



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



LUCAS BARBOSA

Efeito alelopático do extrato etanólico de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de picão-preto (*Bidens pilosa* L.), amendoim-bravo *Euphorbia heterophylla* L.) e capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L.) Fedde.).

ARARAS - 2025



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



LUCAS BARBOSA

Efeito alelopático do extrato etanólico de *Esenbeckia leiocarpa* sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de picão-preto (*Bidens pilosa* L), amendoim-bravo (*Euphorbia heterphylla* L.) e capim-amargoso (*Digitaria insularis* (L) Fedde

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Andrea Monquero

ARARAS – 2025

Dedico este trabalho aos meus pais, Andrea Antonia F. S. e Humberto Barbosa, cujos sacrifícios constantes edificaram os alicerces que me permitiram trilhar meu próprio caminho; à minha querida irmã, Maria Eduarda Barbosa, pelo companheirismo; e, por fim, a Jaqueline Pereira Cardoso, minha amada, pelo apoio incessante nos momentos fáceis e difíceis. Por meio deles, tive o privilégio de conhecer o verdadeiro amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelas graças recebidas, por tudo o que me foi permitido viver e conquistar.

Agradeço aos meus pais, Andrea Antonia F. S. e Humberto Barbosa, e à minha irmã, Maria Eduarda Barbosa, por sempre acreditarem em mim e por todo o incentivo, paciência, conselhos, amor e cuidado que continuam a me dedicar. Espero poder honrá-los sempre.

Agradeço à minha amada Jaqueline Pereira Cardoso, por ser o fundamento nos momentos de ansiedade, pelo cuidado constante em todas as situações e por ser a razão do meu de choro de alegria. Sou igualmente grato pela valiosa contribuição nos experimentos realizados neste trabalho e, principalmente, por sua confiança inabalável em mim ao longo de toda esta jornada.

Agradeço aos meus companheiros da República Taberna, pelo companheirismo, pela ajuda neste e em outros trabalhos, e por todos os momentos vividos e compartilhados. Vocês foram fundamentais tanto na minha trajetória acadêmica quanto pessoal. Foi extremamente gratificante rir e compartilhar experiências ao lado de todos.

Agradeço, em especial, à minha orientadora, Profa. Dra. Patrícia Andrea Monquero, pela paciência, disposição e pelo tempo dedicado ao meu desenvolvimento. Agradeço também por todo o conhecimento transmitido e, principalmente, por me proporcionar diversas oportunidades de evolução tanto na vida acadêmica quanto pessoal. É um grande privilégio e motivo de orgulho ser orientado pela senhora.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos, a seu corpo docente e aos demais funcionários, que me proporcionaram a infraestrutura necessária, abriram portas e compartilharam o conhecimento fundamental para que eu pudesse alcançar esta conquista.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Processo nº 2023/03390-6 – pela concessão da bolsa de fomento durante a graduação, cuja inspiração foi determinante para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

**“O meu amanhã não pertence a mim, eu sei.
Já está nas mãos de Deus. Ele irá fazer o
melhor. Como ele sempre faz.”**

RESUMO

O uso inadequado de herbicidas apresenta riscos ao meio ambiente e à saúde humana, além de contribuir para a seleção de plantas daninhas tolerantes ou biótipos resistentes. Nesse cenário, a alelopatia emerge como uma alternativa promissora para o manejo dessas plantas. No Brasil, destaca-se *Esenbeckia leiocarpa* (guarantã), uma espécie nativa com potencial alelopático pouco explorado. Com o objetivo de encontrar alternativas ao uso de herbicidas, esta pesquisa avaliou o potencial alelopático do extrato alcoólico de *E. leiocarpa* em diferentes concentrações sobre a germinação e o desenvolvimento de *Bidens pilosa*, *Euphorbia heterophylla* e *Digitaria insularis*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 5 x 3, com cinco concentrações do extrato foliar (0%; 2,5%; 5%; 10% e 20%) e três espécies de plantas daninhas, com quatro repetições. As avaliações incluíram a porcentagem de germinação (G%), a redução no comprimento das raízes (mm) e os sinais de toxicidade nas plantas daninhas analisadas. A concentração de 2,5% já proporcionou uma redução significativa na germinação de todas as espécies avaliadas. A espécie *E. heterophylla* apresentou tolerância ligeiramente maior nas concentrações mais baixas, entretanto, a germinação foi completamente inibida para todas as espécies quando as concentrações atingiram ou ultrapassaram 10%. Nos bioensaios de crescimento, observou-se que o tamanho da radícula das plântulas foi reduzido em aproximadamente 50% a partir da concentração de 5%. Ao avaliar os sinais de toxicidade, verificou-se que a concentração a partir de 10% foi capaz de induzir mais de 80% de fitotoxicidade em todas as espécies, indicando toxicidade grave. Dentre as espécies avaliadas, *D. insularis* foi particularmente mais sensível, sugerindo um grau de sensibilidade ao extrato. Os resultados indicam que as espécies de plantas daninhas apresentaram respostas diferenciadas ao controle pelo extrato de folhas de *E. leiocarpa*, o qual contém aleloquímicos capazes de interferir, principalmente, na germinação e no desenvolvimento inicial das plantas. Portanto, *E. leiocarpa* mostra-se promissora como bioherbicida em aplicações pré-emergentes nas espécies daninhas estudadas.

Palavras-chave: manejo integrado de plantas daninhas, bioherbicida, aleloquímico, sustentabilidade agrícola.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Procedimento de preparação das placas de Petri realizada em fluxo laminar..... | 26 |
| Figura 2. Amostras utilizadas para a análise de pH..... | 27 |
| Figura 3. <i>E. heterophylla</i> com estruturas fundamentais desenvolvidas. | 28 |
| Figura 4. Experimento instalado na BOD..... | 29 |
| Figura 5. Avaliação dos bioensaios de crescimento. | 30 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Sinais de toxicidade propostos para a avaliação de fitotoxicidade de herbicidas em plantas testes, desenvolvida pelo Laboratório de Ecotoxicologia e Eficácia dos Agrotóxicos (LEEA) do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos.....31
- Tabela 2.** Taxa de redução de germinação (TRG) de *D. insularis*, *B. pilosa* e *E. heterophylla* submetidas a diferentes extratos etanólicos de *E. leiocarpa*.33
- Tabela 3.** Taxa de redução do comprimento da raiz de *D. insularis*, *B. pilosa* e *E. heterophylla* sob diferentes concentrações de extratos de *E. leiocarpa*.....35
- Tabela 4.** Fitotoxicidade de *D. insularis*, *B. pilosa* e *E. heterophylla* submetidas a diferentes extratos de *E. leiocarpa*.36

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO | Erro! Indicador não definido. |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 2.1. Plantas daninhas na agricultura | 14 |
| 2.2. Estratégias alternativas de manejo de plantas daninhas – uso da alelopatia | 17 |
| 2.3. Uso de árvores nativas na alelopatia | 19 |
| 3. OBJETIVOS | 23 |
| 3.1. Objetivo Geral | 23 |
| 3.2. Objetivo Específicos..... | 23 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 4.1. Coleta e preparo dos extratos etanólicos da parte aérea da árvore <i>Esenbeckia leiocarpa</i> | 24 |
| 4.2. Bioensaios de germinação com <i>B. pilosa</i> , <i>D. insularis</i> e <i>E. heterophylla</i> | 25 |
| 4.3. Bioensaios de crescimento com <i>B. pilosa</i> , <i>D. insularis</i> e <i>E. heterophylla</i> | 27 |
| 4.4. Análises estatísticas..... | 32 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 5.1. Bioensaios de germinação com <i>B. pilosa</i> , <i>D. insularis</i> e <i>E. heterophylla</i> | 32 |
| 5.2. Bioensaios de crescimento com <i>B. pilosa</i> , <i>D. insularis</i> e <i>E. heterophylla</i> | 35 |
| 6. CONCLUSÃO | 39 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o uso inadequado de herbicidas é uma questão global, visto que estes químicos apresentam efeitos negativos concretos aos ecossistemas e à saúde humana (MIRZAEI et al., 2023; DU; XIE; WANG, 2021). Sua utilização inadequada considerando volumes excessivos, o descarte impróprio e os problemas na tecnologia de aplicação podem ocasionar diferentes impactos adversos no ambiente, como contaminação do solo, água e atmosfera, além de atingir organismos não alvos (HASAN et al., 2021; SINGH; SINGH; SINGH, 2020; SOLTYS et al., 2013; WANG et al., 2022).

Além dos problemas ambientais e de saúde, o manejo intenso de plantas daninhas com herbicidas tem resultado na seleção, com o passar do tempo, de espécies tolerantes ou biótipos resistentes a esses compostos, particularmente quando há a utilização sistemática do mesmo herbicida ou de produtos com o mesmo mecanismo de ação (ALCÁNTARA-DE LA CRUZ et al., 2020). Com o aumento da resistência das plantas daninhas aos herbicidas, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estratégias alternativas não convencionais para o manejo eficiente dessas espécies (HEAP, 2025).

Nesse contexto, o uso de plantas com potencial alelopático emerge como uma alternativa promissora. De acordo com Khamare, Chen e Marble (2022), os mecanismos de interferência presentes em diversas espécies, como *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Triticum aestivum* L., *Eucalyptus* spp., entre outras, têm demonstrado resultados positivos no controle de plantas daninhas. Além disso, o estudo evidencia a viabilidade da alelopatia como ferramenta prática para o manejo de plantas daninhas em campo, seja por meio do desenvolvimento de novos princípios ativos para herbicidas, seja pela utilização como cobertura do solo, pulverização de extratos ou consorciação com outras culturas. Dessa forma, a alelopatia se consolida como uma estratégia abrangente e de grande potencial, passível de ser aplicada tanto na agricultura orgânica quanto na convencional (KHAMARE; CHEN; MARBLE, 2022; SOLTYS et al., 2013).

A alelopatia é um fenômeno que ocorre em comunidades biológicas, no qual determinados organismos exercem interferências sobre outros componentes da comunidade por meio da liberação de substâncias químicas biologicamente ativas (PIRES; OLIVEIRA, 2011). Especificamente no contexto de interações planta-planta,

cuja terminologia é colina, essas substâncias químicas são liberadas no ambiente por diferentes mecanismos, como lixiviação de tecidos vivos e mortos da planta, exsudação radicular, decomposição de tecidos vegetais e volatilização de compostos orgânicos (SOUZA FILHO; ALVES, 2000). Devido ao reconhecimento da alelopatia como um importante mecanismo ecológico, a comunidade científica tem demonstrado crescente interesse nesse fenômeno como uma estratégia sustentável, viável e eficaz para o controle de plantas daninhas (MACIAS et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015).

Dentre as plantas que possuem potencial alelopático, destaca-se no território brasileiro a *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae). Essa árvore possui substâncias químicas em suas folhas que podem inibir a germinação de sementes e o desenvolvimento das plântulas de outras espécies, o que lhe confere a capacidade de interferir no crescimento e na propagação de outros vegetais (EM BIODIVERSIDADE, 2010; HORST, 2012).

Estudos recentes indicam que o extrato aquoso de *Esenbeckia leiocarpa* apresenta potencial para aplicação como bioherbicida no manejo de plantas daninhas, em virtude de sua capacidade de suprimir o desenvolvimento vegetal. Entretanto, a utilização de extratos aquosos restringe a avaliação a compostos de natureza polar, excluindo substâncias apolares, como os terpenóides, cujos efeitos alelopáticos já foram amplamente documentados (HERRERA-COLLADO, 2023; SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010). Nesse cenário, torna-se indispensável investigar os efeitos do extrato etanólico de *E. leiocarpa* sobre a germinação e o desenvolvimento de plantas daninhas, ampliando o entendimento sobre o potencial bioherbicida dessa espécie e contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes, com maior aplicabilidade prática e sustentabilidade no manejo agrícola.

De certo a alelopatia é considerada uma abordagem próspera no controle de plantas daninhas, configurando-se como uma alternativa ambientalmente sustentável e economicamente viável em sistemas agrícolas (KHAMARE; CHEN; MARBLE, 2022). Essa abordagem pode ser implementada tanto por meio de produtos naturais quanto por meio de programas de melhoramento genético. Contudo, as pesquisas nessa área ainda são incipientes, e a escassez de informações sobre sua aplicação prática na agricultura dificulta sua adoção em larga escala. Portanto, é válido aprofundar os estudos sobre a interferência de plantas alelopáticas na dinâmica das espécies, com o objetivo de estabelecer novas estratégias de manejo integrado

de plantas daninhas (NARWAL, 2012; SANTOS, 2021; SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010).

O objetivo desta pesquisa é avaliar os possíveis efeitos alelopáticos de diferentes concentrações de extratos alcólicos de folhas de *Esenbeckia leiocarpa* sobre a germinação e o desenvolvimento das plantas daninhas picão-preto (*Biden pilosa* L.), capim-amargoso (*Digitaria insularis* F.) e amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla* L.).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Plantas daninhas na agricultura

As plantas daninhas são uma das maiores responsáveis pela perda de produtividade na agricultura há muito tempo, causando até hoje uma redução na produtividade bruta estimada em 43% em todo o mundo (MESNAGE; SZÉKÁCS; ZALLER, 2021). Essas plantas são capazes de competir com as culturas agrícolas por água, nutrientes e espaço, afetando negativamente, de forma direta e indireta, o rendimento das cultivares e, conseqüentemente, a produção de alimentos no mundo (FONTES; GONÇALVES, 2009; MONACO; WELLER; ASHTON, 2002; SHARMA et al., 2021).

No fim de 1945, após a segunda guerra mundial, iniciou-se a “era química” no campo, culminando no surgimento de diversos agrotóxicos, entre eles os herbicidas (VATS, 2015). O advento de químicos capazes de controlar as plantas daninhas foi um marco fundamental para as ciências agrárias, transformando completamente o cenário rural da época (MEROTTO JR et al., 2022). Desde então a utilização de herbicidas tornou-se uma prática corriqueira na agricultura, tendo como objetivo o controle das plantas daninhas (BARUA et al., 2019; VOLL et al., 2005).

O emprego de herbicidas nas plantações aumentou a produtividade do campo consideravelmente, sendo este responsável por 20% do aumento na produção de milho e 62% do aumento da produtividade da soja em 1964 (GIANESSI, 2013). Além de controlar as plantas daninhas, os herbicidas foram responsáveis por diminuir a necessidade de mão de obra no campo. A substituição da capina manual e da aração pelo uso de herbicida reduziu a demanda de trabalhadores no cultivo de milho em 38%, favorecendo assim a redução de custos e minimizando o tempo gasto para controlar as plantas daninhas (GIANESSI, 2013).

Devido às rápidas respostas relacionadas ao emprego de herbicidas, diversas áreas agrícolas aderiram a estratégia de uso desse agroquímico. Nos Estados Unidos, os herbicidas são aplicados em aproximadamente 92% da área cultivada com milho, algodão, soja e frutas cítricas, refletindo assim a enorme dependência da agricultura moderna com esse insumo (MESNAGE; SZÉKÁCS; ZALLER, 2021).

Com a elevada demanda de herbicidas na produção agrícola, o valor desse insumo cresceu 39% entre 2002 e 2011 (HOSSAIN, 2015). O mercado de defensivos agrícolas em 2023 movimentou mais de 20,7 bilhões de dólares (US\$) no Brasil (SINDIVEG, 2025). Aproximadamente 32% desse valor está relacionado com a compra de herbicidas, evidenciando a importância destes insumos para a agricultura brasileira (EMBRAPA, 2023; DA REDAÇÃO-AGROANALYSIS, 2022; SINDIVEG, 2025).

Em 2021, a empresa Pandawa Agri Indonesia (2021) registrou um aumento de 95% no preço do glifosato entre fevereiro de 2021 e em julho do mesmo ano. Contudo, mesmo com os aumentos no preço, o glifosato ainda continua sendo o herbicida mais vendido no mundo, principalmente devido ao advento das culturas transgênicas tolerantes a este herbicida (MESNAGE; SZÉKÁCS; ZALLER, 2021; WIDGER, 2021). No Brasil quase 90% da soja e milho cultivados são transgênicos e a maioria dos cultivares apresentam tolerância ao glifosato, o que contribui para ampla utilização do mesmo (ALBRECHT; MISSIO, 2013; BRONDANI, 2019; EMBRAPA, 2023).

Todavia, apesar dos benefícios momentâneos que os herbicidas proporcionam para a agricultura, a sua aplicação pode ter impactos negativos para o meio ambiente e para a saúde humana (MEENA et al., 2020; PEILLEX; PELLETIER, 2020; WANG et al., 2022). Em razão do emprego inadequado, os herbicidas tornaram-se um dos maiores pivôs da contaminação química do solo. Seu uso incorreto, caracterizado pela aplicação exagerada, descarte impróprio e a utilização de tecnologia inapropriada de aplicação, acarreta acúmulo de resíduos tóxicos no solo, os quais que afetam diretamente o ecossistema ao redor, comprometendo drasticamente biodiversidade local (ALCÁNTARA-DE LA CRUZ et al., 2020; HASAN et al., 2021; MEENA et al., 2020; SINGH; SINGH; SINGH, 2020).

Outrossim, a exposição crônica à herbicidas pode ocasionar uma ampla gama de efeitos adversos à saúde humana, incluindo câncer, doenças respiratórias, doenças neurológicas e problemas reprodutivos, os quais podem ser irreversíveis (DAMALAS; KOUTROUBAS, 2016; IARC, 2017; MESNAGE; BERNAY; SÉRALINI, 2013; PROBST; FIORIN, 2021).

Além dos problemas ambientais e de saúde, os herbicidas vem impactando na dinâmica de seleção de espécies no campo com a seleção de biótipos resistentes a estes produtos (ALCÁNTARA-DE LA CRUZ et al., 2020; JABRAN et al., 2015; VATS,

2015). Essa resistência pode surgir após a aplicação repetida de um mesmo herbicida ou de herbicidas que possuem o mesmo mecanismo de ação, criando uma pressão seletiva sobre os indivíduos que apresentam alelos para resistência que, embora ocorram em baixa frequência, são favorecidos pelo aumento da população (BRIGHENTI; DE OLIVEIRA, 2011; POWLES; YU, 2010).

Dentre as espécies monocotiledôneas com biótipos resistentes, destacam-se a *Digitaria insularis* F. (capim-amargoso) que está relacionada a perdas de 44% e 18% de produção das culturas soja e milho, respectivamente (BAZANELLA, 2021; GAZZIERO et al., 2012, 2019), e infesta praticamente todo o território da América do sul (BARROSO et al., 2021; HEAP, 2025). O capim-amargoso apresenta um agravante de possuir biótipos com resistência múltipla aos herbicidas glyphosate, fenoxaprop-etil e haloxifope-metil, dificultando o manejo para se obter um controle satisfatório (ADEGAS et al., 2010; DE MELO et al., 2012; GONÇALVES NETTO et al., 2022; HASAN et al., 2021; HEAP, 2014, 2025).

No caso das eudicotiledôneas, a *Euphorbia heterophylla* L. (amendoim-bravo) é uma planta daninha que se destaca na cultura da soja devido ao seu impacto negativo na produtividade (MOLINARI et al., 2022; BORSOI; MIORANZA; MUNHAK, 2024). Estudos indicam que uma infestação de 42,5 plantas por metro quadrado de amendoim-bravo pode reduzir a produção de soja em até 30% (MESCHÉDE et al., 2002). Esta espécie apresenta uma resistência significativa a diversos grupos de herbicidas, incluindo os inibidores da Acetolactato Sintase (ALS) (HRAC), os inibidores da Protoporfirinogênio Oxidase (HRAC) e os inibidores da Enolpiruvil Shiquimato Fosfato Sintase, como o glifosato (HEAP, 2025).

Outra eudicotiledônea que tem representado um desafio significativo nas lavouras é a *Bidens pilosa* L. (picão-preto), cuja presença tornou-se uma problemática devido ao rápido crescimento inicial a sua disseminação em diferentes regiões do território nacional (FRANÇA et al., 2016; SANTOS; CURY, 2011). Esta planta da família Asteraceae apresenta resistência múltipla a dois grupos de herbicidas: inibidores de ALS e os inibidores de fotossistema II - PSII (HEAP, 2025). Concomitantemente ao problema relacionado a resistência de herbicidas, o picão-preto pode reduzir a produtividade da cultura de soja em 58% e em níveis superiores a 85% na cultura do milho e da mandioca, quando associada com outras plantas daninhas (ALBUQUERQUE et al., 2008; CARVALHO et al., 2011; RIZZARDI et al.,

2003; RIZZARDI; FLECK; AGOSTINETTO, 2003). Ressaltando assim a urgência de se criar técnicas e estratégias para o controle dessa planta daninha.

Considerando somente o sistema de produção de soja, a resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil tem um impacto econômico estimado em R\$ 4.918.820.000,00 por ano (ADEGAS et al., 2017). No entanto, quando as perdas na cultura devido à competição com a população resistente são adicionadas, o custo total pode chegar a R\$ 9 bilhões anualmente, afetando desfavoravelmente a economia do país e do mundo (ADEGAS et al., 2017).

2.2. Estratégias alternativas de manejo de plantas daninhas – uso da alelopatia

A Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (2011) ressalta a primordialidade de se criar diferentes estratégias para o controle das plantas daninhas, a começar pela ideia do “manejo integrado de plantas daninhas (MIPD)”. A estratégia do manejo integrado de plantas daninhas surge como uma abordagem viável, tanto do ponto de vista qualitativo quanto econômico, para a redução do uso dos herbicidas na agricultura. O MIPD é um conjunto de práticas e estratégias que visa minimizar os efeitos negativos causados pelas plantas daninhas na agricultura e paralelamente impulsionar o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (FONTES; GONÇALVES, 2009; RIEMENS et al., 2022; SWANTON et al., 2008).

Para isso, o MIPD busca utilizar técnicas sistemáticas e integradas, que envolvem diversos procedimentos e métodos, tais como controle químico, mecânico, físico, cultural e biológico, além da utilização de cultivares resistentes. O conjunto dessas metodologias promove a redução da pressão de seleção das plantas daninhas, diminuindo assim o risco de seleção de biótipos resistentes (FONTES; GONÇALVES, 2009; SWANTON et al., 2008).

Dentre os diversos conhecimentos envolvidos no manejo integrado de plantas daninhas, o fenômeno natural da alelopatia é uma alternativa factível para inibir o crescimento e desenvolvimento dessas plantas indesejadas, tornando-se uma grande aliada na redução do uso de herbicidas (FERREIRA; AQUILA, 2000; JABRAN et al., 2015; MACIAS et al., 2007; SOLTYS et al., 2013).

Muito diferente da expressão “estado vegetativo”, que insinua as plantas como um ser imóvel ou passivo, os vegetais estão em constante comunicação com o ecossistema ao seu redor (WOHLLEBEN, 2015). A ciência da alelopatia ressalta essa

questão da planta como um ser energético e protagonista nas relações bióticas, e ainda estimula a incorporação desses conhecimentos biológicos para a criação de sistemas agrícolas sustentáveis (ACI et al., 2022; JABRAN et al., 2015; MACÍAS; MEJÍAS; MOLINILLO, 2019).

O surgimento da alelopatia como ciência ainda é muito recente, havendo um longo caminho a ser percorrido para o total entendimento desse fenômeno (SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010). O termo "Alelopatia", do grego Allelon = mútuo e Pathós = sofrer, ainda é muito jovem no panorama agrônomo, sendo citado pela primeira vez pelo botânico austríaco Hans Molisch em 1937. Molisch definiu a alelopatia como o efeito de uma planta sobre outra planta através da liberação de substâncias químicas, como uma estratégia para controlar a concorrência por recursos. A partir daí, o estudo dessas interações vem sendo desenvolvido e ampliado de forma expressiva (ALMEIDA-BEZERRA et al., 2020). Alelopatia, em harmonia com a Sociedade Internacional de Alelopatia, é a ciência que estuda qualquer processo envolvendo essencialmente os metabólitos secundários produzidos pelas plantas, algas, bactérias e fungos que influenciam o crescimento e desenvolvimento de sistemas agrícolas e biológicos, incluindo efeitos positivos e negativos (ALMEIDA-BEZERRA et al., 2020; MACIAS et al., 2007).

Atualmente, o estudo da alelopatia continua tendo grande atenção no cenário científico, sendo aplicado em diversas áreas além da agricultura, como na indústria farmacêutica, para a produção de fitoterápicos, e na alimentícia, para a conservação de alimentos de origem animal e vegetal (COIMBRA; FERREIRA; DUARTE, 2022; YADAV et al., 2019). Com o aumento progressivo de pesquisas e implementações do conhecimento alelopático, a ciência da alelopatia evoluiu e aumentou sua gama de aplicações na sociedade.

De acordo com Abbas et al. (2021), Oviedo Moya (2020); Santos (2021) e Scavo e Mauromicale (2021) o uso da alelopatia na agricultura tem o potencial de fornecer inúmeros benefícios para a humanidade, incluindo aumento do rendimento das culturas, redução da dependência de herbicidas sintéticos, a ampliação de polinizadores na lavoura, melhoria da qualidade do solo e aumento da biodiversidade. Esses benefícios tornam a alelopatia uma opção promissora para promover práticas agrícolas sustentáveis e contribuir para a segurança alimentar e proteção ambiental (BAJWA; MAHAJAN; CHAUHAN, 2015; JABRAN et al., 2015; REIGOSA et al., 2013).

O estudo da alelopatia tem se destacado em diversas aplicações potenciais na agricultura (FERREIRA et al., 2013; MACÍAS; MEJÍAS; MOLINILLO, 2019), tanto pelo fator de criação de novos bioherbicidas, quando pela possibilidade de criação de cultivares geneticamente modificadas para serem alelopáticas a plantas daninhas (FUJII, 2001; TAIZ et al., 2021).

A criação de bioherbicidas baseados em aleloquímicos oferece a oportunidade de explorar compostos naturais na proteção de culturas agrícolas e mostra a possibilidade de lidar com as plantas daninhas resistentes aos herbicidas convencionais (SOLTYS et al., 2013). Diante da crescente demanda por novas bases para a formulação de bioherbicidas, SOUZA et al. (2010) investigou os efeitos alelopáticos da planta arbórea *Esenbeckia leiocarpa*, a qual apresentou elevado potencial aleloquímicos em teste com *Lactuca sativa* L. (alface).

Os aleloquímicos, de acordo com inúmeras variáveis, podem induzir diferentes efeitos nas plantas. Uma dessas variáveis é o estágio de desenvolvimento vegetal, no qual esses compostos podem atuar como inibidores de germinação e/ou crescimento (CHIOCHETTA; TISCHER, 2022; HENZEL, 2022). Assim, os bioherbicidas que utilizam compostos aleloquímicos podem ser empregados como "pré-emergentes" ou "pós-emergentes", dependendo da interação entre a planta alvo e a planta produtora de aleloquímicos. Nesse contexto, é viável examinar os efeitos alelopáticos tanto durante a fase de germinação quanto durante a fase de crescimento, a fim de avaliar de forma mais eficiente a aplicabilidade desses aleloquímicos no campo (PIRES; OLIVEIRA, 2011; SOLTYS et al., 2013; SOUZA FILHO, 2006).

Apesar da alelopatia ter uma abordagem promissora para controlar plantas daninhas e melhorar a produção agrícola, a pesquisa sobre este tema é relativamente nova e as informações limitadas sobre seu uso na agricultura tornam difícil sua aplicação no campo (LOVATTO, 2021; NASCIMENTO et al., 2022). Portanto, faz-se necessário estudar a interferência de plantas alelopáticas na dinâmica das espécies, a fim de estabelecer novas estratégias no manejo de plantas daninhas (NARWAL, 2012; SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010).

2.3. Uso de árvores nativas na alelopatia

O emprego de árvores nativas em projetos de pesquisa desempenha um papel fundamental na preservação ambiental, valorização da flora e conservação da biodiversidade, ao fornecer habitat e abrigo para diversas espécies vegetais e animais. Essas árvores estão adaptadas às condições locais, tornando-as mais resilientes frente aos desafios ambientais (DA SILVA et al., 2021).

Trabalhar com espécies nativas, como a *Esenbeckia leiocarpa*, contribui para a conservação da diversidade genética e dos ecossistemas naturais, promovendo a restauração de áreas degradadas e a manutenção de paisagens saudáveis. Essas árvores possuem adaptações específicas resultado de sua longa coevolução com outras espécies, o que gera interações complexas e valiosas para o equilíbrio ecológico e para a ciência (CARMO; BORGES; TAKAKI, 2007; MORI; LERTZMAN; GUSTAFSSON, 2017).

A espécie *Esenbeckia leiocarpa* (guarantã) é uma árvore tropical decídua nativa do Brasil, pertencente à família Rutaceae e subfamília Rutoideae, comumente encontrada em áreas de florestas nativas no sudeste (POZZATTI, 2013; QUEIROZ; VIANI; SEBASTIANI, 2021; VIANI; RODRIGUES, 2007). Esta é uma árvore de extensos estudos no campo da fitoterapia e é amplamente reconhecida como uma planta medicinal de grande relevância. Diversas pesquisas têm sido conduzidas para investigar a notável capacidade da *E. leiocarpa* na área farmacêutica, especialmente em relação aos seus efeitos anti-inflamatórios (DE LIZ et al., 2012; POZZATTI, 2013; POZZATTI et al., 2011).

A *E. leiocarpa*, quando observada em ambiente natural, é frequentemente encontrada em aglomerados (SEOANE; KAGEYAMA; SEBBENN, 2000), sendo que os vegetais mais encontrados ao seu redor (sob sua copa) são os próprios indivíduos de *E. leiocarpa*, evidenciando uma provável relação alelopática específica (SOUZA et al., 2010). Além disso, *E. leiocarpa* apresentou em diversos trabalhos compostos químicos com grande potencial alelopático, com maior experimentação do extrato de suas folhas (DELLE MONACHE et al., 1990; HORST, 2012; JANUÁRIO et al., 2009; MATA et al., 1998; NAKATSU et al., 1990; SOUZA et al., 2010). Ácidos fenólicos, taninos, flavonoides e terpenóides são algumas das substâncias já encontradas em *E. leiocarpa*, as quais podem apresentar concreto potencial alelopático no controle de diversas plantas daninhas (ANAYA, 1999; BACHHETI et al., 2020; MOTMAINNA et al., 2021; SOLTYS et al., 2013).

Os extratos ou lixiviados de *E. leiocarpa* ainda são pouco estudados, carecendo de mais pesquisas com relação a esta árvore. Contudo o artigo de SOUZA et al. (2010) já demonstra fitotoxicidade considerável na redução ou inibição da germinação de sementes de *Lactuca sativa* L. devido a presença de fortes aleloquímicos nas folhas da árvore.

O uso de extratos etanólico é uma das técnicas essenciais na prospecção da atividade alelopática de plantas. A justificativa para essa prática é a ideia de que compostos químicos com baixa polaridade podem possuir alta atividade alelopática, o que pode ser um reflexo do potencial alelopático das espécies doadoras em estudo (INOUE et al., 2010). Essa afirmação é válida especialmente no caso dos terpenóides, que são altamente apolares e possuem alta atividade alelopática. Alguns desses compostos são apenas solúveis em álcool, o que reforça a importância dos extratos etanólicos como uma ferramenta para avaliar a atividade alelopática (DE ARAÚJO; SARAIVA, 2018; SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010).

OLIVEIRA et al. (2014) ressaltam que o extrato etanólico de *Pouteria ramiflora* pode reduzir de forma mais significativa o comprimento da raiz primária e da parte aérea, em comparação ao extrato aquoso. Esse resultado sugere que as substâncias com efeito alelopático são extraídas de maneira mais eficiente quando se utiliza um solvente orgânico, como o etanol.

Uma das principais vantagens da utilização de extratos etanólicos reside na possibilidade de uma avaliação rápida da atividade alelopática, bem como na facilidade de comparação entre diferentes amostras e outros trabalhos científicos, o que é particularmente útil em estudos de triagem (DE ARAÚJO; SARAIVA, 2018; SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010). Outrossim, o uso de extratos etanólicos favorece a aplicabilidade de bioherbicidas, permitindo o trabalho com amostras concentradas que podem ser posteriormente diluídas, facilitando tanto o transporte quanto a aplicação em campo. No entanto, é necessário seguir metodologias sistemáticas para realizar estudos alelopáticos com extratos etanólicos (INOUE et al., 2010).

Diversos estudos destacam que o pH do extrato vegetal, em vez de seus componentes aleloquímicos, podem influenciar a germinação das plantas avaliadas (BARBIERI et al., 2019; KHAN et al., 2022; SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010), o que pode ser um obstáculo para o estudo de extratos alelopáticos. Para solucionar esse problema relacionado ao pH, é aconselhável utilizar testemunhas para

investigar possíveis interferências dos valores do potencial hidrogeniônico dos extratos etanólicos na germinação das plantas alvo. A fim de assegurar confiabilidade aos resultados, é necessário realizar tratamentos com soluções aquosas de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) a 20% para promover a alcalinização e ácido clorídrico (HCl) 1N para realizar a acidificação. As concentrações dessas soluções devem ser determinadas com base nos valores de pH medidos nos extratos etanólicos (CORREIA; CENTURION; ALVES, 2005; SOUZA; ZAMPAR, 2016).

O conjunto de protocolos empregados de forma sistemática tem como objetivo possibilitar, com bom grau de segurança, a obtenção de resultados concretos e globais, o que pode levar a inferências mais próximas da realidade e, conseqüentemente, refletir de maneira mais precisa o real papel que a alelopatia pode desempenhar na dinâmica evolutiva das espécies ou no estabelecimento de estratégias de manejo de plantas daninhas (SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar os possíveis efeitos alelopáticos de extratos etanólicos da parte aérea de *Esenbeckia leiocarpa*, em diferentes concentrações, sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas daninhas *Digitaria insularis*, *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla*, visando o desenvolvimento de uma alternativa no manejo integrado de plantas daninhas.

3.2. Objetivo Específicos

- Determinar a influência das diferentes concentrações do extrato etanólico.

Investigar, por meio de bioensaios, os efeitos dose-dependentes do extrato sobre as espécies daninhas avaliadas, identificando a concentração ideal que maximize o potencial bioherbicida.

- Comparar a sensibilidade das espécies de plantas daninhas.

Verificar diferenças na resposta às concentrações testadas, a fim de identificar qual espécie apresenta maior suscetibilidade e, conseqüentemente, maior potencial de controle através do uso do extrato.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Ecotoxicologia e Química Ambiental da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), Centro de Ciências Agrárias (22°18'56" S, 47°23'20" W, 650m de altitude) no município de Araras, Estado de São Paulo (SP), Brasil.

4.1. Coleta e preparo dos extratos etanólicos da parte aérea da árvore

Esenbeckia leiocarpa

A metodologia utilizada baseou-se nos trabalhos de INOUE et al. (2010) e SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS (2010). Foram coletadas folhas jovens com o limbo totalmente expandido, de *E. leiocarpa* com a idade entre 6 a 8 anos, no município de Guarantã/SP. Após a colheita, as folhas foram lavadas com água corrente, acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa por 48 horas a 60°C (CÂNDIDO et al., 2010; FUJII et al., 2004). Após o processo de secagem, as folhas foram trituradas em moinho promovendo homogeneização. O material obtido foi acondicionado em sacos de papel e armazenado em refrigerador, mantendo uma temperatura amena e arejada, aguardando sua posterior utilização.

Para a obtenção do extrato etanólico, as folhas secas de *E. leiocarpa*, previamente trituradas e armazenadas, foram pesadas em balança analítica, totalizando 300 gramas. Em seguida, o material vegetal foi misturado com 2100 mL de etanol a 70%, em temperatura ambiente, utilizando-se a proporção de 1:7:3 (peso do material vegetal seco: volume de etanol: volume de água) (INOUE et al., 2010). A mistura foi mantida em agitação constante por 15 minutos e, após esse período, foi armazenada em garrafas de vidro âmbar, em repouso por 24 horas, à temperatura ambiente, sem incidência de luz, para assegurar a completa extração dos compostos ativos e prevenir a fotodegradação. Após as 24 horas, o extrato foi filtrado utilizando filtro de pano sintético, resultando no extrato bruto etanólico (DE CONTI; FRANCO, 2011).

Em continuidade, o extrato bruto etanólico foi concentrado em rotaevaporador sob pressão reduzida, mantendo a temperatura constante de 80 °C durante todo o processo. Ao final da rotaevaporação, duas frações do extrato foram obtidas: a fração orgânica alcoólica e a fração orgânica não alcoólica. Para este

trabalho, foi utilizada exclusivamente a fração orgânica não alcoólica, sendo esta a concentração de 100%. Concluída a operação, a fração orgânica não alcoólica foi armazenada em frascos de vidro âmbar previamente esterilizados, hermeticamente tampados e mantidos à temperatura ambiente. Após o resfriamento, os frascos contendo o extrato a 100% foram armazenados em refrigerador, a 8 °C, por 24 horas, aguardando a utilização para a realização das diluições testadas (INOUE et al., 2010; YAMAGUSHI; GUSMAN; VESTENA, 2011).

4.2. Bioensaios de germinação com *B. pilosa*, *D. insularis* e *E. heterophylla*

O experimento de germinação foi implementado no dia 16 de dezembro de 2024. Para isso, seguiu-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial do tipo 5 x 3, com quatro repetições. Sendo o primeiro fator quatro concentrações de extrato da parte aérea de *E. leiocarpa* (2,5%, 5%, 10% e 20%), além de um tratamento controle em que foi utilizado somente água destilada. O segundo fator foi composto por três espécies de plantas daninhas: *B. pilosa*, *D. insularis* e *E. heterophylla*.

As diluições necessárias para a confecção dos extratos foram feitas com água destilada, em temperatura de 20°C, nas concentrações de 20%, 10%, 5% e 2,5% (CASTILHO; FORTI; MONQUERO, 2022; DA SILVA; MATILDE; DA SILVA, 2024; SILVA et al., 2021). A fim de comparar os efeitos dos extratos, foi utilizado um tratamento controle composto apenas de água destilada, sem adição de material vegetal (0%).

As sementes de picão-preto, capim-amargoso e amendoim-bravo foram obtidas da empresa Agro Cosmos Ltda. Para reduzir o risco de contaminação microbiológica, as sementes foram higienizadas sequencialmente em álcool 70%, solução de hipoclorito de sódio a 0,5% e água destilada. Após a higienização, foram acondicionadas em placas de Petri (10 cm) previamente preparadas.

As placas de Petri foram lavadas, secas em estufa a 100 °C, forradas com duas folhas de papel filtro e esterilizadas em autoclave. Nos ensaios de germinação, realizados em fluxo laminar com luz UV, foram adicionados 8 mL de extrato em cada placa, volume calculado como 2,5 vezes o peso do papel filtro. Em cada placa, 25 sementes foram distribuídas uniformemente para cada condição experimental (Figura

1). Como controle, utilizou-se água destilada para umedecer o papel filtro (8 mL). Cada tratamento foi realizado com quatro repetições.



Figura 1. Procedimento de preparação das placas de Petri realizada em fluxo laminar.

Fonte: Autoral (2024).

As placas de Petri foram mantidas em câmara de germinação tipo BOD (Biochemical Oxygen Demand), regulada para temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz por 14 dias, conforme as Regras para Análise de Sementes (BARBOSA et al., 2018; BRASIL, 2009; CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2007; NGOROYEMOTO et al., 2019; SILVA, 2018).

As avaliações foram realizadas 14 dias após a semeadura (14 DAA). Ao término desse período, foi determinada a porcentagem de germinação (G%), calculada com base no número total de sementes germinadas, e a taxa de redução de germinação foi analisada.

Para averiguar a influência do potencial hidrogeniônico dos extratos na germinação, cada extrato foi avaliado individualmente quanto ao pH, utilizando pHmetro digital (Figura 2).



Figura 2. Amostras utilizadas para a análise de pH.

Fonte: Autoral (2025).

4.3. Bioensaios de crescimento com *B. pilosa*, *D. insularis* e *E. heterophylla*

O experimento de bioensaio de crescimento foi implementado no dia 21 de dezembro de 2024. Para isso, seguiu-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial do tipo 5 x 3, com quatro repetições. Sendo o primeiro fator quatro concentrações de extrato da parte aérea de *E. leiocarpa* (2,5%, 5%, 10% e 20%), além de um tratamento controle em que foi utilizado somente água destilada. O segundo fator foi composto por três espécies de plantas daninhas: *B. pilosa*, *D. insularis* e *E. heterophylla*.

As sementes das espécies picão-preto, capim-amargoso e amendoim-bravo passaram por um processo de higienização prévia e, em seguida, foram colocadas para germinar em caixas Gerbox esterilizadas (8 x 13 x 5 cm). As caixas Gerbox foram forradas com vermiculita de granulometria média inerte, com uma camada de espessura de 2 cm, umedecida com 2,0 vezes a sua massa em água destilada (MARTINS et al., 2011, 2012). Posteriormente, 50 sementes de cada planta daninha foram distribuídas uniformemente em sua respectiva caixa, com 4 repetições (OLIVEIRA; FERREIRA; BORGHETTI, 2004). Todo o procedimento foi realizado em uma cabine de fluxo laminar com luz UV para evitar qualquer contaminação microbiológica.

Após o preparo, as gerbox foram mantidas em câmara de germinação do tipo BOD (Biochemical Oxygen Demand) com temperatura controlada a 25 °C e um

fotoperíodo de 12 horas (BARBOSA et al., 2018; BRASIL, 2009; NGOROYEMOTO et al., 2019; SILVA, 2018). Quando as plântulas apresentaram as estruturas fundamentais do embrião desenvolvidas e com, no mínimo, 2 mm de comprimento de protusão radicular foi realizado o experimento envolvendo os extratos de acordo com a metodologia de Souza Filho, Rodrigues e Rodrigues (1997) (Figura 3).



Figura 3. *E. heterophylla* com estruturas fundamentais desenvolvidas.

Fonte: Autoral (2024).

Com o objetivo de garantir a uniformidade das plântulas utilizadas no bioensaio de crescimento, foram selecionadas 3 plântulas de cada caixa Gerbox que apresentaram a maior padronização visual em relação ao tamanho da radícula, cotilédones e número de folhas. As plântulas foram colocadas em placas de Petri (10 cm) forradas com uma dupla camada de papel filtro, nas quais foram adicionados 8 mL de cada concentração de extrato, correspondente ao tratamento designado (SOUZA FILHO; RODRIGUES; RODRIGUES, 1997). As placas foram incubadas em câmaras BOD, a 25 °C (± 2) e 12 horas de fotoperíodo (Figura 4).

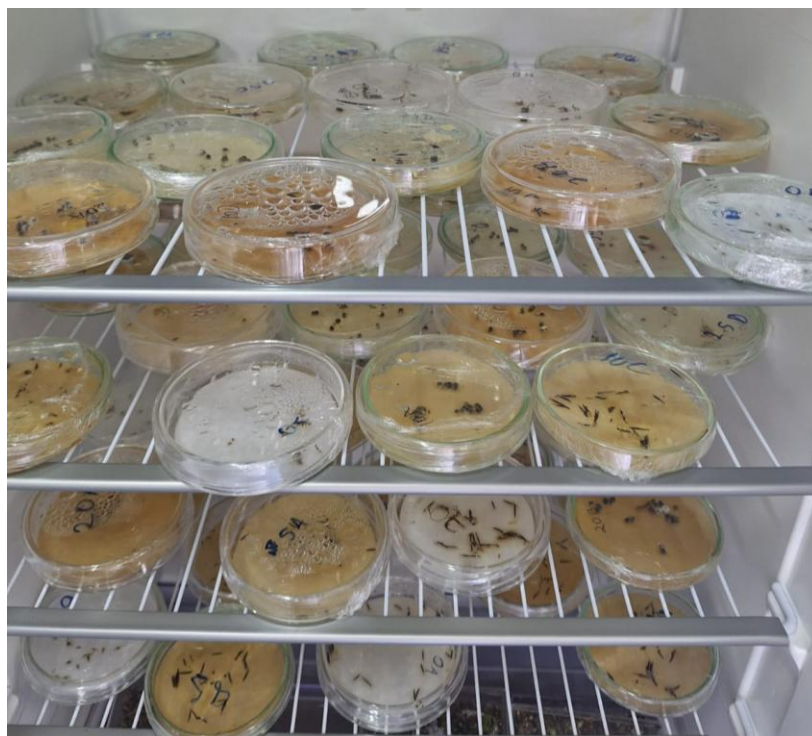


Figura 4. Experimento instalado na BOD.

Fonte: Autoral (2024).

Após um período de 14 dias, o crescimento das plantas foi interrompido e foram realizadas medidas das raízes (mm) e os sinais de toxicidade das mesmas (CASAGRANDE et al., 2007; SOUZA FILHO; RODRIGUES; RODRIGUES, 1997), visando avaliar o efeito inibitório dos extratos etanólico de *Esenbeckia leiocarpa* (Figura 5).



Figura 5. Avaliação dos bioensaios de crescimento.

Fonte: Autoral (2025).

Os sinais de fitotoxicidade foram avaliados conforme a Tabela 1, que apresenta os critérios propostos para a avaliação de fitotoxicidade de herbicidas, nos dias 3, 7, 15, 21, 30, 45 e 60 após a aplicação (DAA).

Tabela 1. Sinais de toxicidade propostos para a avaliação de fitotoxicidade de herbicidas em plantas testes, desenvolvida pelo Laboratório de Ecotoxicologia e Eficácia dos Agrotóxicos (LEEA) do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos.

| Escala | Sinais de toxicidade | Porcentagem de efeitos (%) | Classificação do efeito |
|---------------|---|-----------------------------------|--------------------------------|
| 0 | Sem sinal aparente de toxicidade | 0,0 – 5,0 | Sem efeito |
| 1 | Clorose de borda de folhas jovens ou de folhas do cotilédone | 5,1 – 10,0 | Efeito leve |
| 2 | Perda da pigmentação foliar | 10,1 – 20,0 | |
| 3 | Murchamento de folhas ou caule | 20,1 – 30,0 | |
| 4 | Crescimento irregular de ramos secundários e desenvolvimento irregular de folhas | 30,1 – 40,0 | |
| 5 | Necrose de borda, parcial ou total de folhas jovens e adultas | 40,1 – 50,0 | Efeito |
| 6 | Encarquilhamento de folhas jovens e/ou adultas | 50,1 – 60,0 | moderado |
| 7 | Alongamento de caule e de ramos apicais ou secundários | 60,1 - 70,0 | |
| 8 | Inibição do crescimento ou desenvolvimento da planta | 70,1 – 80,0 | Efeito grave |
| 9 | Necrose das gemas apicais ou inibição do desenvolvimento das gemas primárias e/ou secundárias | 80,1 – 90,0 | |
| 10 | Morte da planta | 90,1 – 100,0 | |

Fonte: Casagrande et al. (2007).

4.4. Análises estatísticas

Os dados referentes à germinação – avaliados por meio da germinação relativa e da taxa de redução de germinação – e ao desenvolvimento – analisados através do comprimento radicular (em centímetros), da taxa de redução do comprimento radicular e da fitotoxicidade – foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o software SISVAR, com as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Para o cálculo das taxas de redução, o tratamento controle (sem extrato) foi considerado como referência, correspondendo a 100%.

A taxa de redução de germinação (TRG) foi calculada pela fórmula:

$$TRG = \frac{(G\%_0 - G\%_x)}{G\%_0}$$

Em que $G\%_0$ é a porcentagem de germinação no controle (sem extrato) e $G\%_x$ é a porcentagem de germinação na concentração de extrato “x”.

Da mesma forma, a taxa de redução do comprimento radicular (TRR) foi determinada por:

$$TRR = \frac{(R_0 - R_x)}{R_0}$$

sendo R_0 o comprimento radicular médio no controle e R_x o comprimento radicular médio na concentração de extrato “x”.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Bioensaios de germinação com *B. pilosa*, *D. insularis* e *E. heterophylla*

Os ensaios conduzidos com as sementes de *B. pilosa*, *E. heterophylla* e *D. insularis* apresentaram índices de germinação satisfatórios nas condições de controle, fornecendo uma base sólida para as análises subsequentes sobre o potencial alelopático dos extratos de *E. leiocarpa*. O estudo demonstrou que diferentes concentrações do extrato de *E. leiocarpa* afetaram significativamente a germinação das espécies de plantas daninhas testadas. A partir da concentração mínima de 2,5%, observou-se uma redução acentuada nas taxas de redução de germinação para todas

as espécies, acima de 90%, com o efeito inibitório intensificando-se à medida que as concentrações aumentaram (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de redução de germinação (TRG) de *D. insularis*, *B. pilosa* e *E. heterophylla* submetidas a diferentes extratos etanólicos de *E. leiocarpa*.

| Tratamentos | | Taxa de Redução de Germinação % | | |
|---------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|----------|
| Extratos% | <i>D. insularis</i> | <i>B. pilosa</i> | <i>E. heterophylla</i> | Médias |
| 0 | 0,00 bA | 0,00 bA | 0,00 cA | 0,00 c |
| 2,5 | 97,00 aA | 95,00 aA | 80,25 bB | 91,75 b |
| 5 | 100,00 aA | 100,00 aA | 87,25 baB | 95,75 ba |
| 10 | 100,00 aA | 100,00 aA | 98,00 aA | 99,33 a |
| 20 | 100,00 aA | 100,00 aA | 95,75 aA | 98,58 ba |
| Médias | 80,00 A | 79,00 A | 72,25 B | |
| CV (%) | 8,82 | | | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ANOVA – Taxa de redução de germinação: Extratos: $F = 484,30$, $p < 0,0001$; Espécies: $F = 7,68$, $p = 0,0013$; Extratos x Espécies: $F = 1,69$, $p = 0,1272$.

Fonte: Autoral (2025).

Euphorbia heterophylla apresentou o maior índice de germinação (G%) na concentração de 0%, evidenciando seu potencial de colonização, seguida de *D. insularis*. A aplicação dos extratos etanólicos de *E. leiocarpa* resultou em uma redução estatisticamente significativa na germinação de todas as espécies, mesmo na menor concentração testada (2,5%). A germinação de *E. heterophylla* foi reduzida em 80% nessa concentração, enquanto *B. pilosa* e *D. insularis* sofreram reduções de 95%, atingindo-se 100% de inibição em concentrações superiores.

Ademais, as médias indicam que, apesar de *E. heterophylla* ter apresentado a maior taxa de germinação no controle, esta espécie exibiu a menor redução percentual em resposta aos extratos, o que corrobora seu alto potencial de colonização.

Do ponto de vista econômico e de manejo, a utilização da concentração de 2,5% revela-se a mais interessante, pois emprega menor quantidade de extrato ativo, mesmo sendo uma concentração intermediária, proporciona um controle superior a 80% para todas as espécies, similar aos padrões de eficácia exigidos para o registro de herbicidas (Nunes et al., 2020).

A espécie arbórea *E. leiocarpa* demonstra notáveis efeitos alelopáticos, comumente observados em seus habitats naturais, onde tende a formar agrupamentos monoespecíficos. Esse padrão espacial sugere um efeito supressor seletivo sobre espécies vegetais próximas. Geralmente, apenas indivíduos de *E. leiocarpa* conseguem crescer com sucesso sob seu dossel, possivelmente devido à liberação de compostos aleloquímicos (SOUZA et al., 2010). Pesquisas identificaram uma variedade de compostos bioativos em suas folhas, como ácidos fenólicos, taninos, flavonoides e terpenóides, que contribuem para seu forte impacto inibitório no crescimento de plantas daninhas (HORST, 2012; JANUÁRIO et al., 2009; BACHHETI et al., 2020; MOTMAINNA et al., 2021; SOLTYS et al., 2013).

A inibição da germinação e emergência de plantas daninhas por aleloquímicos ocorre através de múltiplos mecanismos. Os principais locais de ação dos aleloquímicos incluem a divisão celular, a supressão da produção de fitormônios essenciais como auxinas e giberelinas (críticos para a germinação), a interrupção da síntese proteica, a interferência na respiração mitocondrial (particularmente em condições de escuridão), a inibição da absorção de íons, o comprometimento da síntese de ATP e os mecanismos impulsionados por espécies reativas de oxigênio.

Além disso, o grau de inibição da germinação de sementes por aleloquímicos é fortemente influenciado pelo tamanho das sementes das espécies de plantas daninhas alvo. Espécies de sementes pequenas, como *D. insularis* e *B. pilosa*, exibem maior sensibilidade aos aleloquímicos em comparação com espécies de sementes maiores, como *E. heterophylla*, principalmente porque espécies de sementes pequenas geralmente têm menos reservas para sustentar a respiração das plântulas durante períodos de déficits de carbono induzidos por estresse, tornando-as mais suscetíveis a reduções desproporcionais no crescimento no início da estação (MONQUERO, 2014).

Embora os estudos sobre extratos e lixiviados de *E. leiocarpa* sejam relativamente escassos, os achados existentes, como os de Souza et al. (2010), destacam seus substanciais efeitos fitotóxicos, incluindo a inibição significativa da germinação de *L. sativa*. Esses resultados sublinham o potencial de *E. leiocarpa* como um agente herbicida natural, devido à presença de potentes aleloquímicos em suas folhas. Contudo, o estudo conduzido por Souza et al. (2010) utilizou exclusivamente extrato aquoso, o que pode ter privilegiado moléculas alelopáticas hidrossolúveis, ao passo que atenuou a influência de compostos lipossolúveis, como terpenóides. Isso

reforça a relevância dos extratos etanólicos na avaliação da atividade alelopática, pois esses extratos são capazes de solubilizar uma gama diferente de aleloquímicos, proporcionando uma análise mais abrangente do potencial alelopático da espécie.

Quanto à influência do potencial hidrogeniônico dos extratos na germinação, observou-se que o pH destes não exerceu uma influência significativa. Os valores de pH situaram-se entre 5,67 e 5,82, não apresentando impedimentos à germinação, em comparação com o pH da água utilizada nos testes de controle, que foi de 6,2. Portanto, não se mostrou necessário conduzir um experimento controle para avaliar a influência do pH dos extratos na germinação das sementes testadas, uma vez que os valores encontrados não exercem uma influência significativa nesse processo (CORREIA; CENTURION; ALVES, 2005; SOUZA; ZAMPAR, 2016).

5.2. Bioensaios de crescimento com *B. pilosa*, *D. insularis* e *E. heterophylla*

As plântulas de todas as espécies avaliadas apresentaram um desenvolvimento inicial satisfatório, fornecendo uma base robusta para as análises subsequentes sobre o potencial alelopático dos extratos de *Esenbeckia leiocarpa*. A Tabela 3 demonstra uma redução significativa no comprimento da radícula das plântulas, com o efeito sendo mais pronunciado à medida que as concentrações dos extratos aumentaram. Notou-se que *D. insularis* foi a espécie mais sensível, apresentando uma redução de 69% no comprimento da radícula quando comparado o controle (0%) com a maior concentração (20%). Em contrapartida, *B. pilosa* mostrou a menor sensibilidade, embora não significativa estatisticamente, com uma redução de 43% nas mesmas condições. Estes resultados estão em concordância com os achados de Souza et al. (2010), que observaram efeitos adversos semelhantes no desenvolvimento radicular de *Lactuca sativa* quando exposta aos extratos de *E. leiocarpa* (Tabela 3).

Tabela 3. Taxa de redução do comprimento da raiz de *D. insularis*, *B. pilosa* e *E. heterophylla* sob diferentes concentrações de extratos de *E. leiocarpa*.

| Tratamentos | Taxa de Redução de Comprimento da Raiz % | | | |
|-------------|--|------------------|------------------------|--------|
| Extratos% | <i>D. insularis</i> | <i>B. pilosa</i> | <i>E. heterophylla</i> | Médias |
| 0 | 0,00 cA | 0,00 cA | 0,00 bA | 0,00 b |

| | | | | |
|---------------|--------------|-----------|----------|---------|
| 2,5 | 64,75 aA | 40,50 bB | 58,75 aA | 54,67 a |
| 5 | 59,00 baA | 55,25 baA | 58,50 aA | 57,58 a |
| 10 | 44,50 bB | 65,50 aA | 58,75 aA | 56,25 a |
| 20 | 68,50 aA | 56,00 baA | 62,50 aA | 62,34 a |
| Médias | 47,35 A | 43,45 A | 47,70 A | |
| CV (%) | 17,59 | | | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ANOVA –Taxa de redução do comprimento da raiz: Extratos: $F = 122,71$, $p < 0,0001$; Espécies: $F = 1,68$, $p = 0,1963$; Extratos x Espécies: $F = 4,39$, $p = 0,0006$.

Fonte: Autoral (2025).

Ao analisar a redução média do comprimento radicular, observa-se que o extrato demonstrou eficiência para todas as espécies, não apresentando seletividade nessa variável, com reduções superiores a 50% em média.

A redução do comprimento radicular diminui significativamente a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas daninhas, comprometendo seu vigor e potencial de crescimento. Um sistema radicular robusto é fundamental para a competitividade, pois amplia a área de exploração do solo (Liebman & Mohler, 2001; Smith et al., 2010; Massenssini et al., 2014). Com raízes mais curtas, a planta torna-se menos eficiente na captação de recursos, o que se traduz em menor taxa de sobrevivência e estabelecimento sob condições de competição com as culturas (Rizzardi et al., 2001). Essa limitação radicular, portanto, atenua os danos potenciais às culturas, uma vez que plantas daninhas menos vigorosas causam menor estresse competitivo (Rizzardi et al., 2001).

A fitotoxicidade foi mais acentuada em *D. insularis*, com índices superiores a 75% já nas concentrações mais baixas dos extratos e uma média de 85% em concentrações acima de 5%. *B. pilosa* e *E. heterophylla* apresentaram um aumento progressivo na fitotoxicidade com o aumento das concentrações, atingindo 100% na maior concentração (Tabela 4).

Tabela 4. Fitotoxicidade de *D. insularis*, *B. pilosa* e *E. heterophylla* submetidas a diferentes extratos de *E. leiocarpa*.

| Tratamentos | Fitotoxicidade % | | | Médias |
|-------------|------------------|---------------------|------------------|--------|
| | Extratos% | <i>D. insularis</i> | <i>B. pilosa</i> | |
| 0 | 0,00 bA | 0,00 cA | 0,00 cA | 0,00 d |

| | | | | |
|---------------|--------------|----------|-----------|---------|
| 2,5 | 77,50 aA | 48,75 bB | 52,25 bB | 59,58 c |
| 5 | 86,25 aA | 53,75 bB | 43,75 bB | 61,25 c |
| 10 | 83,75 aA | 80,00 aA | 83,75 aA | 82,50 b |
| 20 | 98,75 aA | 98,75 aA | 100,00 aA | 99,17 a |
| Médias | 69,25 A | 56,25 B | 56,00 B | |
| CV (%) | 18,60 | | | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ANOVA – Fitotoxicidade: Extratos: $F = 133,59$, $p < 0,0001$; Espécies: $F = 9,06$, $p = 0,0005$; Extratos x Espécies: $F = 3,60$, $p = 0,0026$.

Fonte: Autoral (2025).

Para *B. pilosa*, as concentrações de 2,5% e 5% resultaram em toxicidade moderada, com índices de 49% e 54%, respectivamente. Nas concentrações de 10% e 20%, os efeitos foram severos, com 80% e 99% de fitotoxicidade, respectivamente. *E. heterophylla* exibiu toxicidade variando de moderada a severa, com índices de 52%, 44%, 84% e 100% nas concentrações de 2,5%, 5%, 10% e 20%, respectivamente.

À medida que a dose aumenta, a fitotoxicidade se intensifica e impacta todas as espécies; contudo, *D. insularis* demonstra ser particularmente suscetível ao composto.

Em *D. insularis*, foi observado um fenômeno único de degradação radicular, com as raízes tornando-se gelatinosas e mostrando sinais de decomposição a partir de concentrações de 5%, um efeito não observado nas outras espécies testadas. Este fenômeno pode ser indicativo de uma toxicidade mais pronunciada, provavelmente associada às interações entre os compostos bioativos do extrato e as estruturas celulares da raiz de *D. insularis*, resultando em danos celulares significativos.

Os dados indicam que os aleloquímicos presentes nos extratos afetam o desenvolvimento inicial das sementes, inibindo a produção de raízes e causando fitotoxicidade. Souza Fioresi et al. (2021) confirmaram os efeitos alelopáticos do extrato hexânico de *Solanum pimpinellifolium* L. sobre a germinação e o crescimento inicial de *Bidens pilosa*, evidenciando que o efeito aumenta proporcionalmente à concentração do extrato.

Barbosa et al. (2018) demonstraram que os extratos de *S. bicolor*, *Dolichos lablab* e *Pachyrhizus* sp. exercem efeito alelopático sobre a germinação e o desenvolvimento das plantas daninhas *B. pilosa*, *E. heterophylla* e *D. insularis*. Os

resultados indicaram que a intensidade dos efeitos alelopáticos dos extratos aumenta com a concentração e varia de acordo com a espécie de planta daninha avaliada, corroborando os achados deste estudo.

Nekonom et al. (2014) relataram que os extratos de diversas plantas prejudicaram significativamente a germinação, comprimento das plântulas e peso de *A. retroflexus* de maneira dose-dependente, corroborando a variabilidade dos impactos dos extratos de *E. leiocarpa* no crescimento das plântulas e na fitotoxicidade entre diferentes espécies e concentrações. Assim, os achados ressaltam a heterogeneidade dos efeitos dos extratos de *E. leiocarpa* em plântulas de diferentes espécies, evidenciando o potencial diferencial de fitotoxicidade e inibição do crescimento em função das dosagens utilizadas.

A alelopatia é um campo de estudo promissor, mas a compreensão dos mecanismos de ação dos extratos de *E. leiocarpa* demanda investigações mais aprofundadas. Embora os dados apresentados sejam preliminares, o estudo evidencia de forma clara o potencial desses extratos para controlar o crescimento de plantas daninhas, apontando para resultados que justificam e direcionam futuras pesquisas voltadas para o manejo integrado e sustentável dessas espécies.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que o extrato etanólico da parte aérea de *E. leiocarpa* inibiu estatisticamente a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plantas daninhas *D. insularis*, *B. pilosa* e *E. heterophylla*. Tais achados evidenciam o potencial do extrato como agente bioherbicida, especialmente para aplicações pré-emergentes, e sugerem perspectivas promissoras para estudos posteriores, incluindo a realização da cromatografia do extrato para identificação dos compostos ativos e testes em condições de campo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, T. et al. Ways to use allelopathic potential for weed management: A review. **Int. J. Food Sci. Agric**, v. 5, p. 492–498, 2021.
- ACI, M. M. et al. Emerging Trends in Allelopathy: A Genetic Perspective for Sustainable Agriculture. **Agronomy**, v. 12, n. 9, p. 2043, 2022.
- ADEGAS, F. S. et al. **Diagnóstico da existência de *Digitaria insularis* resistente ao herbicida glyphosate no sul do Brasil**. Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). **Anais...In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010 ...**, 2010.
- ADEGAS, F. S. et al. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. 2017.
- ALBRECHT, L. P.; MISSIO, R. F. Manejo de cultivos transgênicos. 2013.
- ALBUQUERQUE, J. DE et al. Interferência de plantas daninhas sobre a produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*). **Planta daninha**, v. 26, p. 279–289, 2008.
- ALCÁNTARA-DE LA CRUZ, R. et al. Herbicide resistance in Brazil: Status, impacts, and future challenges. Em: **Pests, weeds and diseases in agricultural crop and animal husbandry production**. [s.l.] IntechOpen London, UK, 2020. p. 1–25.
- ALMEIDA-BEZERRA, J. W. et al. Alelopatia? Não sei! Nunca Vi! Eu só ouço falar! **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e19391210873–e19391210873, 2020.
- ANAYA, A. L. Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. **Critical reviews in plant sciences**, v. 18, n. 6, p. 697–739, 1999.
- BACHHETI, A. et al. Plant allelochemicals and their various applications. **Co-evolution of secondary metabolites**, p. 441–465, 2020.
- BAJWA, A. A.; MAHAJAN, G.; CHAUHAN, B. S. Nonconventional weed management strategies for modern agriculture. **Weed science**, v. 63, n. 4, p. 723–747, 2015.
- BARBIERI, G. F. et al. Seed germination and initial growth of quinoa seedlings under water and salt stress. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 15, p. 153–161, 2019.
- BARBOSA, J. DE A. et al. Alelopatia de extratos de adubos verdes no controle de plantas daninhas. 2018.
- BARBOSA, J. DE A. et al. Allelopathy of aqueous *Pachyrhizus erosus* L. extracts on *Euphorbia heterophylla* and *Bidens pilosa*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 59–65, mar. 2018.
- BARROSO, G. M. et al. Spatio-Temporal Distribution of *Digitaria insularis*: Risk Analysis of Areas with Potential for Selection of Glyphosate-Resistant Biotypes in Eucalyptus Crops in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 18, p. 10405, jan. 2021.

BARUA, S. et al. Weed Dynamics And Productivity Of Maize (*Zea Mays* L.) Under Pre And Post Emergence Application Of Herbicide. **Journal of Plant Development Sciences**, v. 11, n. 7, p. 409–413, 2019.

BAZANELLA, R. H. DE O. **Perda de produtividade na cultura do milho (*Zea mays*) pela competição de diferentes densidades de capim-amargoso (*Digitaria Insularis*)**. B.S. thesis—[s.l.] Agronomia, 2021.

BORSOI, Augustinho; MIORANZA, Matheus Junior; MUNHAK, Marcos Vinicius. Interferência da matocompetição nos parâmetros produtivos da soja. **Revista Cultivando o Saber**, p. 12-21, 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regra de Análise de Sementes. 2009.

BRIGHENTI, A. M.; DE OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. 2011.

BRONDANI, A. O Brasil transgênico. **AgroANALYSIS**, v. 39, n. 10, p. 26–28, 2019.

CÂNDIDO, A. C. S. et al. Potencial alelopático de lixiviados das folhas de plantas invasoras pelo método sanduiche. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 3, 2010.

CARMO, F. M. DA S.; BORGES, E. E. DE L. E; TAKAKI, M. Alelopatia de extratos aquosos de canela-sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer). **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, p. 697–705, set. 2007.

CARVALHO, S. J. P. DE; CHRISTOFFOLETI, P. J. Influência da luz e da temperatura na germinação de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. **Bragantia**, v. 66, p. 527–533, 2007.

CARVALHO, F. P. et al. Alocação de matéria seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, p. 373–382, 2011.

CASAGRANDE, H. et al. Eficácia da mistura do herbicida 2, 4-D+ aminopiralde com adição de adjuvantes no controle de plantas daninhas e sensibilidade do capim-braquiária (*Urochloa decumbens*). **Ciência e Cultura**, v. 2, p. 9, 2007.

CASTILHO, J.; FORTI, V. A.; MONQUERO, P. A. Biology and non-chemical management of *Spermacoce verticillata* and *Spermacoce densiflora*. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 37, n. 2, p. 103–112, 2022.

CHIOCHETTA, Andre Gustavo; TISCHER, Josiele Salet. EFEITO ALELOPÁTICO E CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO AQUOSO DE AZEVÉM (*LOLIUM MULTIFLORUM*) SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE TRIGO (*Triticum aestivum*). **Anais de Agronomia**, v. 2, n. 1, p. 95-105, 2022.

COIMBRA, A.; FERREIRA, S.; DUARTE, A. P. Biological properties of *Thymus zygis* essential oil with emphasis on antimicrobial activity and food application. **Food Chemistry**, p. 133370, 2022.

CORREIA, N. M.; CENTURION, M. A. P. DA C.; ALVES, P. L. DA C. A. Influência de extratos aquosos de sorgo sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de soja. **Ciência Rural**, v. 35, p. 498–503, 2005.

DA REDAÇÃO-AGROANALYSIS, E. Sindicato nacional da indústria de produtos para defesa vegetal. **AgroANALYSIS**, v. 42, n. 8, p. 41–44, 2022.

DA SILVA, L. M.; MATILDE, M. E. N.; DA SILVA, F. J. Potencial alelopático e fitoquímico do extrato aquoso de *Curcuma longa* L.: contribuições para a produção de bioherbicidas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 23, n. 2, p. 184–195, 2024.

DA SILVA, Monalisa Alves Diniz et al. Alelopatia de espécies da Caatinga. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e57610414328-e57610414328, 2021.

DAMALAS, C. A.; KOUTROUBAS, S. D. Farmers' Exposure to Pesticides: Toxicity Types and Ways of Prevention. **Toxics**, v. 4, n. 1, p. 1, mar. 2016.

DE ARAÚJO, J. R.; SARAIVA, T. S. Metodologia de Pesquisa Utilizadas em Experimentos Envolvendo Alelopatia: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias**, v. 3, n. 1, p. 72–88, 2018.

DE CONTI, D.; FRANCO, E. T. EFEITO ALELOPÁTICO DE EXTRATOS AQUOSOS DE *Casearia sylvestris* Sw. NA GERMINAÇÃO E NO CRESCIMENTO DE *Lactuca sativa* L. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 2, 2011.

DE LIZ, R. et al. Activation of Human Neutrophils by the Anti-Inflammatory Mediator *Esenbeckia leiocarpa* Leads to Atypical Apoptosis. **Mediators of Inflammation**, v. 2012, p. e198382, 8 maio 2012.

DE MELO, M. S. C. et al. Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 2, p. 195–203, 2012.

DE SOUZA FIORESI, Raiane et al. Efeito alelopático de *Solanum pimpinellifolium* L. sobre a germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* e *Bidens pilosa*. **Scientia Plena**, v. 17, n. 6, 2021.

DELLE MONACHE, F. et al. Isopentenylindole Derivatives and Other Components of *Esenbeckia leiocarpa*. **ChemInform**, v. 21, n. 5, p. no-no, 1990.

DU, Hao; XIE, Yuqun; WANG, Jun. Sensores de nanomateriais para detecção de herbicidas usando técnicas eletroquímicas e aplicações prospectivas. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 135, p. 116178, 2021.

EM BIODIVERSIDADE, M. **Efeitos do extrato etanólico e frações purificadas de *Esenbeckia leiocarpa* Engl.(Rutaceae) na atividade anticolinesterásica e no comportamento de animais**. PhD Thesis—[s.l.] Instituto de Botânica, 2010.

EMBRAPA. **Agrotóxicos no Brasil**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil>>. Acesso em: 11 jan. 2023.

- EMBRAPA. **Transgênicos - Portal Embrapa.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-transgenicos/sobre-o-tema>>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista brasileira de fisiologia vegetal**, v. 12, n. 1, p. 175–204, 2000.
- FERREIRA, D. A. T. et al. Efeito alelopático do extrato aquoso de *Eucalyptus citriodora* na germinação de sementes de *Lactuca sativa*. I **Seminário de biodiversidade de Agrossistemas Amazônicos, Alta Floresta–MT**, 2013.
- FONTES, J. R. A.; GONÇALVES, J. R. P. Manejo integrado de plantas daninhas. 2009.
- FRANÇA, A. C. et al. Mycorrhizal fungi increase coffee plants competitiveness against *Bidens pilosa* interference. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, p. 132–139, jun. 2016.
- FUJII, Y. Screening and future exploitation of allelopathic plants as alternative herbicides with special reference to hairy vetch. **Journal of crop production**, v. 4, n. 2, p. 257–275, 2001.
- FUJII, Y. et al. Assessment method for allelopathic effect from leaf litter leachates. **Weed Biology and Management**, v. 4, n. 1, p. 19–23, 2004.
- GAZZIERO, D. L. P. et al. **Efeitos da convivência do capim-amargoso na produtividade da soja.** Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). **Anais...In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, 28., 2012, Campo ..., 2012.
- GAZZIERO, D. L. P. et al. Estimating Yield Losses in Soybean Due to Sourgrass Interference. **Planta Daninha**, v. 37, 10 jun. 2019.
- GIANESSI, L. P. The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. **Pest Management Science**, v. 69, n. 10, p. 1099–1105, 2013.
- GONÇALVES NETTO, A. et al. Monitoring and baseline of glyphosate-resistant sourgrass in the main soybean growing regions of Brazil. **Rev. Ciênc. Agrovet.(Online)**, p. 196–205, 2022.
- HASAN, M. et al. Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. **Plants**, v. 10, n. 6, p. 1212, jun. 2021.
- HEAP, I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest management science**, v. 70, n. 9, p. 1306–1315, 2014.
- HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database.** Ian Heap, 2025. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 11 jan. 2025
- HENZEL, Ana Beatriz Devantier. **Avaliação de extratos de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray sobre a germinação e desenvolvimento inicial de *Lactuca***

sativa L. e *Cucumis sativus* L. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

HERRERA-COLLADO, A.-I. POTENCIALES APLICACIONES DE LA ALELOPATIA EN AGROECOSISTEMAS. UNA INNOVADORA FUENTE DE BIOHERBICIDAS. 2023.

HORST, H. Investigação fitoquímica e biológica da espécie: *Esenbeckia leiocarpa* Engl. 2012.

HOSSAIN, M. M. Recent perspective of herbicide: Review of demand and adoption in world agriculture. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 13, n. 1, p. 19–30, 2015.

IARC. **Some Organophosphate Insecticides and Herbicides**. [s.l.] International Agency for Research on Cancer, 2017. v. 112

INOUE, M. H. et al. Potencial alelopático de *Annona crassiflora*: efeitos sobre plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 28, p. 488–498, 2010.

JABRAN, K. et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop protection**, v. 72, p. 57–65, 2015.

JANUÁRIO, A. H. et al. Alcaloides β -indolopiridoquinazolinicos de *Esenbeckia grandiflora* MART.(Rutaceae). **Química Nova**, v. 32, p. 2034–2038, 2009.

KHAMARE, Yuvraj; CHEN, Jianjun; MARBLE, Stephen Christopher. Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1034649, 2022.

KHAN, A. M. et al. Germination and seed persistence of *Amaranthus retroflexus* and *Amaranthus viridis*: Two emerging weeds in Australian cotton and other summer crops. **Plos one**, v. 17, n. 2, p. e0263798, 2022.

LIEBMAN, M. A. T. T.; MOHLER, CHARLES L. Weeds and the soil environment. **Ecological management of agricultural weeds**, p. 210-268, 2001.

LOVATTO, Patrícia B. **Fitoprotetores bot nicos: Uni o de saberes e tecnologias para transi o agroecol gica**. Editora Appris, 2021.

MACIAS, F. A. et al. Allelopathy—a natural alternative for weed control. **Pest Management Science: Formerly Pesticide Science**, v. 63, n. 4, p. 327–348, 2007.

MAC IAS, F. A.; MEJ IAS, F. J.; MOLINILLO, J. M. Recent advances in allelopathy for weed control: from knowledge to applications. **Pest management science**, v. 75, n. 9, p. 2413–2436, 2019.

MARASCHIN-SILVA, F.; AQ ILA, M. E. A. Potencial alelopático de espécies nativas na germina o e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L.(Asteraceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 61–69, 2006.

- MARTINS, C. C. et al. Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de barbatimão. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 421–427, 2011.
- MARTINS, C. C. et al. Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de ipê-amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 533–540, 2012.
- MASSESSINI, A. M. et al. Soil microorganisms and their role in the interactions between weeds and crops. **Planta Daninha**, v. 32, p. 873-884, 2014.
- MATA, R. et al. Phytotoxic compounds from *Esenbeckia yaxhoob*. **Phytochemistry**, v. 49, n. 2, p. 441–449, 1998.
- MEENA, R. S. et al. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review. **Land**, v. 9, n. 2, p. 34, 2020.
- MEROTTO JR, A. et al. Herbicide use history and perspective in South America. **Advances in Weed Science**, v. 40, 2022.
- MESCHEDE, D. K. et al. Período crítico de interferência de *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja sob baixa densidade de semeadura. **Planta Daninha**, v. 20, p. 381–387, dez. 2002.
- MESNAGE, R.; BERNAY, B.; SÉRALINI, G.-E. Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity. **Toxicology**, ToxMix 2011: International Toxicology of Mixtures Conference. A selection of papers. v. 313, n. 2, p. 122–128, 16 nov. 2013.
- MESNAGE, R.; SZÉKÁCS, A.; ZALLER, J. G. Herbicides: Brief history, agricultural use, and potential alternatives for weed control. Em: **Herbicides**. [s.l.] Elsevier, 2021. p. 1–20.
- MIRZAEI, Mahnaz et al. Efeitos e mitigação da má qualidade da água no desempenho do herbicida: Uma revisão. **Weed Research**, v. 63, n. 3, p. 139-152, 2023.
- MOLINARI, Franco A. et al. A Weed population dynamics model for integrated weed-management decision-making support: *euphorbia davidii* subsp. in soybean crops as a simulation study. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2369, 2022.
- MONACO, T. J.; WELLER, S. C.; ASHTON, F. M. **Weed science: principles and practices**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2002.
- MONQUERO, P. A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. 1. ed. São Carlos: RiMa Editora, 2014.
- MORI, A. S.; LERTZMAN, K. P.; GUSTAFSSON, L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 1, p. 12–27, 2017.
- MOTMAINNA, M. et al. Assessment of allelopathic compounds to develop new natural herbicides: A review. **Allelopath. J**, v. 52, p. 21–40, 2021.

NAKATSU, T. et al. Isolation, structure, and synthesis of novel 4-quinolinone alkaloids from *Esenbeckia leiocarpa*. **Journal of Natural Products**, v. 53, n. 6, p. 1508–1513, 1990.

NARWAL, S. S. **Allelopathy in crop production**. [s.l.] Scientific publishers, 2012.

NASCIMENTO, Everton Farias do et al. Agricultura sustentável uma forma de mudar o mundo. 2022.

NEKONAM, M. S. et al. Assessment of some medicinal plants for their allelopathic potential against redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). **Journal of plant protection research**, 2014.

NGOROYEMOTO, N. et al. Effect of organic biostimulants on the growth and biochemical composition of *Amaranthus hybridus* L. **South African Journal of Botany**, v. 124, p. 87–93, 1 ago. 2019.

NOVAKOSKI, A. DOS S. et al. Allelopathic potential of plant aqueous mixtures on *Euphorbia heterophylla*. **Agriculture**, v. 10, n. 10, p. 449, 2020.

NUNES, J. J. et al. RESPOSTA DE BIÓTIPOS DE CAPIM PÉ-DE-GALINHA (*Eleusine indica*) AOS HERBICIDAS GLIFOSATO, CLETODIM E HALOXIFOPE-P-METÁLICO. 2020.

OLIVEIRA, A. K. M.; PEREIRA, K. C. L.; MULLER, J. A. I.; MATIAS, R. Análise fitoquímica e potencial alelopático das cascas de *Pouteria ramiflora* na germinação de alface. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 32, n. 1, p. 41-47, 2014.

OLIVEIRA, J. DA S. et al. Aqueous plant extracts in the control of *Bidens pilosa* L. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, p. e0532016, 2019.

OLIVEIRA, J. S. et al. Avaliação de extratos das espécies *Helianthus annuus*, *Brachiariabrizanthae* *Sorghum bicolor* com potencial alelopático para uso como herbicida natural. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, p. 379–384, 2015.

OLIVEIRA, S. C. C.; FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. Efeito alelopático de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil.(Solanaceae) na germinação e crescimento de *Sesamum indicum* L.(Pedaliaceae) sob diferentes temperaturas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, p. 401–406, 2004.

OVIEDO MOYA, M. Progresos en la investigación del uso de alelopáticos en la agricultura. 14 out. 2020.

PANDAWA AGRI INDONESIA. **The price of glyphosate has skyrocketed, what's the matter?** **Pandawa Agri Indonesia**, 21 jul. 2021. Disponível em: <<https://pandawaid.com/the-price-of-glyphosate-has-skyrocketed/>>. Acesso em: 21 fev. 2023

PEILLEX, C.; PELLETIER, M. The impact and toxicity of glyphosate and glyphosate-based herbicides on health and immunity. **Journal of Immunotoxicology**, v. 17, n. 1, p. 163–174, 2020.

- PIRES, N. DE M. et al. Atividade alelopática da leucena sobre espécies de plantas daninhas. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 61–65, mar. 2001.
- PIRES, N. DE M.; OLIVEIRA, V. R. Alelopatia. 2011.
- POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annual review of plant biology**, v. 61, p. 317–347, 2010.
- POZZATTI, P. et al. Esenbeckia leiocarpa Engl. inhibits inflammation in a carrageenan-induced murine model of pleurisy. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 63, n. 8, p. 1091–1102, 1 ago. 2011.
- POZZATTI, P. Estudo do efeito anti-inflamatório da Esenbeckia leiocarpa Engl. no modelo da pleurisia induzida pela carragenina em camundongos. 2013.
- PROBST, R. Q.; FIORIN, P. B. G. **Impactos do herbicida à base de glifosato no sistema reprodutor e endócrino: uma revisão sistemática**. Congresso Internacional em Saúde. **Anais...**2021.
- QUEIROZ, I. H. B.; VIANI, R. A. G.; SEBASTIANI, R. Plântulas de espécies arbóreas na floresta ciliar do rio Mogi Guaçu, Pirassununga, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 48, 13 dez. 2021.
- REIGOSA, M. et al. Allelopathic research in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, p. 629–646, 2013.
- RIEMENS, M. et al. An integrated weed management framework: a pan-European perspective. **European Journal of Agronomy**, v. 133, p. 126443, 2022.
- RIZZARDI, M. A. et al. Competição por recursos do solo entre ervas daninhas e culturas. **Ciência Rural**, v. 31, p. 707-714, 2001.
- RIZZARDI, M. A. et al. Perdas de rendimento de grãos de soja causadas por interferência de picão-preto e guanxuma. **Ciência Rural**, v. 33, p. 621–627, 2003.
- RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETTO, D. Nível de dano econômico como critério para controle de picão-preto em soja. **Planta daninha**, v. 21, p. 273–282, 2003.
- ROSE, M. T. et al. Impact of herbicides on soil biology and function. **Advances in agronomy**, v. 136, p. 133–220, 2016.
- SANTOS, F. P. DOS. A alelopatia em ecossistemas agrícolas. 22 set. 2021.
- SANTOS, J. B.; CURY, J. P. Picão-preto: uma planta daninha especial em solos tropicais. **Planta Daninha**, v. 29, p. 1159–1172, 2011.
- SCAVO, A.; MAUROMICALE, G. Crop allelopathy for sustainable weed management in agroecosystems: Knowing the present with a view to the future. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2104, 2021.

SEOANE, C. E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M. Efeitos da fragmentação florestal na estrutura genética de populações de *Esenbeckia leiocarpa* Engl.(Guarantã). **Scientia forestalis**, n. 57, p. 123–139, 2000.

SHARMA, G. et al. Crop diversification for improved weed management: A review. **Agriculture**, v. 11, n. 5, p. 461, 2021.

SILVA, C. B. DA. Determinação do potencial alelopático e composição química de extratos vegetais da espécie *Croton heliotropiifolius* Kunth no controle de *Bidens pilosa* (L.) e *Digitaria insularis* (L.) Fedde. 27 abr. 2018.

SILVA, E. M. et al. Planejamento fatorial no estudo da fitotoxicidade de extratos de plantas em sementes de alface. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 2437–2458, 2021.

SINDICADO NACIONAL DA INDUSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA VEGETAL. SINDIVEG. Mercado de defensivos agrícolas no Brasil. Available at: <https://sindiveg.org/mercado> total. Accessed on: Jan 14, 2025.

SINGH, M. K.; SINGH, N. K.; SINGH, S. P. Impact of herbicide use on soil microorganisms. Em: **Plant Responses to Soil Pollution**. [s.l.] Springer, 2020. p. 179–194.

SMITH, Richard G.; MORTENSEN, David A.; RYAN, Matthew R. A new hypothesis for the functional role of diversity in mediating resource pools and weed–crop competition in agroecosystems. **Weed Research**, v. 50, n. 1, p. 37-48, 2010.

SOLTYS, D. et al. Allelochemicals as bioherbicides—Present and perspectives. Em: **Herbicides-Current research and case studies in use**. [s.l.] IntechOpen, 2013.

SOUZA, E.; ZAMPAR, R. POTENCIAL ALELOPÁTICO DE ESPÉCIES VEGETAIS EXÓTICAS DO PARQUE ESTADUAL LAGO AZUL, CAMPO MOURÃO-PR. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 11, n. 2, p. 61–70, 2016.

SOUZA, F. M. et al. Allelopathic potential of bark and leaves of *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, p. 169–174, mar. 2010.

SOUZA FILHO, A. DA S.; ALVES, S. DE M. Potencial alelopático de plantas de acapu (*Vouacapoua americana*): efeitos sobre plantas daninhas de pastagens. **Planta Daninha**, v. 18, p. 435–441, 2000.

SOUZA FILHO, A. DA S.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. DA S. Metodologias empregadas em estudos de avaliação da atividade alelopática em condições de laboratório: revisão crítica. **Planta daninha**, v. 28, p. 689–697, 2010.

SOUZA FILHO, A. P. S. Methodological proposal for analysis of synergism and potentializing effects among allelochemicals. **Planta Daninha**, v. 24, p. 607–610, 2006.

SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Potencial alelopático de forrageiras tropicais: efeitos sobre invasoras de pastagens. **Planta Daninha**, v. 15, p. 53–60, 1997.

SWANTON, C. J. et al. Integrated weed management: knowledge-based weed management systems. **Weed Science**, v. 56, n. 1, p. 168–172, 2008.

TAIZ, L. et al. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6**. [s.l.] Artmed Editora, 2021.

VATS, S. Herbicides: History, Classification and Genetic Manipulation of Plants for Herbicide Resistance. Em: LICHTFOUSE, E. (Ed.). **Sustainable Agriculture Reviews: Volume 15**. Sustainable Agriculture Reviews. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 153–192.

VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R. Sobrevivência em viveiro de mudas de espécies nativas retiradas da regeneração natural de remanescente florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1067–1075, 2007.

VOLL, E. et al. **A dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo**. [s.l.] Embrapa Soja Londrina, 2005. v. 260

WANG, M. et al. Occurrence and removal of triazine herbicides during wastewater treatment processes and their environmental impact on aquatic life. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 8, p. 4557, 2022.

WIDGER, T. **Glyphosate regulation and sovereignty politics around the world**. **Anthropology Today**Wiley Online Library, , 2021.

WOHLLEBEN, P. **Das geheime Leben der Bäume: was sie fühlen, wie sie kommunizieren-die Entdeckung einer verborgenen Welt**. [s.l.] Ludwig, 2015.

YADAV, N. et al. Phytochemical constituents and ethnopharmacological properties of *Ageratum conyzoides* L. **Phytotherapy Research**, v. 33, n. 9, p. 2163–2178, 2019.

YAMAGUSHI, M. Q.; GUSMAN, G. S.; VESTENA, S. Efeito alelopático de extratos aquosos de *Eucalyptus globulus* Labill. e de *Casearia sylvestris* Sw. sobre espécies cultivadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1361–1374, 2011.