de sementes.

Entre essas espécies, *Curcuma longa* se destaca pelos compostos curcumina, turmerona e ar-turmerona, eficazes contra fungos como *Alternaria solani* e *Fusarium oxysporum* (Parveen et al., 2013; Lengai, 2021). *Dysphania ambrosioides*, rica em ascaridol, apresenta atividade comprovada contra nematoides e fitopatógenos (Al-Hasani et al., 2020), enquanto *Schinus terebinthifolius* possui ação inseticida e potencial para conservação de sementes (Ibáñez & Blázquez, 2019). O rendimento e as formas de manejo dessas espécies também são relevantes: os rizomas de *C. longa* oferecem entre 2,5% e 7,0% de óleo essencial (Ravindran et al., 2007), enquanto *D. ambrosioides* e *S. terebinthifolius* apresentam rendimento variável conforme a parte utilizada e o estágio fenológico (Costa et al., 2019; Carvalho et al., 2013).

Essas práticas, quando integradas ao manejo sustentável, representam uma alternativa promissora ao uso de defensivos sintéticos, promovendo uma agricultura de menor impacto ambiental, com benefícios agronômicos, ecológicos e sociais. Contudo, ainda são necessários estudos adicionais sobre os efeitos a longo prazo desses óleos nos agroecossistemas e suas interações com a microbiota do solo e a dinâmica das culturas (García-Ramírez et al., 2023; Rangel Fajardo et al., 2020). Assim, a escolha adequada das espécies vegetais, do método de extração e da forma de aplicação é fundamental para o sucesso dessa tecnologia sustentável no tratamento de sementes e no fortalecimento de sistemas agrícolas mais resilientes e biodiversos.

Dessa forma, os óleos essenciais de *Curcuma longa*, *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* se destacam por sua multifuncionalidade no tratamento de sementes, atuando tanto no controle de fitopatógenos quanto na indução de respostas fisiológicas benéficas às plantas. Suas propriedades antifúngicas, inseticidas e antioxidantes, aliadas ao potencial bioestimulante, contribuem para uma germinação mais vigorosa, maior resistência a estresses e melhor desenvolvimento inicial das culturas. Além de reduzirem a dependência de insumos químicos, esses compostos promovem práticas mais alinhadas aos princípios da agroecologia, fortalecendo sistemas agrícolas mais resilientes e

ambientalmente sustentáveis. No entanto, é essencial que estudos futuros aprofundem a compreensão dos efeitos a médio e longo prazo desses óleos sobre a microbiota do solo, as interações entre espécies vegetais e os ecossistemas agrícolas como um todo, a fim de validar e ampliar sua aplicação em larga escala.

## **3.2 - OBJETIVOS**

Investigar o potencial do uso de óleos vegetais de *Curcuma longa*, *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* para o controle de fungos fitopatogênicos em sementes de milho orgânico e como efeito bioestimulante para a manutenção da qualidade de sementes após o armazenamento.

## **3.3 - MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.3.1. Tratamentos de óleos vegetais aplicados**

As sementes de milho orgânico (variedade AL Paraguaçu), doadas pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral do estado de São Paulo – CATI, foram submetidas a um protocolo experimental no qual foram aplicados óleos vegetais derivados das plantas *Curcuma longa* (Cúrcuma), *Dysphania ambrosioides* (Erva de santa maria) e *Schinus terebinthifolius* (Aroeira pimenteira). Foram utilizados óleos comerciais, com composições variadas, de acordo com sua origem e o processo de extração.

Os óleos das três espécies estudadas foram adquiridos em diferentes lojas especializadas e são descritos como 100% naturais, sem a presença de aditivos, conservantes ou diluentes sintéticos. O óleo de cúrcuma e o de aroeira foram comprados na empresa Lazslo e o da erva de santa maria na empresa mundo dos óleos.

Além dos tratamentos individuais com cada óleo, também foi avaliado o uso sinérgico da cúrcuma com a erva-de-santa-maria e com a aroeira. A escolha dessas combinações se deu com base na literatura, que apontava a cúrcuma como a espécie com maior potencial bioestimulante. Dessa forma, optou-se por testar sua interação com os demais óleos para investigar possíveis efeitos benéficos resultantes da associação. A combinação entre a aroeira e a erva-de-

santa-maria, por sua vez, não foi incluída, justamente porque o foco era explorar o desempenho da cúrcuma em associação, dada sua relevância prévia em estudos relacionados à bioestimulação.

Dessa maneira, totalizam-se seis tratamentos, além de um grupo controle (Tabela 4), que consistiu em um tratamento sem a aplicação dos óleos estudados, contendo apenas água e *Tween* 80 em sua mistura. O *Tween* 80 é um surfactante usado para dissolver óleos vegetais, que são insolúveis em água, ajudando a formar uma solução uniforme e estável, permitindo a distribuição adequada dos óleos nas sementes e garantindo testes precisos dos óleos vegetais (Nascimento, 2007).

**Tabela 4** - Descrição dos tratamentos de óleos vegetais aplicados em sementes de milho.

<b>Tratamento</b>	<b>Descrição</b>
T1	Tratamento controle utilizando Água e <i>Tween</i> (2% v/m*)
T2	<i>Curcuma longa</i> (2% v/m)
T3	<i>Dysphania ambrosioides</i> (2% v/m)
T4	<i>Schinus terebinthifolius</i> (2% v/m)
T5	<i>Curcuma longa</i> (2% v/m) + <i>Dysphania ambrosioides</i>
T6	<i>Curcuma longa</i> (2% v/m) + <i>Schinus terebinthifolius</i>

\*v/m: volume por massa

Destaca-se que os óleos foram aplicados em apenas uma concentração para cada óleo, definida em pré-testes realizados antes do tratamento das sementes, com base no parâmetro de germinação das sementes. Além dos tratamentos referentes aos tipos de óleos, as sementes foram submetidas a dois diferentes métodos de tratamento, um de contato direto e outro por fumigação.

Para o método de contato direto, os óleos foram diluídos em uma concentração de volume de calda 2 % m/v (H<sub>2</sub>O destilada, *Tween* 80 e Óleo essencial) em cada uma das concentrações pré-definidas (Tabela 5). A aplicação foi feita nas sementes de milho com auxílio de sacos plásticos e misturadas com os respectivos tratamentos de óleo por fricção, até a completa distribuição. Feito isso, as sementes passaram por secagem superficial e foram armazenadas em garrafas pet, as quais são resistentes à troca de vapor de água com o ambiente de armazenamento. Além disso, essas embalagens são

econômicas e práticas, viabilizando o seu uso para condições de agricultura de pequena escala.

**Tabela 5** - Concentrações finais usadas dos óleos vegetais em contato direto.

Tratamento	Volume de calda a ser aplicada para cada 100g de semente	% do óleo na solução	Concentração final do óleo em µl/g de semente
T1	2ml	0	0
T2	2ml	10	2
T3	2ml	5	1
T4	2ml	2,5	0,5
T5	2ml	15	3
T6	2ml	12,5	2,5

*Controle (T1), Curcuma longa (T2), Dysphania ambrosioides (T3) e Schinus terebinthifolius (T4), C. longa + D. ambrosioides (T5) e C. longa + S. terebinthifolius (T6).*

A metodologia de fumigação adotada baseia-se em sistemas herméticos para exposição prolongada de sementes a compostos voláteis, conforme aplicado em estudos com óleos essenciais para controle de pragas (Campolo et al., 2018; Pavela et al., 2018) e proteção de cultivos (Ibáñez; Blázquez, 2019). A eficiência da absorção dos compostos é respaldada por pesquisas que demonstram a atividade biológica de voláteis em ambientes controlados (Mohamed et al., 2020; Prakash et al., 2012).

Foi desenvolvido um sistema experimental utilizando embalagens de plástico com tampa, em que as sementes de milho foram colocadas em um lado da embalagem e no lado oposto, foi fixado um pedaço de algodão embebido na diluição dos óleos vegetais, de forma que o algodão ficasse voltado para as sementes. As embalagens foram então seladas para evitar a dispersão dos compostos voláteis, garantindo que o vapor liberado pelos óleos fosse direcionado exclusivamente para as sementes. As sementes ficaram nessa condição por 72 horas.

Para definição dos volumes de fumigação, foram realizados pré testes utilizando as concentrações sumarizadas na tabela 6, para cada um dos óleos em estudo.

**Tabela 6** - Concentrações finais usadas dos óleos vegetais em Fumigação.

Tratamento*	Volume de óleo a ser aplicada nas sementes (µl/g)
T1	0
T2	3
T3	1
T4	0,5
T5	T1 + T3
T6	T2 + T4

*Controle (T1), Curcuma longa (T2), Dysphania ambrosioides (T3) e Schinus terebinthifolius (T4), C. longa + D. ambrosioides (T5) e C. longa + S. terebinthifolius (T6).*

Após o tratamento das sementes, estas foram armazenadas durante um período de 12 meses em câmara fria (CF) e seca (10°C e 35% de umidade relativa) e em uma condição de laboratório sem controle (ASC) de temperatura ou da umidade relativa do ar.

Antes do armazenamento e a cada 4 meses, as sementes foram avaliadas em relação ao potencial fisiológico e qualidade sanitária, totalizando quatro períodos de avaliação (zero e aos 4, 8, e 12 meses).

### 3.3.2. Avaliações de potencial fisiológico e sanitário

#### 3.3.2.1 - Teste de germinação

Para conduzir o teste de germinação de sementes, adotou-se um protocolo padronizado que incluiu a análise de quatro repetições de 50 sementes por tratamento experimental. O procedimento foi realizado em rolos de papel, compostos por três folhas umedecidas. A umidade foi ajustada com água na proporção de 2,5 vezes o peso seco do papel. As sementes foram mantidas em condições controladas de temperatura (25 °C) em uma câmara de germinação tipo BOD com avaliação realizada ao quarto e sétimos dias após o início do teste.

Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de plântulas normais, conforme estabelecido nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

#### **3.3.2.2. - Comprimento de plântulas**

O teste foi conduzido com quatro repetições de 20 sementes, totalizando 80 unidades. A configuração seguiu metodologia semelhante à do teste de germinação, com as sementes organizadas em duas fileiras de 10 unidades no terço superior do papel umedecido. Após a permanência dos rolos na câmara BOD, as plântulas normais foram avaliadas quanto ao comprimento da raiz primária e da parte aérea com uso de uma régua milimetrada. Os resultados foram expressos em centímetros (cm) (BRASIL, 2009).

#### **3.3.2.3 - Massa de matéria seca de plântulas**

As plântulas provenientes do teste de comprimento foram separadas em parte aérea e raízes. Cada componente foi colocado individualmente em estufa com circulação de ar regulada a 60 °C e mantido por 72 horas para secagem completa. Após o resfriamento em ambiente desumidificado, as amostras foram pesadas em balança de precisão para determinação da massa de matéria seca, expressa em gramas (g) (BRASIL, 2009).

#### **3.3.2.4. - Emergência de plântulas em bandeja**

Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por tratamento, alocadas em caixas plásticas (40 × 30 × 10 cm) contendo substrato de terra. O substrato foi umedecido com água até 60% da capacidade de retenção (Martins, 2017). As caixas permaneceram em temperatura ambiente para observação da emergência. As avaliações ocorreram diariamente, a partir do surgimento das plântulas até que permanecessem pelo menos três dias estáveis, com os resultados expressos em porcentagem (%) de plântulas emergidas (BRASIL, 2009b; Martins, 2017).

### **3.3.2.5 - Índice de Velocidade de Emergência (IVE)**

O IVE foi calculado pela soma do número de plântulas emergidas em cada intervalo de tempo, dividido pelo número de dias decorridos até cada contagem, conforme proposto por Maguire (1962). Este método permite avaliar a rapidez da emergência das sementes. O IVE é considerado um índice adimensional, pois resulta da razão entre a contagem de plântulas e o tempo decorrido, não apresentando unidade de medida. Seu valor serve exclusivamente como parâmetro comparativo entre tratamentos, sendo que valores mais altos indicam maior velocidade de emergência.

### **3.3.2.6 - Teste de condutividade elétrica**

Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, imersas em 75 mL de água destilada a 25 °C por 24 horas. Após o período de embebição, a condutividade elétrica da solução foi medida com um condutímetro e expressa em microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Sementes de alta qualidade liberam menos substâncias solúveis, resultando em condutividade mais baixa, enquanto sementes de baixa qualidade apresentam valores mais elevados (Vieira; Krzyzanowski, 1999).

### **3.3.2.7 - Teste de sanidade**

Foram analisadas quatro repetições de 50 sementes (total de 200 por tratamento), distribuídas uniformemente sobre três camadas de papel filtro umedecido em placas de Petri esterilizadas. As sementes foram espaçadas (1–2 cm entre elas) para evitar contaminação cruzada. As placas foram incubadas em câmara BOD a 20 °C por 24 horas e, em seguida, transferidas para um refrigerador a 5 °C por mais 24 horas, com o objetivo de suprimir a germinação. Após esse período, as placas retornaram à câmara BOD (20 °C), onde permaneceram por mais cinco dias. Ao final do sétimo dia total de incubação, foi realizada a avaliação da incidência de fungos, com os resultados expressos em porcentagem (%) de sementes infectadas por patógenos. A identificação foi feita

com microscópio estereoscópico (30–80x) e, quando necessário, com microscópio óptico, seguindo a metodologia descrita por BRASIL (2009).

### 3.3.2.8 - Análise estatística

O experimento foi conduzindo em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 7 x 2 (7 tratamentos de óleos vegetais x 2 formas de aplicação) com a análise sendo realizada isoladamente para ambiente de armazenamento (câmara fria e ambiente sem controle) e cada época de avaliação (0, 4, 8 e 12 meses).

Para cada teste, procedeu-se inicialmente com a análise de variância e, quando houve efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ).

## 3.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.4.1. - Resultados - Tempo 0

As avaliações realizadas no Tempo 0 foram conduzidas imediatamente após a aplicação dos óleos vegetais nas sementes, sem a influência do ambiente de armazenamento. Tabela 7 apresenta os resultados referentes à germinação, emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência (IVE) e condutividade elétrica, permitindo observar os efeitos imediatos dos diferentes tratamentos e métodos de aplicação que demonstraram que o tratamento controle (T1) apresentou uma taxa de germinação de 87% para ambos os métodos de aplicação, contato direto (CD) e fumigação (F), sem diferenças significativas entre os dois. Isso indica que o controle teve um bom desempenho, independentemente do método de aplicação.

**Tabela 7** - Germinação, Emergência de Plântulas, Índice de Velocidade de Emergência e Condutividade Elétrica de sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F).

TRAT	G (%)		E. Plântulas (%)		IVE		C. Elétrica (S.m)	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
	T1	87aA	87aA	60aA	60aA	36.8aA	36.7Aa	23.7Aa
T2	77abB	85aA	25cB	60.5aA	12.4cB	36Aa	27.2Aa	27abA
T3	79abA	80,5aA	44bB	67.5aA	23.4bB	42.2Aa	23.4aB	27.8aA
T4	80abA	83,5aA	58abA	63.5aA	33.4aA	38.5aA	24.5Aa	22.2bA
T5	76,5abB	86,5aA	13cB	64aA	5.3dB	38.7Aa	23.3aA	25abA
T6	69bB	84,5aA	25cB	61aA	12cB	36.8Aa	27.1aA	25.4abA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6) letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Os dados revelaram variações expressivas conforme o tipo de óleo, o método de aplicação, Contato Direto (CD) ou Fumigação (F), e a composição das formulações. O tratamento T2, com óleo essencial de *Curcuma longa*, resultou em taxa de germinação de 77% no CD e 85% na F, evidenciando que o modo de aplicação influencia significativamente a resposta fisiológica das sementes. A menor germinação observada no CD pode estar relacionada à fitotoxicidade causada pela alta concentração de curcuminoides em contato direto com o embrião, o que pode comprometer a integridade celular e os processos metabólicos iniciais. Em contraste, a fumigação proporcionou uma condição menos agressiva, permitindo a liberação gradual de compostos voláteis, que possivelmente atuaram na estimulação fisiológica e na ativação de processos enzimáticos essenciais à germinação. Estudos clássicos destacam que fatores como temperatura, oxigenação e a presença de compostos voláteis podem modular o metabolismo da semente, favorecendo a superação da dormência e a retomada do crescimento embrionário (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Marcos-Filho, 2015).

Assim, a aplicação via fumigação, além de minimizar efeitos fitotóxicos, pode atuar positivamente sobre os mecanismos fisiológicos de germinação forma semelhante, o tratamento T6 (*C. longa* + *S. terebinthifolius*) apresentou 69% de germinação via CD e 84,5% via F. A combinação direta de compostos

fenólicos e terpenoides pode ter gerado antagonismo químico sobre a superfície da semente, retardando a germinação. Khursheed et al. (2022) apontam que interações entre classes distintas de metabólitos secundários, quando não moduladas adequadamente, podem comprometer a estabilidade fisiológica de sementes. Já a fumigação favorece a dispersão dos voláteis, reduzindo a concentração local e permitindo efeitos mais suaves e bioestimulantes.

Para o tratamento T3 (*Dysphania ambrosioides*), a germinação foi estável entre os métodos (79% CD e 80,5% F), indicando baixa fitotoxicidade e boa estabilidade fisiológica do ascaridol, principal constituinte do óleo vegetal dessa espécie. Pavela et al. (2018) relatam que o ascaridol, além de ter ação antifúngica, pode modular positivamente o metabolismo inicial da semente, inclusive preservando a integridade das membranas celulares.

O tratamento T5, que combinou *C. longa* e *D. ambrosioides*, apresentou germinação de 76,5% (CD) e 86,5% (F). A melhora na fumigação indica que a liberação simultânea de curcuminoides e ascaridol, quando aplicada diretamente, pode causar fitotoxicidade, enquanto a exposição gradual facilita a compatibilidade funcional entre os compostos (Du Jardin et al., 2015).

O tratamento T4 (*Schinus terebinthifolius*) apresentou desempenho semelhante ao grupo controle (T1), com 80% de germinação no contato direto (CD) e 83,5% na fumigação (F), sugerindo baixa fitotoxicidade dos compostos presentes nesse óleo vegetal. Esse comportamento pode ser atribuído à composição química do óleo essencial, rica em monoterpenos como limoneno e  $\alpha$ -pineno, cujas propriedades são reconhecidas por promover efeitos fisiológicos leves e bem tolerados pelas sementes (Carvalho et al., 2013). Esses compostos voláteis não apenas evitam a inibição da germinação, como também contribuem com ação antioxidante moderada, protegendo as estruturas celulares iniciais do embrião sem comprometer sua viabilidade.

Quanto à emergência de plântulas, o grupo controle manteve 60% de emergência em ambos os métodos, indicando que as condições ambientais e o próprio potencial fisiológico das sementes eram adequados. Em contraste, os tratamentos com óleos vegetais apresentaram padrões mais variáveis. No T2 (*Curcuma longa*), observou-se baixa emergência no CD (25%) e aumento expressivo na F (60,5%), reforçando que compostos bioativos aplicados

diretamente podem induzir estresse oxidativo nos tecidos meristemáticos mais sensíveis, comprometendo o desenvolvimento inicial. Por outro lado, a fumigação, por promover uma liberação gradual dos compostos voláteis, tende a ser menos agressiva, oferecendo uma via mais segura e eficiente para o estímulo fisiológico (Al-Hasani et al., 2020). Padrão semelhante foi observado em T3 (*Dysphania ambrosioides*), com 44% de emergência no CD e 67,5% na F, sugerindo que o modo de aplicação influencia diretamente o sucesso da emergência.

A combinação T5 (*C. longa* + *D. ambrosioides*) apresentou um dos piores desempenhos no CD, com emergência de apenas 5,3%, o que possivelmente reflete efeitos sinérgicos negativos entre os compostos bioativos quando aplicados de forma direta. No entanto, a fumigação neste tratamento resultou em uma recuperação significativa da emergência (38,7%), indicando que a aplicação indireta modula a toxicidade inicial e permite um melhor aproveitamento das propriedades bioestimulantes dos óleos. Esse efeito de compensação pela via volátil é compatível com estudos que apontam a importância da volatilização controlada para evitar fitotoxicidade e maximizar os efeitos benéficos dos óleos essenciais, especialmente em misturas químicas mais complexas (Singh et al., 2005; Cozzolino et al., 2020).

O índice de velocidade de emergência (IVE) também refletiu esses padrões. No controle, os valores foram semelhantes entre CD e F. Já os tratamentos T2 e T5 apresentaram maiores ganhos na fumigação, sinalizando ativação mais rápida do metabolismo germinativo sob aplicação indireta (Bewley et al., 2013).

Na Tabela 8 o crescimento da parte aérea, o tratamento com *Curcuma longa* (T2) destacou-se no método de Contato Direto (CD), atingindo 11,83 cm, valor superior ao do controle (10,07 cm). Esse desempenho sugere que os curcuminoides presentes no extrato podem atuar como promotores de alongação celular, possivelmente por sua atividade análoga à de auxinas, capazes de modular a plasticidade da parede celular e estimular o alongamento do hipocótilo, efeito já observado em plântulas de trigo e arroz submetidas à aplicação exógena desses compostos (Kumar et al., 2011; Singh et al., 2015). Contudo, quando aplicados via fumigação, os compostos da cúrcuma não

promoveram o mesmo efeito, resultando em menor crescimento (9,28 cm), o que indica que a concentração de compostos voláteis no ambiente pode ter sido insuficiente ou ineficaz para induzir respostas fisiológicas similares. Esse padrão reforça que a via de aplicação influencia significativamente a biodisponibilidade e o modo de ação dos metabólitos secundários (Al-Hasani et al., 2020).

Além disso, a redução do crescimento da parte aérea na fumigação com *C. longa* pode estar associada à saturação do ambiente por compostos voláteis, provocando inibição do crescimento em concentrações elevadas, possivelmente por estresse oxidativo ou desequilíbrio osmótico. Apesar disso, a maior massa seca radicular observada nesse mesmo tratamento (1,866 g) sugere uma redistribuição de recursos da parte aérea para as raízes, uma resposta comum sob estresse químico moderado (Bailly, 2004). Tais padrões, evidenciados na Tabela 8, demonstram a complexa interação entre tipo de composto, método de aplicação e respostas fisiológicas nas plântulas de milho. A análise destaca, portanto, a importância de ajustes técnicos na formulação e aplicação de extratos vegetais para maximizar seus efeitos benéficos e reduzir potenciais impactos negativos.

Essas tendências são confirmadas na Tabela 8, que apresenta os dados de comprimento da parte aérea e radicular, além da massa seca das plântulas de milho tratadas com óleos vegetais por diferentes métodos de aplicação. Os resultados evidenciam a variabilidade de respostas conforme a combinação entre espécie vegetal, tipo de composto e forma de exposição, ressaltando a importância de estudos direcionados à otimização dessas práticas.

**Tabela 8** - Comprimento da parte aérea e radicular (cm), e massa de matéria seca (g) de plântulas de milho provenientes de sementes tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius* (ST), *Dysphania ambrosioides* (DA) e *Curcuma longa* (CL), aplicados por contato direto (CD) e fumigação (F).

TRA T	Comprimento de Plântulas (cm)				Massa de Matéria seca (m/v)			
	P. Aérea		Raíz		P. Aérea		Raíz	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
T1	10.07abA	10.08aA	16.15abA	16.10aA	2.320abA	2.328abA	1.601aA	1.606aA
T2	11.83aA	9.28aB	17.84aA	14.59aA	1.898bB	2.739aA	1.122abB	1.630aA
T3	10.76aA	10.43aA	16.60aA	14.73aA	2.203abA	2.311abA	1.674aA	1.583aA

<b>T4</b>	9.01abA	10.15aA	15.45abA	13.37aA	2.540aA	2.499abA	1.475aA	1.453aA
<b>T5</b>	7.02bB	10.30aA	11.24bB	14.86aA	1.246cB	2.553abA	0.784bB	1.866aA
<b>T6</b>	8.5abA	10.04aA	17.47aA	14.45aA	1.750bcA	2.107bA	1.217abB	1.665aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6) letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Para *Dysphania ambrosioides* (T3), o desempenho semelhante entre os métodos de Contato Direto (CD) e Fumigação (F) indica que o ascaridol, principal composto do óleo essencial, apresenta estabilidade e eficácia em ambas as formas de aplicação. Esse monoterpene peróxido possui reconhecida ação antifúngica, atuando na desestabilização das membranas celulares e inibição da respiração mitocondrial (Pavela et al., 2018). Além disso, compostos com essa estrutura podem funcionar como elicitores bioquímicos, ativando genes de defesa e enzimas antioxidantes em sementes, o que favorece a germinação e o desenvolvimento inicial (García-Ramírez et al., 2023).

No caso de *Schinus terebinthifolius* (T4), a fumigação resultou em maior crescimento da parte aérea das plântulas em comparação ao CD, efeito atribuído possivelmente à ação de monoterpenos voláteis como limoneno,  $\alpha$ -pineno e  $\beta$ -mirceno (Uliana et al., 2016; Carvalho et al., 2013). Esses compostos são capazes de modular rotas hormonais associadas ao crescimento vegetal, especialmente aquelas relacionadas às auxinas e giberelinas, promovendo alongamento celular e divisão nos tecidos meristemáticos.

A aplicação via fumigação, por manter esses compostos em suspensão no ambiente, favorece sua absorção gradual pelas plântulas, potencializando seus efeitos fisiológicos. Assim, os dados sugerem que a ação volátil dos compostos de *S. terebinthifolius* apresenta efeito bioestimulante relevante, principalmente em condições controladas que promovam a retenção dos princípios ativos no ambiente de cultivo (Uliana et al., 2016; Carvalho et al., 2013).

Nas misturas, observou-se sinergismo na fumigação: T5 (*C. longa* + *D. ambrosioides*) e T6 (*C. longa* + *S. terebinthifolius*) recuperaram ou superaram o crescimento em comparação ao contato direto, indicando que os compostos

antioxidantes da cúrcuma podem atenuar efeitos fitotóxicos de vapores voláteis (Cozzolino et al., 2020; García-Ramírez et al., 2023).

No sistema radicular, o maior comprimento observado no tratamento T6 via contato direto sugere que sesquiterpenos presentes em *Schinus terebinthifolius*, como o  $\beta$ -cariofileno, podem atuar como promotores do crescimento radicular ao estimular rotas hormonais associadas à alongação celular (Rathore et al., 2009). Por outro lado, quando aplicado isoladamente por fumigação, o óleo de *Curcuma longa* apresentou efeito inibitório sobre o crescimento radicular, possivelmente devido à elevada concentração de curcuminoides voláteis interferindo na dinâmica da divisão celular e no equilíbrio hormonal, especialmente em ambientes fechados (García-Ramírez et al., 2023).

Quanto à biomassa, o tratamento com *S. terebinthifolius* apresentou maior massa seca aérea no contato direto, sugerindo que compostos menos voláteis como taninos e flavonoides podem promover a alocação de carbono para o desenvolvimento foliar, possivelmente por sua atuação na modulação do metabolismo primário e estabilidade celular mesmo em contato direto (Carvalho et al., 2013). Por outro lado, a maior massa seca radicular observada em T5 sob fumigação (*C. longa* + *D. ambrosioides*) indica que a liberação gradual de compostos voláteis como curcuminoides e ascaridol pode estimular rotas hormonais de crescimento radicular, promovendo maior absorção e eficiência na alocação de recursos (Pavela et al., 2018; Al-Hasani et al., 2020). Essa diferenciação entre desenvolvimento aéreo e radicular conforme o método reforça a importância de calibrar o tipo de aplicação ao perfil químico das formulações para maximizar benefícios fisiológicos e minimizar possíveis efeitos antagônicos entre os compostos ativos.

Esses achados corroboram o potencial dos óleos vegetais como alternativas sustentáveis, desde que aplicados conforme suas características químicas e via método compatível, maximizando benefícios e minimizando fitotoxicidade.

Na Tabela 9, observa-se que o controle (T1) apresentou baixa colonização de *Fusarium* sp. (14%) tanto no contato direto (CD) quanto na fumigação (F), ausência de *Aspergillus* sp. e colonização reduzida de *Penicillium* sp. (1,5%). O método de contato direto mostrou variações na resposta dos

fungos: por exemplo, o extrato de *Curcuma longa* (T2) reduziu a colonização de *Fusarium* sp. para 10%, enquanto a combinação *C. longa* + *Schinus terebinthifolius* (T6) resultou em 22%, sugerindo ação moderada de compostos não voláteis como os curcuminoides, que interferem na germinação de esporos.

**Tabela 9** – Ocorrência dos fungos *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp., em porcentagem, em sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius* (ST), *Dysphania ambrosioides* (DA) e *Curcuma longa* (CL), aplicados por contato direto (CD) e fumigação (F).

TRAT	<i>Fusarium</i> SP.		<i>Aspergillus</i> SP.		<i>Penicillium</i> SP.	
	CD	F	CD	F	CD	F
T1	14aA	14bA	0aA	0bA	1.5aA	1.5bA
T2	10aB	33abA	0aB	7aA	1.5aB	34.5aA
T3	19.5aA	28.5abA	1aB	7.5aA	10aB	46aA
T4	20aA	29.5abA	1.5aB	8.5aA	9aB	42aA
T5	7aB	40aA	1aB	7.5aA	2.5aB	44aA
T6	22aA	33.5abA	2aB	8aA	1.5aB	51.5aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Para *Penicillium* sp., todos os tratamentos por contato direto mantiveram a colonização abaixo de 10%, com destaque para T3 e T4, que atingiram 10% e 9%, respectivamente, ainda assim superiores ao controle (1,5%), indicando eficácia limitada em alguns extratos específicos. No entanto, via fumigação, observou-se um aumento expressivo na colonização de *Penicillium* sp., principalmente nos tratamentos T3 (46%), T4 (42%), T5 (44%) e T6 (51,5%). Esse incremento, bem acima do controle, pode ser atribuído à volatilidade limitada e/ou à possível degradação dos compostos ativos durante a dispersão gasosa, o que diminui sua concentração e, conseqüentemente, sua eficácia antifúngica. Tais resultados contrastam com estudos que destacam o potencial dos compostos voláteis em sistemas similares, sugerindo que a composição

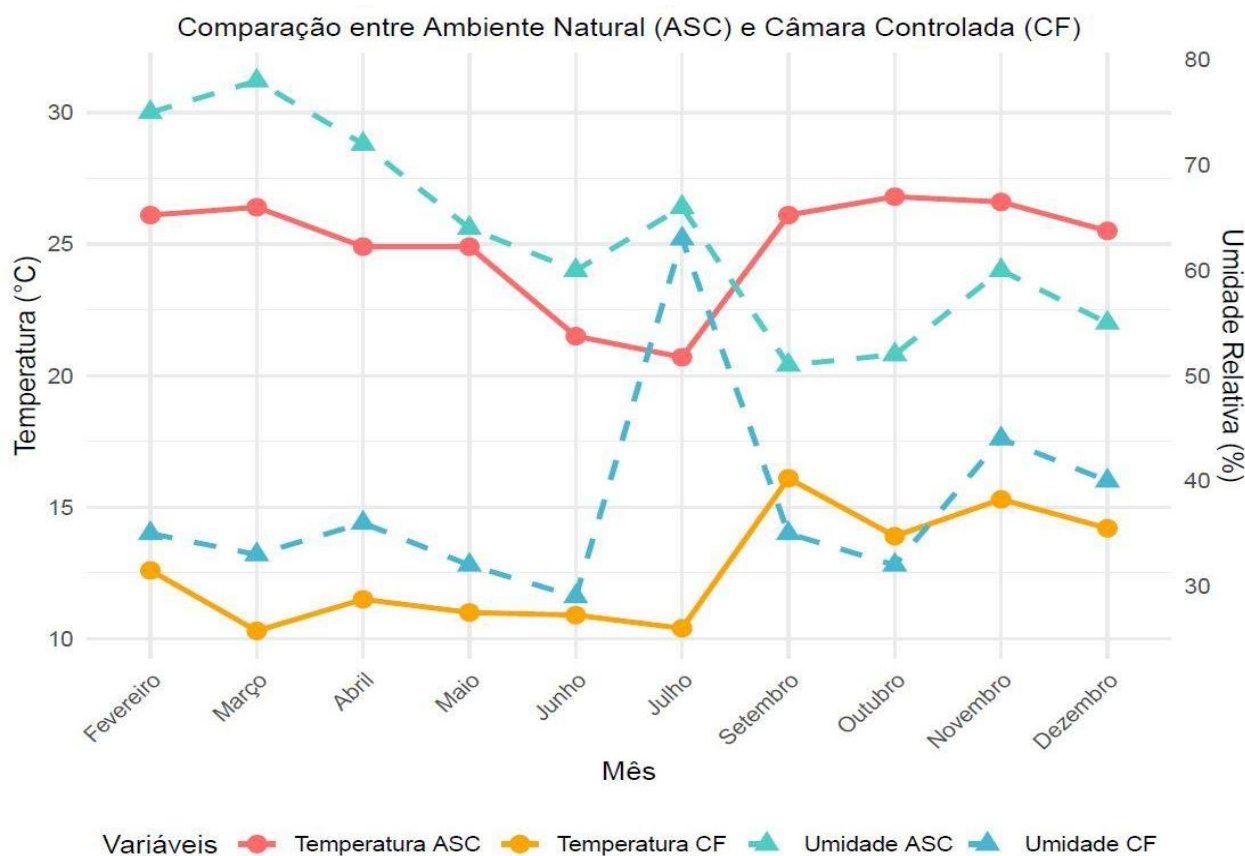
química e a concentração dos extratos são fatores determinantes para o sucesso do tratamento (Isman, 2000).

O gênero *Aspergillus* sp. apresentou colonização nula no controle, mas foi detectado em baixa frequência na fumigação, com valor máximo de 8,5% (T4-F), indicando alguma sensibilidade aos metabólitos testados, mas também possível escape da ação fungitóxica. A resposta observada em *Penicillium* sp., com baixa colonização no contato direto e aumento expressivo na fumigação, reforça que os voláteis liberados podem não atingir seu metabolismo de forma eficaz. Ademais, as formulações combinadas (T5 e T6) não demonstraram sinergismo esperado; em T5, a colonização de *Fusarium* sp. via fumigação atingiu 40%, superior ao controle, possivelmente devido a interações antagônicas entre compostos ou à degradação dos metabólitos durante a aplicação (Costa et al., 2009).

A Figura 17 ilustra a variação anual de temperatura e umidade relativa em dois ambientes distintos: câmara fria (CF) e ambiente sem controle (ASC). Na CF, a temperatura é mantida em torno de 10 °C e a umidade relativa em 35%, condições estáveis que minimizam o desgaste fisiológico e a perda de vigor das sementes. Em contraste, no ASC ocorrem flutuações significativas, com picos de calor e umidade elevada nos meses quentes e quedas bruscas no frio, o que pode acelerar o envelhecimento das sementes e favorecer a proliferação de fungos patogênicos, como *Fusarium* e *Penicillium* (Marcos-Filho, 2015; Bailly, 2004).

Condições de alta umidade e temperatura, como no ASC, aumentam a absorção de água, intensificam a atividade metabólica e aceleram a degradação das reservas nutricionais, comprometendo a viabilidade e o vigor das sementes. Além disso, a umidade elevada facilita a proliferação de fungos, afetando a qualidade sanitária (Campolo et al., 2018). Por outro lado, a estabilidade térmica e baixa umidade da CF reduzem a atividade metabólica e inibem o crescimento de patógenos, prolongando a vida útil e a qualidade fisiológica das sementes (Costa, 2009; Isman, 2020).

Dessa forma, o armazenamento em câmara fria se mostra a melhor opção para garantir a conservação a longo prazo e maximizar a eficácia dos tratamentos com óleos vegetais.

**Figura 17** – Variação Mensal de Temperatura e Umidade de Fevereiro a Dezembro

### 3.4.2. - Resultados - Tempo 1

Na época 2 de avaliação, foi considerado um fator adicional: o ambiente de armazenamento das sementes. As sementes permaneceram armazenadas por quatro meses em câmara fria (CF), com temperatura e umidade controladas, ou em ambiente sem controle (ASC), sujeito a variações climáticas.

Conforme mostrado na Tabela 10, o grupo controle (T1) apresentou germinação superior em CF (86,5% CD; 88,5% F) em comparação ao ASC (81,5% CD; 74% F). Esse resultado está alinhado a estudos que associam ambientes controlados à preservação da integridade metabólica das sementes, por meio da redução do estresse oxidativo e térmico (Marcos-Filho, 2015). A emergência de plântulas e o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) também foram maiores em CF (65% e 53,22 via fumigação), enquanto a condutividade elétrica (CE), que indica danos na membrana celular, manteve-se menor (23,71

S.m em CD; 23,8 S.m em F), evidenciando menor extravasamento de eletrólitos e, portanto, maior integridade celular. Vieira & Krzyzanowski destacam a CE como parâmetro confiável para detectar deterioração fisiológica das membranas plasmáticas.

**Tabela 10** - Germinação, Emergência de Plântulas, Índice de Velocidade de Emergência e Condutividade Elétrica de sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 4 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	G (%)		E. Plântulas (%)		IVE		C. Elétrica (S.m)	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>								
<b>T1</b>	86.5aA	88.5aA	41bcB	65aA	18.425bcB	53.22abA	23.71aA	23.8abA
<b>T2</b>	53.5bB	88.5aA	61.5aA	71.5aA	29.985bA	40.27bcA	27.25aA	26.99abA
<b>T3</b>	86aA	81.5aA	68aA	76.5aA	47.64aB	58.60aA	23.49aB	27.83aA
<b>T4</b>	76.5aA	86aA	72.5aA	73.5aA	45.67abA	36.46cA	24.51aA	22.28bA
<b>T5</b>	51bA	46bA	42.5bcA	29bA	15.46cA	6.48eA	23.36aA	24.68abA
<b>T6</b>	45bA	48.7bA	38cB	72aA	16.38bcA	22.30dA	27.11aA	25.77abA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>								
<b>T1</b>	81.5aA	74acA	39aB	60.5abA	21.895abB	41.29aA	28.3aA	28.8aA
<b>T2</b>	53bB	81aA	27.7abB	52.5abA	17.637abB	29.5aA	22.3aA	25aA
<b>T3</b>	77aA	79.5abA	32.5abB	56.5abA	24.6aA	30.5aA	27.5aA	25.17aA
<b>T4</b>	82aA	83.5aA	36abA	46bA	28.982aA	30aA	23.4aA	22.4aA
<b>T5</b>	33cB	62.5cA	7.5cB	62.7aA	4.332bcB	31.75aA	28aA	21.8aB
<b>T6</b>	52bB	66bcA	22.5bcB	54.7abA	11.707bcB	35aA	26.6aA	22.17aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Para *Curcuma longa* (T2), observou-se redução na germinação em CF via contato direto (53,5%), possivelmente decorrente dos efeitos fitotóxicos dos curcuminoídeos em alta concentração, como reportado por Prakash et al. (2021). Al-Hasani et al. (2020) reforçam que a exposição direta aos voláteis de *C. longa*

pode comprometer o crescimento das plântulas devido ao acúmulo de substâncias como a curcumina, que afetam a integridade das membranas e a germinação, especialmente em ambientes confinados. Em contraste, a fumigação atenuou esse efeito, elevando a germinação para 88,5%, sugerindo que a liberação gradual dos compostos voláteis pode modular respostas fisiológicas sem comprometer a viabilidade. No ASC, a emergência foi significativamente menor via contato direto (27,7%), indicando que fatores ambientais amplificam os estresses químicos.

O óleo de *Dysphania ambrosioides* (T3) destacou-se pela alta germinação em CF (86% CD; 81,5% F), emergência elevada (76,5% via fumigação) e alto IVE (58,60 via fumigação), evidenciando que seus compostos bioativos, como o ascaridol, podem manter estabilidade e favorecem os processos fisiológicos em condições controladas. Contudo, no ASC, a emergência diminuiu para 56,5% (fumigação), possivelmente pela sensibilidade das sementes às flutuações térmicas e hídricas que comprometem a integridade das membranas e atrasam a retomada do metabolismo celular, conforme explicado por Bewley et al. (2013) em relação ao impacto do estresse abiótico na germinação.

O tratamento com *Schinus terebinthifolius* (T4) apresentou elevada germinação em CF (86% via fumigação), associada à menor condutividade elétrica (22,28 S.m), sugerindo efeito protetor dos compostos fenólicos na manutenção da integridade membranar — um efeito típico de antioxidantes naturais, conforme Lima et al. (2019). Por outro lado, a combinação *Curcuma longa* + *Dysphania ambrosioides* (T5) mostrou desempenho inferior em CF, com reduções acentuadas na germinação e emergência (51% CD; 46% F e 42,5% CD; 29% F, respectivamente), indicando um possível efeito sinérgico negativo entre os compostos presentes, resultando em fitotoxicidade.

Curiosamente, no ASC, a emergência aumentou significativamente sob fumigação (62,7%) Isso pode estar relacionado ao fato de que compostos voláteis de plantas possuem propriedades que podem variar em eficácia dependendo das condições ambientais, como temperatura e circulação de ar, que influenciam sua dispersão e concentração. Isman (2000) destaca o potencial desses voláteis para atuar como agentes bioativos, mas ressalta que a eficácia depende da estabilidade química e da capacidade de dispersão dos compostos

no ambiente aplicado. Portanto, em ambientes menos controlados, a volatilização mais eficiente pode permitir que os compostos atinjam as sementes de maneira que estimulem processos fisiológicos benéficos, como a quebra de dormência, resultando em maior emergência.

A combinação *Curcuma longa* + *Schinus terebinthifolius* (T6) apresentou respostas contrastantes conforme ambiente e método. Em CF, a fumigação elevou a emergência para 72%, superior aos 38% via contato direto. No ASC, a germinação também foi melhor na fumigação (66% vs. 52% CD). Esses dados indicam que os compostos voláteis da mistura atuam mais eficientemente em diversas condições, modulando processos fisiológicos ligados à germinação e emergência. Essa variabilidade evidencia a complexidade das interações entre metabólitos secundários, cuja eficácia depende da estabilidade química e da resposta adaptativa da semente (García-Ramírez et al., 2023; Pavela et al., 2018).

A condutividade elétrica (CE), um parâmetro sensível para detectar danos nas membranas celulares, variou entre 21,8 e 28,8 S·m nos diferentes tratamentos, sem apresentar um padrão universal entre os métodos de aplicação. No tratamento T5 sob ambiente sem controle (ASC), a fumigação reduziu significativamente a CE (21,8 S·m) em comparação ao contato direto (28 S·m), sugerindo um possível efeito protetor dos compostos voláteis sobre a integridade celular nesse ambiente instável, possivelmente devido à modulação do estresse oxidativo e manutenção da permeabilidade seletiva das membranas (Vieira & Krzyzanowski, 1999; Marcos-Filho, 2015). Em contraste, no mesmo tratamento em câmara fria (CF), observou-se aumento da CE na fumigação (24,68 S·m) em relação ao contato direto (23,36 S·m), o que pode indicar que, sob menor volatilização dos compostos em ambiente controlado, houve acúmulo local de substâncias bioativas em concentrações elevadas, resultando em desestabilização das membranas e maior extravasamento de eletrólitos (Cozzolino et al., 2020).

Na Tabela 11, observa-se que o comprimento da parte aérea em CF no controle (T1) foi similar entre métodos (9,9 cm CD e 9,93 cm F), confirmando que ambiente controlado favorece o desenvolvimento inicial, independentemente do tratamento. No ASC, maior alongamento foi registrado em CD (11,37 cm) versus

F (9,52 cm), possivelmente por estímulo ao crescimento celular em resposta a estresse moderado típico de ambientes variáveis. A maior massa seca radicular em CF no CD (1,724 g vs. 1,385 g F) reforça que a estabilidade do ambiente favorece a alocação eficiente de biomassa, conforme destacado por Marcos-Filho (2015).

**Tabela 11** - Comprimento de Plântulas e Massa de Matéria seca de plântulas provenientes de sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 4 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	Comprimento de Plântulas (cm)				Massa de Matéria seca (m/v)			
	P. Aérea		Raíz		P. Aérea		Raíz	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>								
<b>T1</b>	9,9abA	9,93aA	17,38aA	17,4aA	3.262aA	2.889aA	1.724aA	1.385aA
<b>T2</b>	9,82abB	12,36aA	17,15aA	19,51aA	2.049bcA	2.579aA	1.086abA	1.477aA
<b>T3</b>	11,13aA	11,48aA	18,97aA	17,5aA	2.333abB	3.070aA	1.714aA	1.646aA
<b>T4</b>	10,89aA	10,58aA	20,5aA	19,63aA	3.001abA	2.527aA	1.299abA	1.332aA
<b>T5</b>	8,25bB	11,15aA	15,72aA	15,5aA	0.853dB	3.131aA	0.645bB	1.750aA
<b>T6</b>	7,87bB	11,95aA	15,95aA	19,15aA	1.290cdB	2.803aA	0.843bB	1.723aA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>								
<b>T1</b>	11,37aA	9,52bcB	13,3aA	11,67aA	3.176abA	2.101aA	1.451abcA	1.179aA
<b>T2</b>	9,01aB	11,87abA	14,55aA	15,3aA	3.777aA	2.606aA	2.457aA	1.132aB
<b>T3</b>	9,61aA	10,15abA	14,69aA	13,59aA	4.135aA	2.231aB	2.081abA	1.126aB
<b>T4</b>	9,13aB	12,3aA	13,28aA	16,51aA	4.328aA	2.743aB	2.031abA	1.361aA
<b>T5</b>	8,67aA	6,89cA	13,5abA	11,67aA	1.153bB	2.665aA	0.433cB	1.409aA
<b>T6</b>	10,60aA	9,97abA	6,56bB	11,36aA	2.351abA	2.795aA	1.137bcA	1.545aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

No grupo controle (T1), que não recebeu nenhum tratamento com óleo vegetal, o crescimento da parte aérea foi semelhante entre os métodos de

aplicação em câmara fria (CD: 9,9 cm; F: 9,93 cm), indicando que, na ausência de compostos bioativos, o ambiente controlado promove um crescimento equilibrado e estável. No ambiente sem controle (ASC), o comprimento da parte aérea foi maior sob contato direto (11,37 cm) do que sob fumigação (9,52 cm), o que pode estar relacionado à menor volatilização de compostos ou à maior disponibilidade de água e nutrientes diretamente absorvidos pela semente. Em relação à massa de matéria seca da raiz, observou-se maior acúmulo em CD (1,724 g) do que em F (1,385 g) no ambiente CF, sugerindo que, mesmo sem tratamentos ativos, a estabilidade térmica e hídrica da câmara fria favorece a alocação de biomassa para estruturas subterrâneas. Segundo Marcos-Filho (2015), ambientes controlados reduzem a variabilidade de estresses abióticos e promovem maior eficiência nos processos fisiológicos, como absorção de água e assimilação de nutrientes, resultando em crescimento mais uniforme e consistente.

No tratamento com óleo de *Curcuma longa* (T2), em câmara fria (CF), a fumigação resultou em maior comprimento da parte aérea (12,36 cm) e maior acúmulo de massa seca (2,579 g). Em ambiente sem controle (ASC), o contato direto promoveu maior alongação (11,37 cm) em relação à fumigação (9,52 cm), provavelmente pela ação localizada e prolongada de compostos menos voláteis, que permanecem em contato direto com o tegumento, favorecendo a expansão celular e a resistência a variações ambientais (Rathore et al., 2009)

Para *Dysphania ambrosioides* (T3), em CF a fumigação resultou em maior massa aérea (3,070 g vs. 2,333 g CD) e massa radicular similar (1,646 g vs. 1,714 g CD), sugerindo atividade bioestimulante dos voláteis em ambiente estável. No ASC, o contato direto favoreceu maior massa radicular (2,457 g).

Em *Schinus terebinthifolius* (T4), em câmara fria (CF), o contato direto promoveu maior biomassa aérea (3,001 g vs. 2,527 g na fumigação), enquanto no ambiente sem controle (ASC), a fumigação elevou significativamente o comprimento da parte aérea (12,3 cm vs. 9,13 cm no contato direto).

Na combinação T5 (óleo de *Curcuma longa* + *Dysphania ambrosioides*), em CF, a fumigação resultou em maior comprimento (11,15 cm vs. 8,25 cm no contato direto) e maior massa radicular (1,750 g vs. 0,645 g), sugerindo um sinergismo entre os compostos voláteis que estimula o desenvolvimento

radicular e pode potencializar a atividade inseticida (Carvalho et al., 2013; Dias et al., 2021).

No tratamento com óleo de *Curcuma longa* (T2), observou-se que, em ambiente sem controle (ASC), o contato direto resultou em maior alongação da parte aérea (11,37 cm) e acúmulo de massa seca (4,328 g), em comparação à fumigação (9,52 cm e 2,743 g, respectivamente). Esses resultados indicam que compostos menos voláteis presentes no óleo, como fenóis e curcuminoides, podem ter permanecido em contato com as sementes por mais tempo, favorecendo a absorção e estimulando mecanismos fisiológicos relacionados ao crescimento. Entre esses mecanismos, destaca-se o aumento da atividade de enzimas antioxidantes e o ajuste osmótico, que conferem maior tolerância ao estresse hídrico e térmico característico de ambientes não controlados (Bewley et al., 2013; Campolo et al., 2018). Assim, a interação entre o tipo de composto e a forma de aplicação influencia diretamente a resposta morfofisiológica das plântulas, reforçando a importância do ambiente na modulação dos efeitos dos bioativos (Marcos-Filho, 2015).

Na combinação T6, em CF a fumigação favoreceu o crescimento da parte aérea (11,95 cm vs. 7,87 cm CD) e maior massa aérea (2,803 g vs. 1,290 g CD). No ASC, o contato direto aumentou a massa radicular (1,545 g vs. 1,137 g F).

**Tabela 12** – Ocorrência dos fungos *Fusarium sp. sp.*, *Aspergillus sp. sp.* e *Penicillium sp.* em sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 4 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	<i>Fusarium sp.</i>		<i>Aspergillus sp.</i>		<i>Penicillium sp.</i>	
	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>						
<b>T1</b>	19.5aA	26.5aA	2aA	5.5aA	59aA	65.5aA
<b>T2</b>	6.5bB	26aA	1aB	10.5aA	22cB	71.5aA
<b>T3</b>	19aB	26.5aA	0aB	4.5aA	50aB	69aA
<b>T4</b>	18.5aA	25aA	2aA	5aA	44.5abB	70aA
<b>T5</b>	9abB	30aA	1.5aB	7.5aA	28cB	74.7aA
<b>T6</b>	10.5abB	23.5aA	0aB	6.25aA	31.5bcB	70.2aA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>						
<b>T1</b>	10.5aB	28aA	0aA	0aA	11aB	36.5cdA
<b>T2</b>	14aB	29.5aA	0aA	0aA	4aB	41bdA
<b>T3</b>	11aB	29aA	0aA	0aA	10aB	43.5bcA
<b>T4</b>	9aB	27aA	1aA	0aB	12aB	53.5abA
<b>T5</b>	10aB	23aA	1aA	0aB	1.5aB	27dA
<b>T6</b>	5.5aB	22aA	0aA	0aA	2aB	62aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Na Tabela 12, observa-se que o controle (T1) apresentou maior colonização de *Fusarium sp.*, *Aspergillus sp.* e *Penicillium sp.* na fumigação (26,5%, 5,5% e 65,5%, respectivamente) do que no contato direto, o que reforça que, na ausência de compostos antifúngicos, os ambientes estáveis da câmara fria favorecem a proliferação de patógenos. Em ambiente sem controle (ASC), *Penicillium sp.* também se manteve elevado na fumigação (36,5%) em comparação ao CD (11%).

O extrato de *Curcuma longa* (T2) demonstrou excelente desempenho no contato direto em CF, reduzindo a colonização de *Fusarium sp.* para 6,5% e de

*Penicillium sp.* para 22%, enquanto na fumigação os valores foram bem mais altos (26% e 71,5%, respectivamente). Isso indica que os curcuminoides, compostos fenólicos não voláteis, têm maior eficácia quando aplicados diretamente, conforme já apontado por Prakash et al. (2012).

Para *Dysphania ambrosioides* (T3), em CF, o CD foi levemente mais eficaz que a fumigação na redução de *Penicillium sp.* (50% vs. 69%). No entanto, em ASC, a diferença foi mais acentuada: 10% (CD) versus 43,5% (F), sugerindo que a aplicação direta favorece a retenção dos compostos bioativos em condições instáveis.

No tratamento com *Schinus terebinthifolius* (T4), a fumigação em CF resultou em 70% de colonização por *Penicillium sp.*, contra 44,5% no CD, confirmando que a fumigação foi menos eficaz. Em ASC, os valores foram 53,5% (F) e apenas 12% (CD), reforçando que o contato direto proporcionou maior supressão fúngica neste ambiente. A baixa incidência de *Aspergillus sp.* na maioria dos tratamentos pode estar relacionada à sensibilidade deste gênero aos compostos oxidativos presentes nos óleos vegetais, conforme relatado por Klich (2007) e Frisvad & Samson (2004).

Na combinação *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6), os resultados seguiram padrão semelhante: *Penicillium sp.* atingiu 70,2% na fumigação em CF, contra 31,5% no contato direto. Em ASC, *Fusarium sp.* foi melhor controlado no CD (5,5% vs. 22% na fumigação), indicando sinergismo potencial entre compostos não voláteis, como curcuminoides e taninos, sob condições instáveis, como proposto por Cozzolino et al. (2020).

Os dados indicam que, para todos os óleos testados, a fumigação em câmara fria não foi eficaz contra *Penicillium sp.*, ao contrário do contato direto, que consistentemente apresentou menor colonização. Essa tendência reforça que os óleos com compostos de baixa volatilidade ou suscetíveis à degradação em fase gasosa são mais eficientes quando aplicados diretamente à semente.

### **3.4.3. - Resultados - Tempo 2**

A Tabela 13 mostra que, no grupo controle (T1), a germinação em câmara fria (CF) foi elevada para ambos os métodos de aplicação, contato direto (CD) e

fumigação (F), com índices próximos (87% CD; 84,5% F). Esses valores indicam a boa qualidade fisiológica das sementes utilizadas, conforme já esperado para sementes recém-processadas e com alta viabilidade inicial (Brasil, 2009). A emergência de plântulas e o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) também foram consistentes entre os métodos (48,6% e 31,45 para CD; 53% e 34,52 para F), demonstrando que, na ausência de compostos bioativos, o ambiente controlado contribuiu de forma significativa para o desempenho inicial das sementes. Esses achados reforçam o papel da câmara fria na preservação da estabilidade metabólica das sementes, favorecendo a síntese de enzimas e a integridade estrutural dos tecidos germinativos (Marcos-Filho, 2015; Bailly, 2004).

A condutividade elétrica foi menor nas sementes submetidas à fumigação (23,18 S.m) em comparação ao contato direto (28,67 S.m), sugerindo menor extravasamento de eletrólitos e, portanto, melhor preservação das membranas celulares. Esse resultado indica que, mesmo na ausência de compostos ativos, a menor exposição direta aos insumos pode reduzir o estresse osmótico e físico sobre os tecidos sensíveis das sementes (Vieira & Krzyzanowski, 1999; Finch-Savage, 2013).

Em ambiente sem controle (ASC), a fumigação promoveu um aumento expressivo na germinação (87% vs. 71% no CD) e no IVE (26,38 vs. 15,12), evidenciando que, sob condições ambientais instáveis, a forma de aplicação influencia diretamente a resposta fisiológica das sementes. A volatilização controlada de compostos naturais presentes no ambiente, mesmo sem tratamento, pode favorecer a quebra de dormência e induzir mecanismos de defesa que aumentam a tolerância ao estresse, como o acúmulo de enzimas antioxidantes e a manutenção da atividade mitocondrial (Cozzolino et al., 2020; Du Jardin et al., 2015). Além disso, a menor interferência mecânica da fumigação contribui para a integridade dos tecidos em ambientes sujeitos a variações térmicas e hídricas, o que é essencial para garantir emergência uniforme (García-Ramírez et al., 2023; Bailly, 2004).

**Tabela 13** - Germinação, Emergência de Plântulas, Índice de Velocidade de Emergência e Condutividade Elétrica de sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 8 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	G (%)		E. Plântulas (%)		IVE		C. Elétrica (S.m)	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>								
T1	87aA	84.5aA	48.6aA	53abA	31.45aA	34.52aA	28.67aA	23.18aB
T2	63aB	81.5aA	26.5abA	28bA	12.14bcA	17.3bA	33.78aA	27.17aB
T3	73aA	82.5aA	36aA	29.5bA	14.10bcA	15.04bA	33.8aA	26.42aB
T4	78.5aA	75.5aA	45.5aA	40.5bA	18.5abA	19.61bA	28.5aA	24.73aA
T5	38bB	79.2aA	5bA	2cA	1.95cA	0.957cA	31.53aA	26.46aA
T6	37bB	82.5aA	23.5abB	70.5aA	11.3bcB	39.41aA	35.9aA	26.7aB
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>								
T1	71a	87 <sup>a</sup>	27.5abB	52aA	15.12abB	26.38aA	21.31aA	17.62bA
T2	45b	80 <sup>a</sup>	19.5abB	45.5aA	10.77abB	19.68aA	23.56aA	21.85abA
T3	72.5a	71.5ab	35.5aA	48.5aA	17.8aB	25.42aA	22.9aB	27.33aA
T4	63.5ab	87 <sup>a</sup>	31aA	49.5aA	15.28abB	22.94aA	22.9aA	23.62abA
T5	16c	56.6b	11.5abB	57.5aA	6.64bB	22.06aA	23.67 <sup>a</sup>	22.32ab
T6	46.5bB	78aA	19cA	15bA	8.51abA	4.37bA	25.4aA	18.35bB

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

No tratamento com *Curcuma longa* (T2), a fumigação em câmara fria (CF) promoveu aumento na germinação das sementes (81,5% vs. 63% no contato direto – CD), e, em ambiente sem controle (ASC), esse incremento foi ainda mais expressivo (80% vs. 45% no CD), evidenciando que a aplicação por fumigação potencializa a liberação e ação de compostos voláteis, como os curcuminoides, capazes de estimular rotas metabólicas envolvidas na germinação, como a síntese de giberelinas e a ativação de enzimas hidrolíticas (Aggarwal et al., 2010; Prakash et al., 2012; Almeida et al., 2021). Apesar desse desempenho inicial favorável, a emergência de plântulas em CF permaneceu baixa (28% F vs.

26,5% CD), e a alta condutividade elétrica observada sugere que houve danos à integridade das membranas celulares — provavelmente em razão da fitotoxicidade induzida por uma concentração elevada de compostos ativos no ambiente fechado (Al-Hasani et al., 2020; Klich, 2007).

Isso indica que a germinação estimulada por fumigação nem sempre resulta em plântulas vigorosas, principalmente quando há acúmulo de voláteis que ultrapassa o limiar de tolerância fisiológica das sementes. Em contraste, no ASC, a fumigação favoreceu não apenas a germinação, mas também a emergência (45,5% vs. 19,5% CD), sugerindo que a liberação gradual dos compostos em ambientes mais ventilados e com maior oscilação térmica pode reduzir os efeitos fitotóxicos e favorecer adaptações metabólicas, como o aumento na atividade de enzimas antioxidantes e a estabilidade osmótica das células (Ibáñez & Blázquez, 2019; Du Jardin et al., 2015; Cozzolino et al., 2020). Dessa forma, a resposta diferenciada observada entre os ambientes reforça que a eficácia dos bioativos de *C. longa* está fortemente condicionada às condições de aplicação e ao grau de volatilidade dos seus princípios ativos.

Para *Dysphania ambrosioides* (T3), a fumigação em CF elevou a germinação (82,5% vs. 73% no CD), mas resultou em menor emergência de plântulas (29,5% F vs. 36% CD). Esse comportamento sugere um efeito bifásico típico de certos compostos bioativos, em que concentrações específicas promovem a quebra da dormência, enquanto níveis mais altos ou exposições prolongadas podem causar estresse oxidativo ou interferir em processos metabólicos essenciais, como síntese proteica e expansão celular (Isman, 2020; Bewley et al., 2013). Em ASC, a fumigação aumentou significativamente o índice de velocidade de emergência (IVE) (25,42 vs. 17,8 CD), sugerindo que a exposição aos compostos voláteis pode ativar mecanismos fisiológicos adaptativos, como regulação osmótica e modulação antioxidante, que conferem maior resiliência das sementes frente a condições adversas (Cozzolino et al., 2020; Campolo et al., 2018).

No caso de *Schinus terebinthifolius* (T4), ambos os métodos mantiveram alta germinação em CF (78,5% CD; 75,5% F), mas a fumigação resultou em menor condutividade elétrica (24,73 S.m vs. 28,5 S.m CD), sugerindo maior integridade das membranas celulares sob exposição aos compostos voláteis.

Em ASC, a fumigação elevou significativamente a germinação (87% vs. 63,5% CD) e o IVE (22,94 vs. 15,28 CD), possivelmente devido ao efeito bioestimulante dos voláteis, que podem ativar vias metabólicas relacionadas à quebra da dormência e ao desenvolvimento inicial, especialmente em condições ambientais mais desafiadoras (Campolo et al., 2018; García-Ramírez et al., 2023).

As combinações de óleos apresentaram respostas contrastantes dependendo do ambiente e do método de aplicação. No tratamento T5 (*Curcuma longa* + *Dysphania ambrosioides*), a fumigação em câmara fria (CF) aumentou significativamente a germinação (79,2% vs. 38% CD), resultado que pode ser atribuído à ação sinérgica entre curcuminoides e ascaridol — compostos conhecidos por modularem rotas metabólicas envolvidas na quebra de dormência e ativação enzimática (Prakash et al., 2012; Pavela et al., 2018). No entanto, a emergência de plântulas permaneceu extremamente baixa nesse ambiente (2% F vs. 5% CD), indicando que a combinação de compostos pode gerar antagonismos ou interferências na alongação celular e diferenciação de tecidos, efeitos que são comuns em misturas de óleos voláteis com diferentes polaridades e mecanismos de ação (García-Ramírez et al., 2023; Nascimento et al., 2007). Já em ambiente sem controle (ASC), a fumigação favoreceu a emergência de plântulas (57,5% vs. 11,5% CD), sugerindo que sob estresses ambientais como flutuações térmicas e hídricas, a liberação gradual e controlada de compostos voláteis por fumigação pode atenuar danos oxidativos e estabilizar processos fisiológicos, como demonstrado por Du Jardin et al. (2015) e Cozzolino et al. (2020).

O tratamento T6 (combinação de *Curcuma longa* e *Schinus terebinthifolius*) demonstrou forte resposta sinérgica em CF, com emergência de plântulas de 70,5% na fumigação, muito superior ao CD (23,5%), além de um IVE elevado (39,41 vs. 11,3 CD).

A condutividade elétrica (CE) foi consistentemente menor na fumigação — por exemplo, em T1-CF/F (23,18 S.m) em comparação ao CD (28,67 S.m) — exceto para T3 em ASC, onde foi maior na fumigação (27,33 S.m vs. 22,9 S.m CD), sugerindo que a exposição aos compostos voláteis pode, em alguns casos, provocar maior dano celular dependendo da espécie e do ambiente.

Na Tabela 14, observa-se que, no grupo controle (T1), o contato direto em CF resultou em maior comprimento radicular (16,8 cm vs. 14,71 cm na fumigação), enquanto esta última proporcionou maior massa seca da parte aérea (2,797 g vs. 2,122 g CD). Esses dados sugerem que ambientes estáveis favorecem o crescimento radicular, possivelmente por reduzirem o estresse fisiológico, enquanto em ASC, os valores foram relativamente estáveis, com leve vantagem da fumigação na massa radicular (1,321 g vs. 1,079 g CD). Isso pode estar relacionado à ação dos compostos voláteis na modulação de respostas adaptativas, como discutido por Marcos-Filho (2015) em estudos sobre vigor e balanço energético em sementes.

**Tabela 14** - Comprimento de Plântulas e Massa de Matéria seca de plântulas provenientes sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 8 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	Comprimento de Plântulas (cm)				Massa de Matéria seca (m/v)			
	P. Aérea		Raíz		P. Aérea		Raíz	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>								
<b>T1</b>	10.85aA	10.64aA	16.8aA	14.71aA	2.122abA	2.797aA	1.719aA	1.322aA
<b>T2</b>	10.66aA	10.09aA	13.16abA	16.58aA	2.225abA	2.458aA	1.210aA	1.521aA
<b>T3</b>	7.82aA	10.41aA	10.59abA	14.47aA	2.899aA	2.639aA	1.625aA	1.464aA
<b>T4</b>	8.96aA	10.24aA	14.92abA	12.4aA	2.291abA	2.629aA	1.832aA	1.449aA
<b>T5</b>	8.61aA	9.62aA	14.66abA	15.42aA	1.529bA	1.667aA	0.995aA	0.910aA
<b>T6</b>	9.79aA	6.11aB	7.26bB	16.75aA	1.336bA	1.818aA	1.126aA	0.833aA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>								
<b>T1</b>	9.77aA	9.56aA	14.26aA	14.71aA	1.679a	2.046a	1.079abA	1.321aA
<b>T2</b>	7.44aA	6.74aA	14aA	13.28aA	1.633ab	2.497a	1.087abA	1.444aA
<b>T3</b>	7.85aA	10.11aA	14.77aA	15.32aA	2.407a	2.402a	1.486aA	1.336aA
<b>T4</b>	7.47aA	10.3aA	13.93aA	13.61aA	1,558ab	2.273a	0.892bcA	1.244aA
<b>T5</b>	8.25aA	7.7aA	11.85aA	12.64aA	0.911b	2.253a	0.321cA	1.409aA
<b>T6</b>	6.42aA	7.97aA	8.65aA	7.94aA	1.375ab	2.898a	0.778bcB	1.688aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6) letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Para *Curcuma longa* (T2), a fumigação em CF destacou-se pelo aumento no comprimento radicular (16,58 cm vs. 13,16 cm CD) e na massa da parte aérea (2,458 vs. 2,225 CD), sugerindo que compostos voláteis como os curcuminoides possam atuar promovendo o alongamento celular e a síntese de biomassa ao modularem rotas fisiológicas reguladas por hormônios vegetais, especialmente as auxinas, que são conhecidas por controlar a expansão celular, a divisão e a diferenciação tecidual em raízes e parte aérea (Taiz et al., 2017). Em ASC, a fumigação também elevou a massa da parte aérea (2,046 vs. 1,679 CD).

O tratamento com *Dysphania ambrosioides* (T3) revelou respostas bifásicas: em CF, a fumigação aumentou o comprimento da parte aérea (10,41 cm vs. 7,82 cm CD), enquanto o CD favoreceu a massa radicular (1,625 vs. 1,464 F), indicando que voláteis podem priorizar o crescimento estrutural, enquanto compostos de contato estimulam a acumulação de biomassa. Em ASC, a fumigação elevou a massa da parte aérea (2,497 vs. 1,633 CD).

Para *Schinus terebinthifolius* (T4), a fumigação em CF promoveu maior comprimento da parte aérea (10,24 cm vs. 8,96 cm CD), associado à atividade de terpenoides voláteis que estimulam a alongação celular via modulação de fitohormônios como auxinas, conforme observado na composição bioativa desta espécie (Bendaoud et al., 2010; Carvalho et al., 2013). Já o CD resultou em maior massa radicular (1,832 vs. 1,449 F), sugerindo que compostos não voláteis, como taninos e flavonoides, favorecem a alocação de carbono para as raízes, mecanismo documentado em estudos sobre a regulação metabólica por fenóis (de Oeiras Ramos et al., 2022). Em ASC, a fumigação aumentou o comprimento da parte aérea (10,3 cm vs. 7,47 cm CD) e a massa radicular (1,336 vs. 0,892 CD), padrão que reflete a capacidade de antioxidantes naturais, como polifenóis e terpenos, em mitigar danos oxidativos e manter a homeostase celular sob estresse, conforme demonstrado em formulações bioativas para resiliência vegetal (Singh et al., 2005; Cozzolino et al., 2020).

Nas combinações de óleos, observou-se comportamento variável. Para T5 (*C. longa* + *D. ambrosioides*), a fumigação em CF aumentou o comprimento radicular (15,42 cm vs. 14,66 cm CD), mas reduziu a massa radicular (0,910 vs. 0,995 CD), indicando possível antagonismo químico entre voláteis que comprometem a síntese de biomassa. Em ASC, contudo, a fumigação elevou drasticamente a massa da parte aérea (2,253 vs. 0,911 CD) e radicular (1,409 vs. 0,321 CD), sugerindo que interações entre compostos mitigam estresses ambientais, como observado em formulações sinérgicas para tolerância a seca.

A combinação *Curcuma longa* + *Schinus terebinthifolius* (T6) destacou-se em câmara fria (CF) pela promoção do crescimento radicular via fumigação (16,75 cm vs. 7,26 cm CD), embora com menor massa radicular (0,833 g vs. 1,126 g CD), indicando priorização do alongamento celular em detrimento da acumulação de biomassa. Em ambiente sem controle (ASC), a fumigação elevou a massa da parte aérea (2,898 g vs. 1,375 g CD) e radicular (1,688 g vs. 0,778 g CD), sugerindo que os compostos voláteis dessa combinação atuam como bioestimulantes sob condições adversas, possivelmente por sinergismo entre antioxidantes e reguladores de crescimento, como curcuminoides e monoterpenos (Prakash et al., 2012; Bendaoud et al., 2010; Cozzolino et al., 2020).

A Tabela 15 demonstra que, no grupo controle (T1), a fumigação em câmara fria (CF) aumentou a colonização de *Fusarium* sp. (36,5% vs. 16% no contato direto – CD), enquanto *Penicillium* sp. apresentou comportamento oposto, com maior incidência no CD (23,5%) do que na fumigação (10,5%). Essa exceção pode estar relacionada à capacidade competitiva de *Penicillium* sp. em colonizar rapidamente superfícies ricas em nutrientes, especialmente quando há ausência de compostos inibitórios. Sua fisiologia favorece a exploração eficiente de substratos como a epiderme da semente, sobretudo em contato direto, quando os compostos antifúngicos não estão presentes ou são aplicados de forma menos eficaz (Frisvad & Samson, 2004). Além disso, em ambientes com circulação restrita de ar, como ocorre na fumigação em CF, pode haver menor dispersão dos propágulos e menor disponibilidade de oxigênio, fatores que afetam o desempenho inicial desse gênero. A heterogeneidade de respostas entre os fungos reforça a necessidade de interpretações individualizadas,

considerando que a adaptação fisiológica, a sensibilidade aos compostos bioativos e os mecanismos de colonização variam entre gêneros (Nascimento et al., 2007; Alshali et al., 2018).

**Tabela 15** – Ocorrência dos fungos *Fusarium* sp. sp, *Aspergillus* sp. sp e *Penicillium* sp em sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 8 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	<i>Fusarium</i> sp.		<i>Aspergillus</i> sp.		<i>Penicillium</i> sp.	
	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>						
<b>T1</b>	16aB	36.5abA	0.5aA	2.5aA	23.5aA	10.5bA
<b>T2</b>	4.5aB	26.5abA	1.5aA	4.5aA	0bB	44aA
<b>T3</b>	5.5aB	38abA	1aA	2aA	4.5abB	42aA
<b>T4</b>	4.5aB	23bA	1.5aA	2aA	2bB	20bA
<b>T5</b>	9.5aB	31abA	1.5aA	2aA	2bB	25abA
<b>T6</b>	3aB	43aA	2aA	2aA	1bA	6bA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>						
<b>T1</b>	9aA	6aA	1.5aA	2aA	2aB	9.5cA
<b>T2</b>	3aA	7.5aA	3aA	0bB	2aA	4.5cA
<b>T3</b>	8aA	5.5aA	2aA	1.5abA	3aA	4.5cA
<b>T4</b>	3aB	12aA	1aA	1abA	1.5aB	11.5bcA
<b>T5</b>	1aB	13aA	2.5aA	4aA	1.5aB	20bA
<b>T6</b>	5aB	15aA	1aA	3abA	1.5aB	36aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Em ambiente sem controle (ASC), a colonização por *Fusarium* sp. manteve-se baixa nos dois métodos (9% no CD e 6% na fumigação), o que pode ser atribuído a flutuações térmicas e hídricas que inibem o crescimento micelial e prejudicam a germinação de esporos. Esses estresses abióticos promovem desestabilização metabólica, impactando negativamente o estabelecimento

fúngico (García-Ramírez et al., 2023). Tal padrão corrobora a ideia de que ambientes instáveis limitam a dominância de patógenos especializados, favorecendo a resiliência ecológica e o controle natural de organismos oportunistas (Lin, 2011).

Para *Curcuma longa* (T2), o contato direto foi mais eficaz na CF, reduzindo *Fusarium sp.* para 4,5% e *Penicillium sp.* para 0%, enquanto a fumigação elevou esses valores para 26,5% e 44%, respectivamente. Esses dados reforçam a eficácia dos curcuminoides, compostos não voláteis conhecidos por inibir a germinação de esporos e desestabilizar membranas fúngicas (Frisvad & Samson, 2004).

No tratamento com *Dysphania ambrosioides* (T3), a fumigação em CF aumentou a colonização de *Fusarium sp.* para 38% (vs. 5,5% no CD) e de *Penicillium sp.* para 42% (vs. 4,5% no CD), sugerindo que os compostos presentes nos óleos não foram eficazes na forma volátil sob condições estáveis.

Para *Schinus terebinthifolius* (T4), também houve aumento da colonização de *Penicillium sp.* na fumigação (20% vs. 2% no CD em CF; e 11,5% vs. 1,5% no CD em ASC). As formulações combinadas revelaram interações químicas complexas. Em T5 (combinação de *C. longa* + *D. ambrosioides*), a fumigação em CF aumentou a colonização de *Fusarium sp.* (31% vs. 9,5% no CD) e de *Penicillium sp.* (25% vs. 2% no CD). Em ASC, a fumigação também elevou a colonização por *Penicillium sp.* (20% vs. 1,5% no CD). A formulação T6 (*C. longa* + *S. terebinthifolius*) apresentou o maior valor de *Fusarium sp.* na fumigação em CF (43% vs. 3% no CD) e também aumentou a colonização de *Penicillium sp.* (6% vs. 1% no CD)

O gênero *Aspergillus sp.* apresentou baixa colonização em todos os tratamentos ( $\leq 4,5\%$ ), indicando que os óleos utilizados foram eficazes na sua inibição. Essa eficácia pode estar associada à presença de compostos fenólicos e oxidativos que superam mecanismos de defesa, como a glutathione-S-transferase, presentes em fungos desse gênero (Klich, 2007).

Por outro lado, *Penicillium sp.* foi o fungo mais prevalente, atingindo até 44% de colonização em T2-F/CF, o que reforça sua capacidade adaptativa frente a compostos voláteis, como terpenoides e fenóis, característica comum em fungos saprofitos com alta plasticidade metabólica (Frisvad & Samson, 2004).

### 3.4.4. - Resultados - Tempo 3

Na Tabela 16, o grupo controle (T1) apresentou maiores valores de germinação (87%), emergência de plântulas (61,5%) e índice de velocidade de emergência (IVE: 39,35) sob fumigação em câmara fria, em comparação ao contato direto (79% de germinação, 22,5% de emergência e IVE de 15,42). Em ambiente sem controle, a fumigação também resultou em maiores médias de germinação (66% vs. 45% no contato direto) e IVE (20 vs. 8,86). Esses dados sugerem que, nas condições avaliadas, a exposição aos compostos voláteis pode estar associada a melhor desempenho fisiológico das sementes, tanto em ambiente controlado quanto sob estresse, possivelmente em função de efeitos bioquímicos sobre a tolerância ao estresse, conforme discutido por Cozzolino et al. (2020).

**Tabela 16** - Germinação, Emergência de Plântulas, Índice de Velocidade de Emergência e Condutividade Elétrica de sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 12 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	G (%)		E. Plântulas (%)		IVE		C. Elétrica (S.m)	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>								
T1	79aB	87aA	22.5bcB	61.5abA	15.42bcB	39.35acA	29.53bB	33.67aA
T2	45bB	76bcA	16.5cB	50.5abA	11.78bcB	30.32bcA	35.62aB	27.94abA
T3	76aA	82.5abcA	51aA	62.5abA	36.36aA	47.06aA	27.53bA	26.93bA
T4	77aA	73cA	38.5abA	50.5abA	24.87abA	29.91bcA	27.38bA	28.04abA
T5	30.5cB	76bcA	38abB	68aA	24.68abB	41.68abA	36.28aA	27.6bB
T6	38bcB	83abA	9cB	46bA	6.36cB	23.45cA	30.44abA	26.43bA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>								
T1	45abB	66abA	14aB	39.5abA	8.86aB	20cA	35.22aA	30.87aA
T2	24.5cB	77aA	3abB	38bA	1.5bB	17.04aA	35aA	28.34aB
T3	55.5aB	67abA	11abB	38bA	6.18abB	16.93aA	39.47aA	27.72aB
T4	41.5bB	60.5bA	11.5abB	40.5abA	5.77abB	16.01aA	36.93aA	36.06aA
T5	7d	68ab	1bB	34bA	0.5bB	17.3aA	39.11aA	28.05aB
T6	17.5cdB	69abA	2.5bB	50aA	1.25bB	21.12aA	34.18aA	29.17aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Para *Curcuma longa* (T2), a fumigação apresentou resultados superiores em todas as condições avaliadas. Em CF, aumentou a germinação para 76% (vs. 45% CD) e a emergência para 50,5% (vs. 16,5% CD). Em ASC, elevou a germinação para 77% (vs. 24,5% CD). Isso indica que compostos, especialmente curcuminoides, aplicados na forma de vapores reduzem impactos ambientais negativos e promovem equilíbrio metabólico, conforme Almeida et al. (2021), que destacam a modulação enzimática desses compostos sob estresse. A elevação da condutividade elétrica observada no método de contato direto (35,62 S.m em CF e 35 S.m em ASC) sugere danos estruturais às membranas celulares, provavelmente causados pela alta concentração de compostos bioativos na superfície das sementes. Esse acúmulo pode gerar estresse osmótico e oxidativo, comprometendo a integridade celular logo nas primeiras fases da embebição (Khursheed et al., 2022).

Entre os tratamentos isolados, *Dysphania ambrosioides* (T3) destacou-se em CF, apresentando maior emergência de plântulas e Índice de Velocidade de Emergência (IVE) via fumigação (62,5% e 47,06, respectivamente) em comparação ao contato direto (51% e 36,36). Isso sugere que a liberação gradual dos compostos voláteis, em ambiente controlado, favorece a atividade metabólica inicial sem provocar toxicidade.

Para *Schinus terebinthifolius* (T4), ambos os métodos mantiveram alta germinação em câmara fria (77% no contato direto e 73% na fumigação), com maior emergência no contato direto (50,5% versus 38,5%) e condutividade elétrica semelhante. Em ambiente sem controle, a fumigação elevou a germinação para 60,5%, contra 41,5% no contato direto. Essa maior eficácia da fumigação em condições adversas pode ser explicada pela ação dos compostos voláteis que, conforme Cozzolino et al. (2020), atuam como reguladores fisiológicos, promovendo a ativação de mecanismos antioxidantes e protegendo as membranas celulares contra estresses térmicos e hídricos. Em câmara fria, onde o ambiente é favorável, ambos os métodos preservam a viabilidade das

sementes, mas o contato direto estimula melhor a emergência, possivelmente por favorecer o rompimento físico tegumentar. Portanto, a fumigação destaca-se em situações de estresse ao melhorar a germinação via proteção bioquímica, enquanto o contato direto é mais eficiente para a emergência em condições controladas.

Nas combinações, o tratamento T5 (*C. longa* + *D. ambrosioides*) apresentou, em CF, aumentos significativos na germinação (76% vs. 30,5% CD) e emergência (68% vs. 38% CD) via fumigação, o que evidencia o potencial da volatilização controlada para modular a liberação dos compostos ativos, reduzindo sua toxicidade e maximizando os efeitos positivos sobre o desenvolvimento inicial. No entanto, a alta condutividade elétrica observada no CD (36,28 S.m) sugere que interações químicas desfavoráveis entre os compostos, quando aplicados diretamente, podem comprometer a integridade das membranas celulares e inibir a atividade metabólica (Khursheed et al., 2022).

Em ASC, a fumigação também promoveu ganhos expressivos na germinação (68% vs. 7% CD), indicando que os compostos voláteis exerceram efeito protetor frente às variações ambientais, favorecendo mecanismos de defesa fisiológica, como ativação de enzimas antioxidantes e ajuste osmótico (Du Jardin et al., 2015; Cozzolino et al., 2020). Segundo Ibáñez e Blázquez (2019), esses compostos também podem induzir a expressão de genes associados à resistência a estresses abióticos, o que reforça os resultados obtidos.

O tratamento T6 (*C. longa* + *S. terebinthifolius*) apresentou, em CF, aumento da germinação (83% F vs. 38% CD) e do IVE (23,45 F vs. 6,36 CD). Em ASC, a emergência subiu para 50% na fumigação, contra apenas 2,5% no contato direto. A menor condutividade elétrica na fumigação (26,43 S.m em CF e 29,17 S.m em ASC) reforça a preservação das membranas celulares, provavelmente promovida pela ação combinada de curcuminoides e monoterpenos presentes nos extratos, que atuam como antioxidantes e estabilizadores de membranas, prevenindo danos causados por espécies reativas de oxigênio (Prakash et al., 2012; Bendaoud et al., 2010; Carvalho et al., 2013).

De modo geral, a condutividade elétrica foi menor nos tratamentos por fumigação, exceto no controle em CF, onde a fumigação apresentou valor ligeiramente superior (33,67 S.m vs. 29,53 S.m no CD). Em ASC, os valores foram mais elevados, especialmente no contato direto (ex.: 39,47 S.m em T3-CD), o que sugere que a aplicação direta, em condições ambientais instáveis, intensifica os danos por fitotoxicidade, superando a capacidade das sementes de realizar ajustes osmóticos compensatórios (Cozzolino et al., 2020).

Conforme apresentado na Tabela 17, o grupo controle (T1) revelou maior comprimento da parte aérea na fumigação em CF (9,65 cm vs. 8,2 cm no CD), enquanto o contato direto proporcionou maior massa seca radicular (2,183 g vs. 1,955 g F), com um desenvolvimento mais equilibrado das plântulas na ausência de compostos ativos, quando as condições ambientais são favoráveis. Em ASC, a fumigação promoveu maior crescimento radicular (10,2 cm vs. 8,7 cm no CD), reforçando o padrão observado de melhor desempenho fisiológico com menor exposição direta a fatores estressantes (Marcos-Filho, 2015; Cozzolino et al., 2020).

**Tabela 17** - Comprimento de Plântulas e Massa de Matéria seca de plântulas provenientes de sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 12 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	Comprimento de Plântulas (cm)				Massa de Matéria seca (m/v)			
	P. Aérea		Raíz		P. Aérea		Raíz	
	CD	F	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>								
<b>T1</b>	8.2aA	9.65bA	14.95aA	15.15bcA	2.866abA	3.276abA	2.183aA	1.955aA
<b>T2</b>	10.2abA	10.5abA	14.35aB	17abA	1.593cdB	3.164abcA	1.157bB	1.496bcA
<b>T3</b>	9.7abcA	9.9bA	14.45aA	14.25bcA	2.944aA	2.689bcdA	1.915aA	1.688abA
<b>T4</b>	11.6aA	10.2abB	16.35aA	15.22bcA	2.171bcA	2.157dA	1.989aA	1.986aA
<b>T5</b>	8.35bcB	11.9aA	14.80aB	19.25aA	0.476eB	2.514cdA	0.268cB	1.954aA
<b>T6</b>	8.2cB	11.2abA	15.15aA	13.6cA	1.426dB	3.566aA	0.978bB	1.200cA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>								
<b>T1</b>	5.20A	7.26A	8.7aA	10.2abA	1.783bA	1.791aA	0.967ab	0.967bA
<b>T2</b>	7.25A	8.94A	8.8aA	12.96abA	0.795cdB	2.407aA	0.257cB	1.235abA
<b>T3</b>	5.81A	6.54A	7.41aB	13.52aA	3.109aA	1.852aB	1.372aA	1.377abA
<b>T4</b>	5.89A	6.57A	9.03aA	9.7abA	1.554bcB	2.337aA	0.927bA	1.159bA
<b>T5</b>	6.72A	8.56A	11.15aA	7.09bA	0.351dB	2.229aA	0.272cB	1.584aA
<b>T6</b>	5.9A	6.19A	13aA	8.35abB	0.428dB	1.977aA	0.190cA	1.184abA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6) letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

Para *Curcuma longa* (T2), a fumigação em câmara fria (CF) resultou em maior acúmulo de biomassa aérea (3,164 g vs. 1,593 g no contato direto – CD) e radicular (1,496 g vs. 1,157 g CD). Em ambiente sem controle (ASC), também se observou incremento expressivo no crescimento radicular (12,96 cm vs. 8,8 cm CD) e na massa da parte aérea (2,407 g vs. 0,795 g CD), confirmando que a aplicação indireta é mais eficiente sob condições adversas. A ação controlada dos compostos voláteis favorece o metabolismo energético inicial, além de

reduzir o estresse oxidativo, possibilitando maior alocação de recursos para o desenvolvimento estrutural das plântulas (Cozzolino et al., 2020; Ibáñez & Blázquez, 2019).

No tratamento com *Dysphania ambrosioides* (T3), em CF, o CD favoreceu ligeiramente a massa da parte aérea (2,944 g vs. 2,689 g F), enquanto o comprimento radicular foi superior na fumigação (14,25 cm F vs. 14,45 cm CD), evidenciando que os efeitos dos compostos bioativos podem variar conforme o órgão vegetal. Em ASC, a fumigação resultou em maior massa radicular (1,235 g vs. 0,257 g CD), mostrando que os terpenoides voláteis presentes, como o ascaridol, possivelmente ativam rotas associadas à absorção de água e alongamento celular, mesmo sob estresse hídrico ou térmico (Pavela et al., 2018).

No tratamento com *Schinus terebinthifolius* (T4), observou-se em CF uma leve vantagem do CD na massa aérea (2,171 g vs. 2,157 g F), mas sem diferença estatística relevante. A massa radicular manteve-se praticamente idêntica entre os métodos (1,986 g F vs. 1,989 g CD), sugerindo uma resposta fisiológica estável sob temperatura e umidade controladas (Cozzolino et al., 2020). Em ASC, a fumigação destacou-se no comprimento radicular (13,52 cm vs. 7,41 cm CD), sugerindo que compostos voláteis como monoterpenos favorecem a alongação celular e a arquitetura das raízes sob condições ambientais instáveis (Carvalho et al., 2013).

Nas formulações combinadas, o tratamento T5 (*Curcuma longa* + *Dysphania ambrosioides*) apresentou, em câmara fria, maior desenvolvimento radicular sob fumigação, com médias mais elevadas de comprimento (19,25 cm) e massa de raiz (1,954 g) em relação ao contato direto (14,8 cm e 0,268 g, respectivamente). A maior expressão dessas variáveis pode estar relacionada à ação integrada dos compostos voláteis — principalmente curcuminoides e ascaridol — sobre rotas fisiológicas envolvidas no crescimento radicular. Estudos indicam que essas substâncias bioativas são capazes de desencadear respostas antioxidantes, favorecer o acúmulo de reservas metabólicas e modular o potencial osmótico celular, o que influencia positivamente na expansão das células da raiz e na absorção de água e nutrientes. De acordo com Prakash et al. (2012) e Pavela et al. (2018), tais compostos também atuam sobre sinais

químicos que regulam o desenvolvimento pós-germinativo, sugerindo uma atuação coordenada no estímulo ao sistema radicular sob condições ambientais estáveis.

Em ASC, a fumigação também resultou em aumento da massa aérea (2,229 g vs. 0,351 g CD) e radicular (1,584 g vs. 0,272 g CD), apontando que a volatilização gradual desses compostos contribui para manter a integridade das membranas celulares e facilitar o ajuste osmótico em resposta ao estresse ambiental (Cozzolino et al., 2020; Du Jardin et al., 2015).

A combinação T6 (*C. longa* + *Schinus terebinthifolius*) apresentou, em CF, maior massa seca da parte aérea sob fumigação (3,566 g vs. 1,426 g CD), e em ASC, a fumigação também se mostrou mais eficaz para o crescimento radicular (1,184 g vs. 0,190 g CD). Isso pode ser atribuído ao potencial antioxidante e bioestimulante dos monoterpenos e fenóis presentes no óleo de *S. terebinthifolius*, como limoneno e cariofileno, em combinação com os compostos fenólicos da cúrcuma (Carvalho et al., 2013; Uliana et al., 2016).

De maneira geral, a fumigação em câmara fria (CF) resultou nos maiores incrementos de massa seca, especialmente da raiz, como observado no tratamento T5 (1,954 g via F vs. 0,268 g via CD). Em contraste, no ambiente sem controle (ASC), o contato direto mostrou-se visivelmente menos eficaz, a exemplo do tratamento T6, cuja massa radicular foi de apenas 0,190 g no CD, enquanto alcançou 1,184 g na fumigação. Esses resultados sugerem que tanto a estabilidade térmica do ambiente quanto o método de aplicação influenciam diretamente a eficiência dos compostos bioativos aplicados.

Contudo, em situações como no tratamento T4 (*S. terebinthifolius* isolado) em ASC, a similaridade entre os métodos na massa radicular (1,159 g F vs. 0,927 g CD) evidencia que compostos menos voláteis, como taninos e flavonoides, mantêm sua atividade antioxidante mesmo sob condições ambientais adversas, garantindo estabilidade fisiológica e proteção contra danos oxidativos (Carvalho et al., 2013; de Oeiras Ramos et al., 2022).

A Tabela 18 apresenta os dados do teste de sanidade para os fungos *Fusarium sp.*, *Aspergillus sp.* e *Penicillium sp.* Onde os resultados demonstram que a resposta fúngica variou de forma significativa de acordo com a espécie, o

método de aplicação e o ambiente, destacando a complexidade das interações entre compostos bioativos e condições de estocagem.

**Tabela 18** – Ocorrência dos fungos *Fusarium sp. sp.*, *Aspergillus sp. sp.* e *Penicillium sp.*, em porcentagem, em sementes de milho tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas por 12 meses em câmara fria e ambiente sem controle.

TRAT	<i>Fusarium sp.</i>		<i>Aspergillus sp.</i>		<i>Penicillium sp.</i>	
	CD	F	CD	F	CD	F
<b>CÂMARA FRIA</b>						
T1	3.5aA	4.5aA	0aA	0aA	1.5aA	5aA
T2	0.5aA	1.5aA	0aA	0aA	0.5aA	4.5aA
T3	2.5aA	8aA	0aB	0.5aA	1aA	1aA
T4	0.5aA	4.5aA	0aA	0aA	2aA	4aA
T5	0.5aB	8aA	0aA	0aA	1aA	4aA
T6	3.5aA	9aA	0aA	0aA	1aA	7aA
<b>AMBIENTE SEM CONTROLE</b>						
T1	2aA	7.5aA	0aA	1abA	0aB	4.5aA
T2	1aA	10aA	0aA	1abA	0.5aA	1aA
T3	5aA	10aA	0aA	1abA	2.5aA	3.5aA
T4	7aA	9aA	0aA	0.5bA	2aA	1aA
T5	3.5aB	24aA	0aA	0bA	0aA	2aA
T6	8.5aA	13aA	0.5aB	3aA	1.5aB	7aA

Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6). Letras minúsculas comparam tratamentos dentro do mesmo método (Teste de Tukey,  $p < 0,05$ ); letras maiúsculas comparam métodos dentro do mesmo tratamento.

No grupo controle (T1), a colonização por *Fusarium sp.* permaneceu baixa em câmara fria (CF), com valores similares entre os métodos (3,5% no contato direto – CD, e 4,5% na fumigação – F), o que pode ser atribuído à menor competição microbiana e à estabilidade térmica desse ambiente. Já em ambiente sem controle (ASC), observou-se aumento significativo na fumigação

(7,5% vs. 2% no CD), sugerindo que variações ambientais favorecem a germinação de esporos e a ativação de mecanismos metabólicos adaptativos por parte de fungos oportunistas (García-Ramírez et al., 2023). Quanto a *Penicillium sp.*, a fumigação em CF elevou a colonização para 5% (vs. 1,5% no CD), revelando maior tolerância deste fungo à dispersão gasosa dos compostos e sua capacidade de metabolizar terpenoides e outros voláteis (Frisvad & Samson, 2004).

O tratamento com *Curcuma longa* (T2) demonstrou alta eficácia via contato direto em CF, com apenas 0,5% de incidência de *Fusarium sp.*, valor que subiu para 1,5% na fumigação. Em ASC, a eficácia foi ainda mais impactada: a fumigação resultou em 10% de colonização (vs. 1% no CD). Esse padrão aponta para perda de atividade antifúngica dos curcuminoides em ambientes instáveis, especialmente na forma volátil. *Penicillium sp.* também mostrou maior incidência com fumigação em CF (4,5% vs. 0,5%), reforçando sua resiliência frente a compostos aromáticos.

Com *Dysphania ambrosioides* (T3), observou-se maior eficácia do CD em CF contra *Fusarium sp.* (2,5% vs. 8% na fumigação). Em ASC, a fumigação manteve a colonização elevada (10%), enquanto o CD apresentou 5%. Esses resultados sugerem que os compostos presentes no óleo podem ter sido rapidamente dispersos ou degradados no ambiente aberto. Embora os valores de *Penicillium sp.* tenham sido relativamente baixos, o padrão de maior incidência na fumigação (3,5% em ASC) permanece consistente.

No caso de *Schinus terebinthifolius* (T4), a aplicação por contato direto foi mais eficaz em CF contra *Fusarium sp.* (0,5% no CD vs. 4,5% na fumigação). Em ASC, a diferença foi menos expressiva (7% CD vs. 9% F), mas ainda indica superioridade da aplicação direta. *Penicillium sp.* manteve tendência semelhante: maior colonização na fumigação, tanto em CF (4% vs. 2%) quanto em ASC (1% em ambos, porém com leve incremento na F). A leve ação observada pode estar ligada a fenóis presentes no óleo, que, embora ativos, são suscetíveis à degradação térmica.

As formulações combinadas revelaram respostas menos previsíveis. Em T5 (*C. longa* + *D. ambrosioides*), a fumigação em CF elevou a colonização de *Fusarium sp.* para 8%, contra apenas 0,5% no CD. Em ASC, o valor subiu ainda

mais (24%), sugerindo possível antagonismo entre os compostos ou instabilidade química em ambientes abertos. Esse tratamento também manteve baixa incidência de *Penicillium sp.*, ainda que sempre maior na fumigação.

T6 (*C. longa* + *S. terebinthifolius*) também apresentou aumento na colonização de *Fusarium sp.* com a fumigação, tanto em CF (9% vs. 3,5% no CD) quanto em ASC (13% vs. 8,5%). Esses dados indicam que, mesmo na presença de potenciais sinergismos bioquímicos, a forma de aplicação influencia mais do que a composição da mistura. Para *Penicillium sp.*, observou-se o maior valor em CF via fumigação (7%), reforçando a elevada plasticidade metabólica desse fungo frente a compostos voláteis.

O gênero *Aspergillus sp.* foi pouco frequente em todos os tratamentos, com colonização máxima de 3% em ASC (T6-F). A baixa incidência sugere sensibilidade aos compostos testados, possivelmente por ação direta sobre enzimas antioxidantes ou barreiras de membrana (Klich, 2007). Por outro lado, *Penicillium sp.* manteve-se como o fungo mais adaptável, destacando-se em tratamentos com fumigação, especialmente sob condições controladas, o que reforça seu potencial saprofítico e tolerância a metabolitos voláteis de origem vegetal (Nascimento et al., 2007).

### **3.5 – Análise conjunta considerando as épocas de avaliação e considerações finais**

A eficácia da fumigação observada neste estudo está diretamente relacionada à natureza volátil dos óleos essenciais utilizados. Em ambientes controlados, como a câmara fria (CF), as condições estáveis favorecem a retenção e a liberação gradual dos compostos voláteis, resultando em uma exposição homogênea das sementes às substâncias bioativas. Esse perfil propicia a absorção controlada de metabólitos que modulam processos fisiológicos, como o alongamento celular, o metabolismo antioxidante e a síntese de reguladores de crescimento, com menor risco de fitotoxicidade por acúmulo localizado (Almeida et al., 2021). Além disso, a aplicação indireta por fumigação preserva a integridade das membranas celulares e a estabilidade enzimática, o que contribui para maior acúmulo de biomassa e melhor desempenho fisiológico das plântulas (Khursheed et al., 2022). Dessa forma, evidencia-se que a escolha

do método de aplicação deve ser adaptada às condições ambientais e às características químicas dos óleos, reforçando seu potencial como alternativa sustentável aos tratamentos convencionais de sementes.

As avaliações realizadas no Tempo 0 indicaram que o método de aplicação, seja contato direto (CD) ou fumigação (F), não interferiu na germinação do grupo controle (T1), cuja viabilidade permaneceu alta (87%), evidenciando a qualidade inicial das sementes. Entre os tratamentos, o óleo de *Schinus terebinthifolius* (T4) demonstrou baixa fitotoxicidade, destacando-se como uma opção segura para uso agrícola (Al-Hasani et al., 2020). Por outro lado, o óleo de *Curcuma longa* (T2) apresentou efeito bioestimulante sobre o alongamento da parte aérea via CD, mas causou redução significativa no crescimento quando aplicado por fumigação, possivelmente devido ao acúmulo excessivo de compostos voláteis em ambiente fechado, como já observado para curcuminoides (Al-Hasani et al., 2020). Quanto à sanidade, o *Penicillium* sp. mostrou-se mais sensível ao método de aplicação, enquanto *Aspergillus* sp. apresentou comportamento mais resistente, possivelmente devido a mecanismos intrínsecos de tolerância a compostos bioativos (Frisvad & Samson, 2004).

No Tempo 1, após quatro meses de armazenamento, as diferenças entre os ambientes tornaram-se mais evidentes. Em CF, a germinação, a emergência e o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) foram superiores em comparação ao ambiente sem controle (ASC), destacando o papel protetor da estabilidade térmica e hídrica sobre os processos metabólicos e a redução do estresse oxidativo (Marcos-Filho, 2015). A fumigação, especialmente em CF, potencializou esses efeitos ao preservar a atividade dos compostos voláteis. Em contrapartida, no ASC, o contato direto mostrou melhor desempenho em alguns tratamentos, indicando que compostos não voláteis conferem maior resistência às variações ambientais (García-Ramírez et al., 2023). O óleo de *Curcuma longa* demonstrou certa fitotoxicidade por CD em CF, mas teve seu efeito atenuado na fumigação, evidenciando que a volatilização pode modular a concentração dos compostos ativos. As formulações combinadas (T5 e T6) apresentaram respostas mais complexas, com efeitos variáveis conforme ambiente e método,

reforçando a necessidade de estratégias personalizadas compatíveis com o tipo de armazenamento (Khursheed et al., 2022; García-Ramírez et al., 2023).

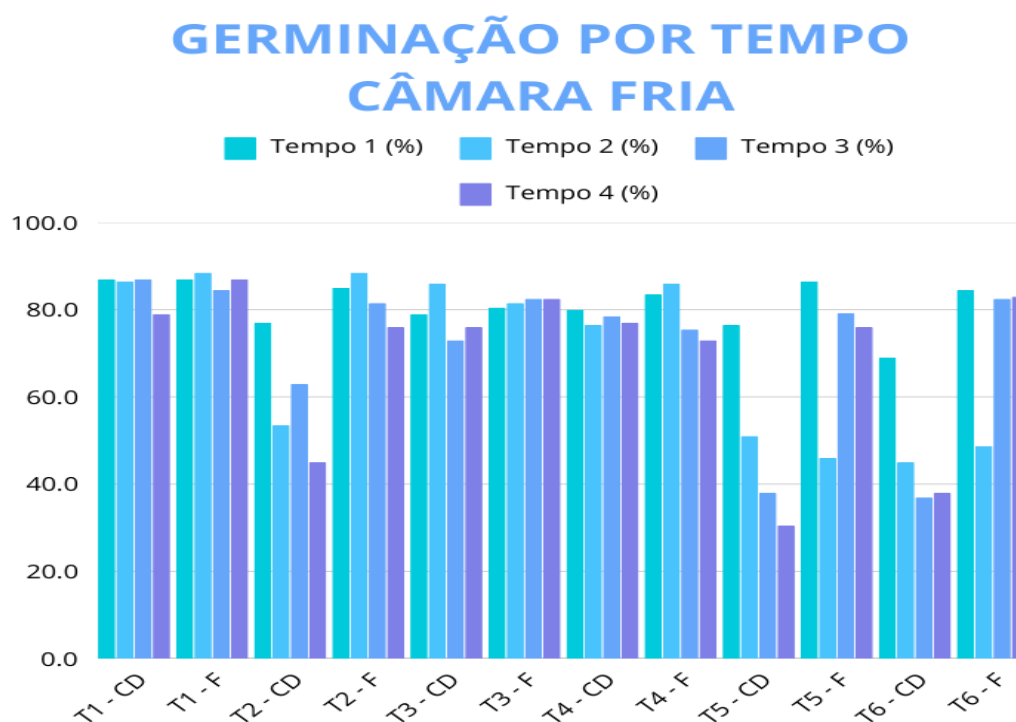
No Tempo 2, observou-se que a fumigação manteve sua função protetora em CF, reduzindo o extravasamento de eletrólitos e promovendo a integridade celular. Já em ASC, a dispersão dos compostos ativos favoreceu a germinação e o desenvolvimento inicial, especialmente nas formulações combinadas (T5 e T6) (Cozzolino et al., 2020). Entretanto, a presença de compostos não voláteis, como os curcuminoides, pode provocar fitotoxicidade quando acumulados em concentrações elevadas, principalmente no sistema radicular. Por outro lado, a associação de compostos voláteis e fixos parece promover efeitos complementares, estimulando ajustes fisiológicos e conferindo maior resistência ao estresse abiótico, sobretudo em ASC (Singh et al., 2005). A análise fúngica demonstrou que ambientes controlados podem favorecer a sobrevivência de fungos oportunistas, enquanto a variabilidade do ASC impõe limitações ao seu crescimento, exigindo ajustes nas estratégias de controle fúngico conforme o ambiente (Campolo et al., 2018; García-Ramírez et al., 2023).

No Tempo 3, os tratamentos mantiveram padrões consistentes com as observações anteriores. A fumigação destacou-se pela manutenção da germinação, da emergência e do vigor, especialmente em formulações contendo *Curcuma longa* e suas combinações. Essa eficácia está relacionada à volatilização dos compostos bioativos, que reduz danos oxidativos e fitotoxicidade ao modular a atividade enzimática e hormonal ao longo do tempo (Ibáñez & Blázquez, 2019; Singh et al., 2005). A condutividade elétrica foi sistematicamente menor na fumigação, indicando maior preservação da integridade celular frente aos estresses químicos provocados pelo contato direto, sobretudo em ambientes instáveis (Khursheed et al., 2022). As formulações T5 e T6 demonstraram interação sinérgica entre compostos voláteis e fixos, favorecendo o crescimento radicular e aéreo, particularmente em CF, sugerindo um ajuste metabólico eficaz e maior resistência ao envelhecimento fisiológico (Costa et al., 2019).

O gráfico 1 complementa essas observações ao mostrar que, no início do armazenamento, o controle mantém alta viabilidade (87%), enquanto tratamentos com *Curcuma longa* (T2) apresentam germinação semelhante e

ligeiro benefício na fumigação. Contudo, ao longo do tempo, especialmente no Tempo 4, a germinação declina acentuadamente em tratamentos como T5 via contato direto, mas apresenta recuperação significativa via fumigação, indicando que os compostos voláteis auxiliam na atenuação da deterioração e na manutenção da estabilidade metabólica das sementes. O tratamento T6 reforça a superioridade da fumigação para preservar a viabilidade em períodos intermediários, com germinação acima de 80% no Tempo 3, frente a valores inferiores no contato direto. Essa tendência geral sugere que a câmara fria, embora eficaz para armazenamento de curto prazo, não impede completamente a perda de vigor em períodos prolongados, mas a fumigação pode mitigar esses efeitos negativos por meio da ação combinada e sinérgica dos compostos bioativos. Dessa forma, equilibrar formulações, métodos de aplicação e períodos de armazenamento é crucial para garantir a sustentabilidade e eficiência dos tratamentos com óleos vegetais em sementes.

**Gráfico 1:** Distribuição temporal da germinação de sementes de milho, em porcentagem, tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas em câmara fria



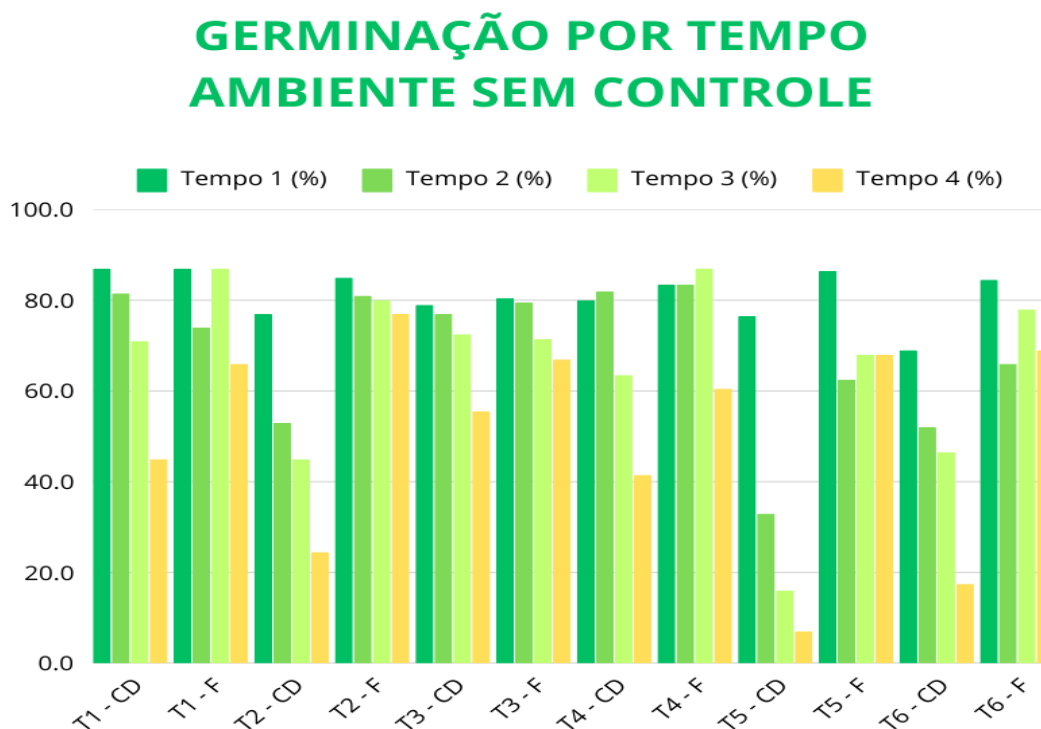
Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6)

O Gráfico 2 apresenta a dinâmica da germinação de sementes de milho em ambiente sem controle (ASC), evidenciando taxas decrescentes ao longo dos quatro períodos avaliados (Tempo 1 a Tempo 4). No Tempo 1, a germinação é máxima, atingindo 100% de viabilidade, indicando que as sementes estão em seu pico inicial de vigor. Entretanto, a partir do Tempo 2, observa-se uma redução progressiva nas taxas de germinação, evidenciando a sensibilidade das sementes às variações ambientais típicas do ASC, como flutuações de temperatura e umidade, que comprometem a integridade celular e a atividade metabólica necessárias para a germinação.

Os dados das tabelas complementares confirmam esses padrões: no Tempo 1, o controle (T1) manteve germinação de 71% (Tabela 13), enquanto o tratamento com *Curcuma longa* (T2) apresentou quedas expressivas, com 45% na aplicação por contato direto (CD) e 80% na fumigação (F). Esse contraste evidencia que a fumigação, ao liberar compostos voláteis de forma gradual, pode compensar os estresses ambientais, preservando a viabilidade das sementes mesmo em condições adversas. No Tempo 4, a combinação *Curcuma longa* + *Dysphania ambrosioides* (T5) apresentou germinação crítica de apenas 7% via contato direto, enquanto a fumigação permitiu recuperação significativa para 68%. Essa diferença sugere que os compostos voláteis liberados durante a fumigação exercem ação protetora contra danos oxidativos e outros efeitos deletérios decorrentes das condições ambientais instáveis, reforçando sua função como agentes mitigadores do estresse pós-colheita

Esses resultados ressaltam a importância de ajustes técnicos, como a dosagem correta e a seleção criteriosa dos compostos voláteis, para potencializar a eficácia da fumigação em ambientes sem controle. É fundamental considerar que a eficácia dessa técnica depende da combinação química dos óleos aplicados e do tempo de armazenamento das sementes. Estudos futuros devem focar na interação entre diferentes compostos voláteis e as condições ambientais, visando desenvolver estratégias de aplicação cada vez mais eficazes.

**Gráfico 2:** Distribuição temporal da germinação de sementes de milho, em porcentagem, tratadas com óleos vegetais de *Schinus terebinthifolius*, *Dysphania ambrosioides* e *Curcuma longa*, em contato direto (CD) e fumigação (F) armazenadas em ambiente sem controle.



Controle (T1), *Curcuma longa* (T2), *Dysphania ambrosioides* (T3) e *Schinus terebinthifolius* (T4), *C. longa* + *D. ambrosioides* (T5) e *C. longa* + *S. terebinthifolius* (T6)

O teste de germinação evidenciou diferenças claras entre os métodos de aplicação e ambientes de armazenamento, demonstrando a importância da escolha adequada para a maximização da viabilidade das sementes tratadas. A fumigação destacou-se em condições controladas, sobretudo na câmara fria, onde a volatilização dos compostos bioativos favoreceu a preservação da integridade celular e a ação antimicrobiana eficaz (Isman, 2000).

Já o contato direto mostrou maior resiliência em ambientes adversos, promovendo proteção prolongada e mitigando efeitos do estresse oxidativo, especialmente quando aplicados óleos com propriedades bioestimulantes como os de *Curcuma longa* (Singh et al., 2010; Rady et al., 2020). Essa variação também foi observada no teste de emergência de plântulas, no qual a

uniformidade e velocidade da emergência foram influenciadas pela interação entre os óleos, métodos e ambientes. Combinações específicas, como *Curcuma longa* com *Schinus terebinthifolius*, apresentaram sinergismo que potencializou a emergência em ambientes controlados, enquanto o desempenho individual de *Dysphania ambrosioides* foi notório em condições não controladas.

O índice de velocidade de emergência refletiu o papel dos compostos voláteis presentes nos óleos, com a fumigação acelerando a germinação em câmaras frias, enquanto o contato direto proporcionou estabilidade em ambientes sem controle, evidenciando o balanço entre rapidez e consistência na germinação. Medidas do crescimento das plântulas, incluindo comprimento e massa de matéria seca, reforçaram essa tendência, indicando que certos óleos aplicados por fumigação estimularam o alongamento celular, enquanto o contato direto favoreceu um desenvolvimento equilibrado, mesmo sob condições ambientais desfavoráveis. A análise da condutividade elétrica revelou que a fumigação melhor preservou a integridade fisiológica das sementes em ambientes controlados, reduzindo danos às membranas celulares, ao passo que o contato direto mostrou-se eficiente na proteção contra o estresse oxidativo em ambientes não controlados.

Quanto à sanidade, o contato direto foi particularmente eficaz na redução da incidência de *Aspergillus* sp. em condições adversas, enquanto a fumigação apresentou resultados mais variáveis, sugerindo limitações de compostos voláteis em espaços com pouca circulação de ar. A eficácia dos tratamentos mostrou-se dependente da interação entre método e ambiente, com a fumigação sendo ideal para armazenamento em câmaras frias, e o contato direto melhor adaptado a ambientes sem controle climático, conferindo proteção mais prolongada e estabilidade fisiológica. Ao longo dos 12 meses de armazenamento, observou-se que a fumigação manteve a viabilidade e o vigor das sementes em ambientes controlados, ao passo que o contato direto destacou-se pela resiliência em ambientes adversos, especialmente para *Dysphania ambrosioides*. Tratamentos combinados mostraram potencial, mas a eficiência diminuiu com o prolongamento do tempo e condições ambientais desfavoráveis, reforçando a necessidade de estratégias adaptativas conforme a duração e o tipo de armazenamento.

Além da função antimicrobiana, os óleos vegetais revelaram efeitos bioestimulantes, principalmente o óleo de *Curcuma longa*, que promoveu o alongamento da parte aérea via contato direto e a preservação da integridade celular via fumigação. Esses efeitos são atribuídos à presença de compostos como curcuminoides e terpenos, capazes de modular rotas metabólicas essenciais para a germinação e crescimento inicial (Singh et al., 2010; Rady et al., 2020), reforçando o papel multifuncional desses óleos no tratamento de sementes. A combinação de compostos voláteis e fixos em formulações complexas parece favorecer ajustes metabólicos que aumentam a tolerância ao estresse abiótico, sobretudo em ambientes sem controle climático, assim, os óleos essenciais se apresentam como insumos promissores para a agricultura sustentável, conciliando ação antimicrobiana, antioxidante e estímulo fisiológico, alinhando-se às demandas por sistemas produtivos mais resilientes e com menor dependência de insumos químicos sintéticos (Oliveira et al., 2022; Bakkali et al., 2008).

### 3.6 – Conclusões

Este estudo demonstrou o potencial dos óleos vegetais de *Curcuma longa*, *Dysphania ambrosioides* e *Schinus terebinthifolius* como alternativas eficazes para o tratamento de sementes de milho, cujos resultados variaram conforme o método de aplicação e as condições de armazenamento. A aplicação por fumigação destacou-se em ambientes controlados, como câmara fria, ao manter a germinação e o vigor das sementes pela ação dos compostos voláteis. Já para o contato direto mostrou maior eficiência em ambientes sem controle climático, proporcionando proteção prolongada contra patógenos e estabilidade fisiológica, resultado da persistência dos compostos bioativos na superfície das sementes.

Ao longo do período de 12 meses, observou-se que a eficácia dos tratamentos apresentou variações, com a aplicação por contato direto evidenciando maior resistência em condições adversas, especialmente nas sementes tratadas com *D. ambrosioides*. A combinação dos óleos de *C. longa* e *S. terebinthifolius* revelou sinergismo em ambientes controlados, enquanto o desempenho individual dos óleos dependia da interação entre método de

aplicação e ambiente. A resistência observada em fungos como *Fusarium sp.* e a adaptação de *Penicillium sp.* reforçam a necessidade de estratégias complementares para controle fitossanitário.

Os diferentes testes realizados, abrangendo germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, crescimento das plântulas, massa seca, condutividade elétrica e sanidade, possibilitaram uma avaliação completa do comportamento das sementes, evidenciando a sensibilidade dos efeitos fisiológicos e antifúngicos às variáveis estudadas. Assim, a otimização do uso de óleos vegetais no tratamento de sementes exige uma escolha criteriosa do método de aplicação, a seleção de combinações que evitem antagonismos e a adaptação dos protocolos às condições específicas de armazenamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, B. B., SUNDARAM, C., PRASAD, S., & REUTER, S. (2010). Curcumin: The Indian solid gold. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, 595, 1-75.

ALSHALI, A. A., ALARAIKH, I. A., RASHAD, Y. M., RAZIK, E. S. A., Extract from *Curcuma longa* L. triggers the sunflower immune system and induces defence-related genes against *Fusarium sp.* root rot. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 57, n. 1, p. 26-36, 2018.

AL-HASANI, S. A., AL-KHATEEB, M.A., AL-MOUSAWI, M. A., AL-AZAWI, S. H. Chemical composition and biological activities of fixed oil from *Dysphania ambrosioides* seeds. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 97, n. 8, p. 2211-2220, 2020.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. **Climatic Change**, v. 140, p. 33–45, 2017.

ALTIERI, M. A., TOLEDO, V. M., The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. **Journal of peasant studies**, v. 38, n. 3, p. 587-612, 2011.

BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed science research**, v. 14, n. 2, p. 93-107, 2004.

BAYIH, T., TAMIRU, A., EGIGU, M. C. Bioefficacy of unitary and binary botanical combinations against Mexican bean weevil, *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera: Chrysomelidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 38, n. 3, p. 205-215, 2018.

BENDAOUD, H., ROMDHANE, M., SOUCHARD, J., CAZAUX, S., BOUAJILA, J. Chemical composition and anticancer and antioxidant activities of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolius* Raddi berries essential oils. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, p. C466-C472, 2010.

BENEDETI, P. D. B., PAULINO, P. V. R., MARCONDES, M. I., MACIEL, I. F. S., SILVA, M. C., FACIOLA, A. P., Partial replacement of ground corn with glycerol in beef cattle diets: intake, digestibility, performance, and carcass characteristics. **PLoS One**, v. 11, n. 1, e0148224, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009a.

BUSATO, N. V., SILVEIRA, J. C., COSTA, A. O. S. D., & COSTA, E. F. D. Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1574-1582, 2014.

CAMPOLO, O., GIUNTI, G., RUSSO, A., PALMERI, V., ZAPPALÀ, L. Essential oils in stored product insect pest control. **Journal of Food Quality**, v. 2018, p. 1-18, 2018.

CARVALHO, M. G., MELO, A. G. N., ARAGÃO, C. F. S., RAFFIN, F. N., & MOURA, T. F. A. L. Schinus terebinthifolius Raddi: chemical composition, biological properties and toxicity. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, p. 158-169, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2020). **Grãos, safra 2019/2020**. <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>

COSTA, Caroline Jácome. **Armazenamento e conservação de sementes de espécies do Cerrado**. 2009.

COSTA, A. P., MOURA, G. S., GEBAUER, J. T., & FRANZENER, G. Aquosous extract and essential oil of ginger induce biochemical defense mechanisms in bean. **Journal of Neotropical Agriculture**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 79–86, 2019.

COZZOLINO, E., GIORDANO, M., FIORENTINO, N., EL-NAKHEL, C., PANNICO, A., DI MOLA, I., & ROUPHAEL, Y. Appraisal of biodegradable mulching films and vegetal-derived biostimulant application as eco-sustainable practices for enhancing lettuce crop performance and nutritive value. **Agronomy**, [s.l.], v. 10, n. 3, 2020.

DE OEIRAS RAMOS, H., FERREIRA, G. G., DO NASCIMENTO BRANDÃO, D. L., & DOLABELA, M. F. Schinus terebinthifolius Raddi: uma revisão bibliográfica associada a um estudo in silico. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e421111234262-e421111234262, 2022.

DIAS, F. H. C., NUNES, M. S., DA SILVA, E. C., DE FRANÇA SILVA, E. G., DA SILVA, H. F., & DO NASCIMENTO, L. C. Efeito dos óleos essenciais na

qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho crioulo. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 9, 2021.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015.

FAO. **The state of food and agriculture 2014: innovation in family farming**. UN, 2014.

FINCH-SAVAGE, B. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy-JD Bewley, KJ Bradford, HWM Hilhorst H. Nonogaki. 392 pp. Springer, New York, Heidelberg, Dordrecht, London 2013 978-1-4614-4692-7. **Seed Science Research**, v. 23, n. 4, p. 289-289, 2013.

FRISVAD, J. C., SAMSON, R. A. Polyphasic taxonomy of *Penicillium* subgenus *Penicillium*. A guide to identification of food and air-borne terverticillate *Penicillia* and their mycotoxins. **Studies in mycology**, v. 49, n. 1, p. 1-174, 2004.

GARCÍA-RAMÍREZ, E., CONTRERAS-OLIVA, A., SALINAS-RUIZ, J., HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, G., SPINOSO-CASTILLO, J. L., & COLMENARES CUEVAS, S. I. Plant Extracts Control In Vitro Growth of Disease-Causing Fungi in Chayote. **Plants**, v. 12, n. 9, p. 1800, 2023.

GONZÁLEZ-MOLINA, E., GIRONÉS-VILAPLANA, A., MENA, P., MORENO, D. A., & GARCÍA-VIGUERA, C. New beverages of lemon juice with elderberry and grape concentrates as a source of bioactive compounds. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 6, p. C727-C733, 2012.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: the ecology of sustainable food systems**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

IBÁÑEZ, M. D., BLÁZQUEZ, M. A. Ginger and turmeric essential oils for weed control and food crop protection. **Plants**, v. 8, n. 3, p. 59, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides: a global perspective. In: GROSS, A. D.; COATS, J. R.; DUKE, S. O.; SEIBER, J. N. (Eds.). **Biopesticides: state of the art and future opportunities**. Washington, DC: American Chemical Society, 2014. p. 21–30.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?. **Annual Review of Entomology**, v. 65, n. 1, p. 233-249, 2020.

KLICH, M. A. *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin. **Molecular plant pathology**, v. 8, n. 6, p. 713-722, 2007.

KHURSHEED, A., RATHER, M. A., JAIN, V., WANI, A. R., RASOOL, S., NAZIR, R., & MAJID, S. A. Plant based natural products as potential ecofriendly and safer biopesticides: A comprehensive overview of their advantages over conventional pesticides, limitations and regulatory aspects. **Microbial Pathogenesis**, p. 105854, 2022.

LENGAI, G., MBEGA, E., & MUTHOMI, J. Activity of ethanolic extracts of spices grown in Tanzania against important fungal pathogens and early blight of tomato. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 27, n. 6, 2021.

LIN, B. B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 183–193, 2011.

LIS-BALCHIN, M. Essential Oils and 'Aromatherapy': Their Modern Role in Healing. **Journal of the Royal Society of Medicine**, 2006.

KLICH, M. A. *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin. **Molecular plant pathology**, v. 8, n. 6, p. 713-722, 2007.

MAIA, M. D. C. R., DA SILVA LAURENTINO, C., CARNEIRO, G. A., DA SILVA MUNIZ, I. C., DA SILVA MUNIZ, I. I., DA SILVA, I. A., & CORDEIRO, R. P. Propriedades terapêuticas da espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha). **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 13, n. 4, p. e6791-e6791, 2021.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science, Hoboken**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2015.

MARTINS, A. N. Aferição do teste de germinação das sementes de milho em função do tratamento industrial das sementes. 2017. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, P. F., NASCIMENTO, A. C., RODRIGUES, C. S., ANTONIOLLI, Â. R., SANTOS, P. O., BARBOSA JÚNIOR, A. M., & TRINDADE, R. C. Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais: uma abordagem multifatorial dos métodos. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, p. 108-113, 2007.

PAVELA, R., MAGGI, F., LUPIDI, G., MBUNTCHA, H., WOGUEM, V., WOMENI, H. M., & BENELLI, G. *Clausena anisata* and *Dysphania ambrosioides* essential oils: from ethno-medicine to modern uses as effective insecticides. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 10493-10503, 2018.

PARVEEN, Z., NAWAZ, S., SIDDIQUE, S., & SHAHZAD, K. Composition and antimicrobial activity of the essential oil from leaves of *Curcuma longa* L. Kasur variety. **Indian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 75, n. 1, p. 117, 2013.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. **Integrated Pest Management**, p. 47–71, 2014.

PRAKASH, B., SINGH, P., KEDIA, A., SINGH, A., & DUBEY, N. K. Efficacy of essential oil combination of *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* Rosc. as a postharvest fungitoxicant, aflatoxin inhibitor and antioxidant agent. **Journal of Food Safety**, v. 32, n. 3, p. 279-288, 2012.

RAFI, H., DAWAR, S., & ZAKI, M. J. Seed priming with extracts of *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Delile and *Sapindus mukorossi* (L.) plant parts in the control of root rot fungi and growth of plants. **Pak. J. Bot.**, v. 47, n. 3, p. 1129-1135, 2015.

RATHORE, S. S., CHAUDHARY, D. R., BORICHA, G. N., GHOSH, A., BHATT, B. P., ZODAPE, S. T., & PATOLIA, J. S. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 2, p. 351-355, 2009.

RAVINDRAN, P. N., BABU, K. N., & SIVARAMAN, K. **Turmeric: the genus *Curcuma***. CRC press, 2007.

SINGH, G.; MAURYA, S.; DE LAMPASONA, M. P.; CATALAN, C. Chemical constituents, antimicrobial investigations, and antioxidative potentials of *Anethum graveolens* L. essential oil and acetone extract: Part 52. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 4, p. M208-M215, 2005.

SCHNEIDER, S., NIEDERLE, P. A. Resistance strategies and diversification of rural livelihoods: the construction of autonomy among Brazilian family farmers. **The Journal of Peasant Studies**, v. 37, n. 2, p. 379–405, 2010.

SWAMY, M. K., & SINNIAH, U. R. A comprehensive review on the phytochemical constituents and pharmacological activities of *Pogostemon cablin* Benth.: an

aromatic medicinal plant of industrial importance. **Molecules**, v. 20, n. 5, p. 8521-8547, 2015.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TOFEL, K. H., KOSMA, P., STÄHLER, M., ADLER, C., & NUKENINE, E. N. Insecticidal products from *Azadirachta indica* and *Plectranthus glandulosus* growing in Cameroon for the protection of stored cowpea and maize against their major insect pests. **Industrial Crops and Products**, v. 110, p. 58-64, 2017.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671–677, 2002.

WANG, X., FANG, Z., & SUN, X. Usage patterns of scholarly articles on Web of Science: a study on Web of Science usage count. **Scientometrics**, v. 109, n. 2, p. 917-926, 2016.

ULIANA, M. P., FRONZA, M., DA SILVA, A. G., VARGAS, T. S., DE ANDRADE, T. U., & SCHERER, R. Composition and biological activity of Brazilian rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 235-240, 2016.

KRZYZANOWSKI, F. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Abrates, 1999. e-ISSN 1983-4063-[www. agro. ufg. br/pat-Pesq](http://www.agro.ufg.br/pat-Pesq). Agropec. Trop., Goiânia, v. 47, n. 3. **Jul./Sep**, p. 312-320, 2017.