

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DOS EXTRATOS POLARES DE
Struthanthus marginatus (DESR.) BLUME SOBRE SEMENTES DE
ALFACE E PICÃO-PRETO**

ALLELOPATHIC POTENTIAL OF POLAR EXTRACTS OF *Struthanthus marginatus*
(DESR.) BLUME ON LETTUCE AND HAIRY BEGGARTICKS SEEDS

POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LOS EXTRACTOS POLARES DE *Struthanthus*
marginatus (DESR.) BLUME SOBRE SEMILLAS DE LECHUGA Y AMOR SECO

Juliana Baptista Simões¹, Marya Luisa Cherigath de Paula², Mariana Muniz Gomes³

DOI: 10.54899/dcs.v23i89.5030

Recibido: 23/03/2026 | Aceptado: 26/03/2026 | Publicación en línea: 25/04/2026.

RESUMO

O uso intensivo de herbicidas sintéticos tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis baseadas na biodiversidade vegetal. Este trabalho objetivou avaliar o potencial alelopático de extratos polares dos galhos de *Struthanthus marginatus* sobre a germinação e o crescimento inicial de *Lactuca sativa* e *Bidens pilosa*. Foram preparados extratos hidroetanólico (70%) e metanólico, testados nas concentrações de 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 e 20,0% (m/v). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições. Os resultados demonstraram que o extrato metanólico apresentou maior fitotoxicidade, promovendo inibição severa e linear na germinação de *L. sativa* e supressão total da germinação de *B. pilosa* na concentração de 10%. O comprimento radicular mostrou-se o parâmetro mais sensível, sendo drasticamente reduzido nas maiores concentrações. Observou-se o fenômeno de hormese nas concentrações de 7,5% e 10%, onde ocorreu estímulo compensatório no alongamento radicular e na velocidade de germinação antes do limiar de toxicidade. A prospecção fitoquímica confirmou a presença de taninos, flavonoides e saponinas, compostos associados à atividade inibitória. Conclui-se que a *S. marginatus* possui potencial estratégico para o desenvolvimento de bio-herbicidas, sendo o solvente metanol o mais eficaz na extração de aleloquímicos ativos.

Palavras-chave: Fitotoxicidade. Taninos. Biocontrole. Metabolismo Secundário. Hormese.

¹ Doutora em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Itaperuna, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: julianabapsimoes@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1676-3558>

² Técnica em Química, Instituto Federal Fluminense (IFF), Itaperuna, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: maryacherigath@gmail.com

³ Licenciada em Química, Instituto Federal Fluminense (IFF), Itaperuna, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: g.mariana@gsuite.iff.edu.br

ABSTRACT

The intensive use of synthetic herbicides has driven the search for sustainable alternatives based on plant biodiversity. This study aimed to evaluate the allelopathic potential of polar branch extracts from *Struthanthus marginatus* on the germination and initial growth of *Lactuca sativa* and *Bidens pilosa*. Hydroethanolic (70%) and methanolic extracts were prepared and tested at concentrations of 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, and 20.0% (w/v). The experimental design was completely randomized with three replicates. Results demonstrated that the methanolic extract showed higher phytotoxicity, promoting severe and linear inhibition of *L. sativa* germination and total suppression of *B. pilosa* germination at the 10% concentration. Root length proved to be the most sensitive parameter, being drastically reduced at higher concentrations. The phenomenon of hormesis was observed at concentrations of 7.5% and 10%, where a compensatory stimulus occurred in root elongation and germination speed before the toxicity threshold. Phytochemical screening confirmed the presence of tannins, flavonoids, and saponins, compounds associated with inhibitory activity. It is concluded that *S. marginatus* holds strategic potential for the development of bio-herbicides, with methanol being the most effective solvent for extracting active allelochemicals.

Keywords: Phytotoxicity. Tannins. Biocontrol. *Bidens pilosa*. Hormesis.

RESUMEN

El uso intensivo de herbicidas sintéticos ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles basadas en la biodiversidad vegetal. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el potencial alelopático de extractos polares de las ramas de *Struthanthus marginatus* sobre la germinación y el crecimiento inicial de *Lactuca sativa* y *Bidens pilosa*. Se prepararon extractos hidroetanólico (70%) y metanólico, probados en concentraciones de 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 y 20,0% (m/v). El diseño experimental fue completamente aleatorizado con tres repeticiones. Los resultados demostraron que el extracto metanólico presentó mayor fitotoxicidad, promoviendo una inhibición severa y lineal en la germinación de *L. sativa* y la supresión total de la germinación de *B. pilosa* en la concentración del 10%. El longitud radicular resultó ser el parámetro más sensible, reduciéndose drásticamente en las mayores concentraciones. Se observó el fenómeno de hormesis en las concentraciones de 7,5% y 10%, donde ocurrió un estímulo compensatorio en el alargamiento radicular y en la velocidad de germinación antes del umbral de toxicidad. La prospección fitoquímica confirmó la presencia de taninos, flavonoides y saponinas, compuestos asociados a la actividad inhibitoria. Se concluye que *S. marginatus* posee potencial estratégico para el desarrollo de bioherbicidas, siendo el metanol el solvente más eficaz en la extracción de aleloquímicos activos.

Palabras clave: Fitotoxicidad. Taninos. Biocontrol. *Bidens pilosa*. Hormesis.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O Brasil abriga uma vasta biodiversidade vegetal ainda subestimada pela ciência. Na Mata Atlântica, estima-se a existência de 20 mil espécies de plantas, das quais 8 mil são endêmicas. Contudo, restam apenas 27% de sua cobertura original, tornando urgente o estudo e a conservação dessas espécies, frequentemente empregadas na medicina popular (Leitão, 2013), dados mais recentes do MapBiomas (2024) apontam que a vegetação nativa preservada é de apenas 24%, sendo que apenas 12% consistem em formações florestais maduras (Fundação SOS Mata Atlântica, 2025). Nesse cenário, destaca-se a *Struthanthus marginatus* (Desr.) G. Don (Loranthaceae), uma planta hemiparásita amplamente distribuída no território nacional (Caires; Dettke, 2020). Popularmente conhecida como erva-de-passarinho, ela interage com plantas lenhosas através do haustório, órgão que penetra o sistema vascular da hospedeira para a absorção de água e minerais (Auer, 1996).

Devido ao seu caráter parasita, a *S. marginatus* (Figura 1) apresenta alta probabilidade de sintetizar metabólitos secundários com potencial herbicida ou atividade alelopática significativa (Kraus et al., 2012). A alelopatia refere-se à capacidade de um vegetal interferir no desenvolvimento da vegetação adjacente via aleloquímicos — sinalizadores que afetam processos vitais como germinação, fotossíntese e síntese proteica (Mano, 2006). Para avaliar tal potencial, variáveis como a germinação de espécies-alvo (ex: *Lactuca sativa* L. e *Bidens pilosa*) são comumente utilizadas em bioensaios (Wang et al., 2022; Zhang et al., 2022).

Figura 1

A espécie *Struthanthus marginatus*.



Fonte: <https://identify.plantnet.org/> (2026)

Diante dos impactos ambientais e sanitários causados pelo uso excessivo de agrotóxicos na agricultura convencional (Cecchin et al., 2022), a descoberta de aleloquímicos surge como uma alternativa sustentável para o controle de invasoras (Wang et al., 2022; Zhang et al., 2022). Tais substâncias podem viabilizar práticas agrícolas resilientes e alinhadas à preservação dos ecossistemas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial alelopático de extratos polares (etanol/água e metanol) dos galhos de *S. marginatus* sobre a germinação e o crescimento inicial de sementes de *L. sativa* (alface) e *B. pilosa* (picão-preto).

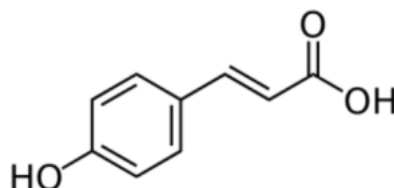
REFERENCIAL TEÓRICO

Os aleloquímicos podem ser classificados como fitoquímicos, quanto a sua rota biossintética dentro do organismo vivo. Os fitoquímicos são sintetizados pelo metabolismo secundário de plantas e fungos. Diferente das plantas, animais possuem um metabolismo focado predominantemente em funções vitais primárias, enquanto o metabolismo secundário vegetal é a principal fonte de moléculas para interação ecológica (Cannell, 1998). Assim, os aleloquímicos são metabólitos secundários responsáveis pela interação indivíduo-indivíduo, ou seja, são sinalizadores químicos responsáveis pela interação entre a espécie que produz o sinal químico e espécies que estão ao redor da mesma.

Como exemplos de aleloquímicos podemos citar ácido *p*-cumárico (Figura 2) isolado de *Brachiaria humidicola* por Souza Filho et al. (2005) que vem sendo utilizado para inibir a germinação de plantas invasoras.

Figura 2

Estrutura química ácido *p*-cumárico um aleloquímico isolado dos extratos vegetais de *B. humidicola*.



A espécie *S. marginatus* pertence à família Loranthaceae, cujos membros são categorizados como hemiparasitas ou holoparasitas, dependendo de sua atuação nos tecidos condutores da hospedeira: xilema ou floema, respectivamente (Nickrent, 2001). As hemiparasitas realizam fotossíntese, mas dependem da absorção de seiva bruta para seu suprimento hídrico e mineral. O gênero *Struthanthus*, considerado o mais expressivo entre os 74 gêneros da família, compreende cerca de 60 espécies na América Tropical, com forte ocorrência no Brasil (40 espécies) (Kraus, 2012). As plantas da família Loranthaceae também são reconhecidas popularmente como portadoras de propriedades medicinais, despertando os pesquisadores para o estudo de algumas espécies promissoras farmacologicamente (Fernández *et al.*, 1998).

Freire, et al. (2011) e Borges, et al. (2018) demonstraram a ação gastroprotetora do extrato aquoso e do extrato hidroalcoólico obtido das folhas de *S. marginatus* em ratos, sendo que durante o estudo nenhum sinal de toxicidade foi observado. Altos níveis de oligoelementos, incluindo silício, manganês, ferro, cobre e zinco, foram descritos para *S. marginatus* no trabalho de Freire et al., 2011.

Alves, et al. (2007) estudaram os extratos etanólicos das folhas e galhos de *S. marginatus* e detectaram a presença de ácidos orgânicos, açúcares redutores, catequinas, esteróides e triterpenóides, flavanonas, flavonas, flavonóis, xantonas e saponinas. Utilizando a técnica de cromatografia gasosa acoplada com espectrometria de massa (CG-EM) alguns desses compostos foram identificados, nas folhas: β -D-glicopirranose e os ácidos etanodióico, butanodióico, propanóico, tetrônico e D-glicurônico; nos galhos: os ácidos tetradecanóico, ácido hexadecanóico e o ácido octadecanóico.

O exame fitoquímico do extrato hexânico das partes aéreas levou ao isolamento/identificação de alguns esteroides comuns sitosterol e estigmasterol, além dos triterpenos lupeol e α/β -amirina (Leitão et al., 2013).

Os extratos das folhas e galhos em hexano e metanol das folhas também foram estudados por De Siqueira et al. (2016) sendo encontrado por CG-EM, nonacosano; β -amirina; lupenona; lupeol nos galhos e α -amirina nas folhas (Tabela 1).

Tabela 1

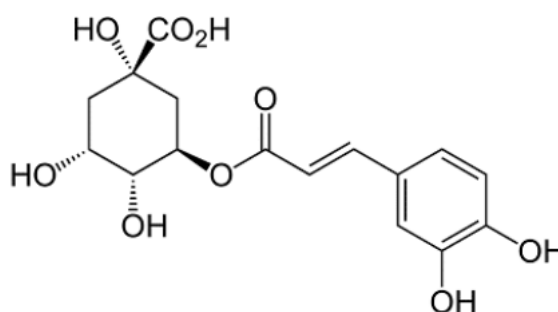
Estudos Fitoquímicos de S. marginatus

Autor	Parte da Planta	Principais Compostos Identificados
Alves et al. (2007)	Folhas e Galhos	Catequinas, Flavonoides, Ácidos Orgânicos
Leitão et al. (2013)	Folhas e Galhos	Sitosterol e Estigmasterol
De Siqueira et al. (2016)	Folhas e Galhos	α/β -amirina, Lupeol, Lupenona
Borges et al. (2012)	Folhas	Ácido Clorogênico (Majoritário)

Borges et al., (2012) estudaram o extrato aquoso obtido das folhas de *S. marginatus*, e identificaram o ácido clorogênico (**Figura 3**) como composto majoritário por cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas (CL-EM) e comparação com padrão comercial.

Figura 3

Fórmula estrutural do ácido clorogênico.



O potencial alelopático de *S. marginatus* foi investigado em pesquisas anteriores, nos quais o extrato clorofórmico demonstrou capacidade de inibir o desenvolvimento inicial de *L. sativa* e *Cucumis sativus* (Simões et al., 2020). Todavia, faz-se necessário investigar frações de maior polaridade e o efeito sobre espécies invasoras, visando ampliar as possibilidades de uso como bioherbicida.

METODOLOGIA

Coleta e Identificação do Material Vegetal

O material vegetal foi coletado em 01 de setembro de 2022, no município de Itaperuna - RJ. As exsiccatas foram preparadas conforme Mori et al. (1989), identificadas e depositadas no Herbário VIC da Universidade Federal de Viçosa (Registro VIC55639).

Preparo dos Extratos

Os galhos foram separados das folhas, higienizados e secos em estufa a 60 °C por 72 horas. Após a secagem, o material vegetal foi triturado. A extração foi realizada a partir de 602,23 g de massa seca para o extrato hidroetanólico (etanol 70% v/v) e 537,51 g para o extrato metanólico (Sigma-Aldrich). As misturas foram submetidas a banho ultrassônico por 60 min e mantidas em repouso por sete dias em ambiente protegido da luz. Posteriormente, os extratos foram filtrados e os solventes evaporados em banho-maria a 65 °C. Os rendimentos obtidos foram de 20,4% (extrato hidroetanólico) e 25% (extrato metanólico) em relação à massa seca inicial.

Bioensaios Alelopáticos

A partir dos extratos brutos, foram preparadas soluções nas concentrações de 2,5%, 5%, 7,5%, 10% e 20% (m/v) em água destilada. O delineamento experimental utilizou placas de Petri esterilizadas em autoclave, forradas com papel germitest. Em cada placa (unidade experimental), foram distribuídas 20 sementes das plantas-alvo (*L. sativa* e *B. pilosa*), com três repetições por tratamento, além do controle negativo (água destilada). Todo o procedimento foi realizado em fluxo laminar. As placas foram mantidas em câmara de germinação a 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas, por 10 dias. O desenvolvimento foi monitorado diariamente e, ao final do período, aferiu-se o comprimento da parte radicular.

Prospecção Fitoquímica Preliminar

A prospecção fitoquímica qualitativa dos extratos de *S. marginatus* foi realizada com o objetivo de identificar as principais classes de metabólitos secundários associados ao potencial alelopático. Os testes foram baseados em métodos de coloração e precipitação, conforme protocolos adaptados de Matos (2009). Para a detecção de taninos, alíquotas do extrato foram acondicionadas em tubos de ensaio, seguidas da adição de três gotas de solução alcoólica de cloreto férrico (FeCl_3) a 1%, a formação de precipitado azul-esverdeado indica a presença de taninos. A detecção de saponinas foi realizada através do teste de formação de espuma. Em um tubo de ensaio, foram adicionados 2 mL de extrato, 2 mL de clorofórmio e 5 mL de água destilada. A solução foi submetida à agitação vigorosa por 3 minutos. A persistência de espuma estável após o repouso foi considerada como resultado positivo para saponinas. Para detecção de flavonoides optou-se pela reação de Shinoda, na qual adicionou-se a 5 mL do extrato, 1 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado. Em seguida, foram adicionados 200 mg de magnésio metálico. A ocorrência de efervescência e mudança de cor na solução é utilizada como marcador para a presença de flavonoides. Para a detecção de alcalóides, utilizou-se o reagente de Wagner. Inicialmente, 2 mL do extrato foram tratados com 15 gotas de hidróxido de sódio (NaOH) a 1%, seguidos da adição de 2 mL de água e 2 mL de clorofórmio para partição. Após a separação das fases, adicionou-se 15 gotas de HCl e 3 gotas do reagente de Wagner. A formação de um precipitado rosa-avermelhado confirma a presença de alcaloides.

Análise Estatística

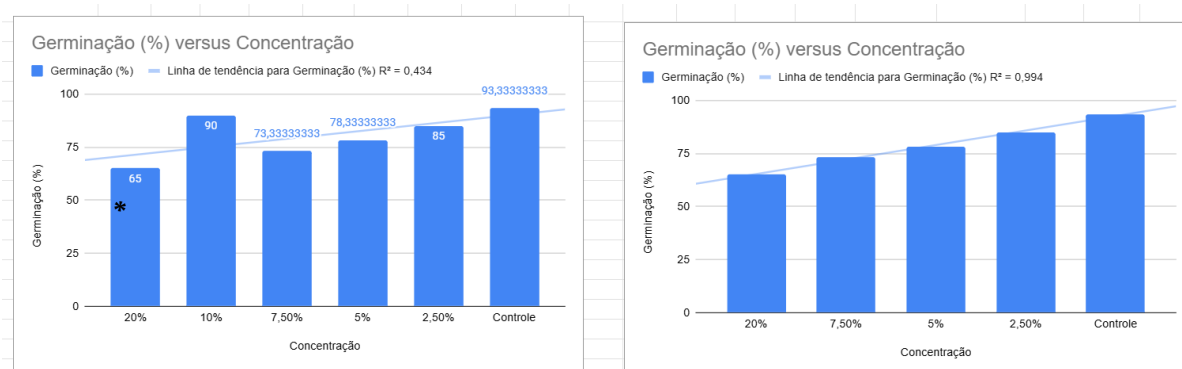
Os dados foram organizados e analisados no software Jamovi (versão 2.3.38), utilizando o teste *t* de Student para comparar as médias de germinação e crescimento radicular de cada tratamento em relação ao grupo controle ($p < 0,05$). A partir dos dados foi possível calcular a porcentagem de germinação (PG %), a velocidade média de germinação (VMG germinação/dia) e o comprimento radicular médio (cm) de cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a germinação das sementes de *L. sativa* apresentou uma tendência de inibição linear em resposta ao aumento das concentrações do extrato hidroetanólico, com exceção da concentração de 10% (90% de germinação). Este ponto apresentou um comportamento fora da curva esperada para o bioensaio. Desconsiderando-se este valor atípico, nota-se uma correlação negativa entre a dose e o percentual germinativo, confirmando o potencial alelopático dose-dependente de *S. marginatus* ($R = 0,994$). O comportamento anômalo em 10% pode ser atribuído a variações intrínsecas do material biológico ou a uma possível resposta de hormese em limiares específicos, embora a tendência geral do extrato seja inibitória (**Figura 4**).

Figura 4

Gráficos da PG de *L. sativa* versus a concentração do extrato etanol/água de *S. marginatus*.



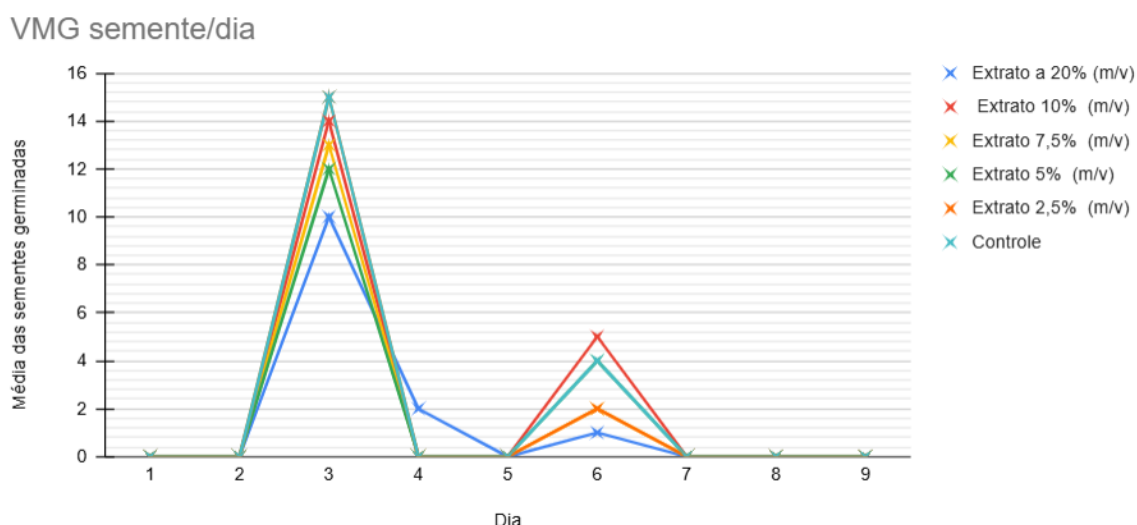
* Estatisticamente diferente do controle (teste t ; $p < 0,05$).

Segundo Calabrese (2014), a hormese é uma resposta adaptativa caracterizada pela estimulação biológica em baixas doses e inibição em doses elevadas. No caso da *S. marginatus*, concentrações intermediárias podem ativar mecanismos de defesa ou sinalização celular que favorecem a protrusão radicular, antes que o efeito deletério dos aleloquímicos prevaleça em concentrações superiores.

Em todas as concentrações incluindo o branco, a maior parte da germinação ocorreu no 3º dia. No 6º dia, curiosamente, houve um novo grupo de sementes germinando. Isso pode indicar uma dormência parcial ou uma resposta ao ambiente de incubação (**Figura 5**).

Figura 5

Velocidade média de germinação de L. sativa do extrato etanol/água de S. marginatus.



Observou-se que na concentração de 20%, além da menor taxa final de germinação (65%), as sementes apresentaram o menor vigor, com um deslocamento da curva de germinação em relação ao controle. Esse fenômeno de retardamento é característico da ação de compostos fenólicos que, conforme descrito por Gatti et al. (2004), a presença de compostos fenólicos pode reduzir a velocidade de mobilização de reservas energéticas, como o amido, retardando a disponibilização de açúcares simples para o embrião, o que resulta em um VMG significativamente menor (Tabela 2). Quanto à dinâmica de germinação, os valores de VMG revelaram um comportamento complexo do extrato hidroetanólico. Observou-se que as concentrações de 2,5% a 7,5% apresentaram velocidades superiores ao controle, o que sugere um efeito hormético inicial, onde doses baixas de aleloquímicos estimulam a germinação (Ferreira e Aquila, 2000). No entanto, a concentração de 10% rompeu essa tendência, apresentando valores de VMG (0,1885) e germinação final (90%) muito próximos ao controle. Este ponto atípico, se desconsiderado, revela uma tendência de estabilização da velocidade até o tratamento de concentração 20% (m/v). A análise conjunta indica que, embora algumas sementes consigam manter a velocidade de germinação em altas doses, a viabilidade total é seriamente comprometida pela interferência dos compostos fenólicos na mobilização de reservas (Gatti et al., 2004)."

Tabela 2

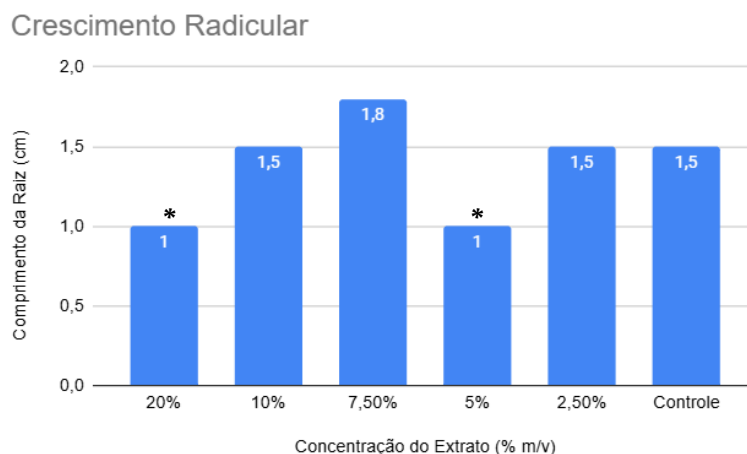
Resultados do extrato hidroetanólico de S. marginatus sobre a germinação das sementes de L.sativa.

Tratamento/ Concentração	Sementes germinadas	VMG, n_i é o número de sementes no dia t_i	calculado por $\frac{\sum n_i}{\sum (n_i t_i)}$	Percepção Biológica
Controle	19	0,1901		Vigor de referência.
2,5% (m/v)	17	0,2275		Aumento de velocidade (Possível Hormese)
5,0% (m/v)	16	0,2228		Velocidade ainda superior ao controle.
7,5% (m/v)	15	0,2237		Estabilização da velocidade.
10,0% (m/v)	19	0,1885		Praticamente igual ao controle (Ponto fora da curva).
20,0% (m/v)	13	0,2333		Estabilização da velocidade.

Quanto ao crescimento radicular, os resultados demonstraram que este parâmetro foi o mais afetado pela ação de *S. marginatus* (**Figura 6**). Observou-se uma inibição dose-dependente a partir da concentração de 7,5% a 20%, onde o comprimento médio das raízes foi de apenas 1,0 cm, valor significativamente inferior ao controle (1,5 cm). Essa sensibilidade acentuada da radícula ocorre porque as raízes são os primeiros órgãos a entrar em contato direto com os compostos fitotóxicos no substrato, além de possuírem tecidos meristemáticos com alta taxa de divisão celular, os quais são alvos preferenciais de moléculas inibidoras como os ácidos fenólicos (Ferreira e Aquila, 2000). Por outro lado, o incremento observado na dose de 7,5% (1,8 cm) caracteriza uma resposta hormética, indicando que, embora o extrato possua potencial herbicida em doses elevadas, concentrações intermediárias podem atuar como estímulo fisiológico momentâneo antes do limiar de toxicidade, efeito, também, observado na porcentagem de germinação da concentração de 10%.

Figura 6

Gráficos do crescimento radicular de *L. sativa* versus a concentração do extrato etanol/água de *S. marginatus*.



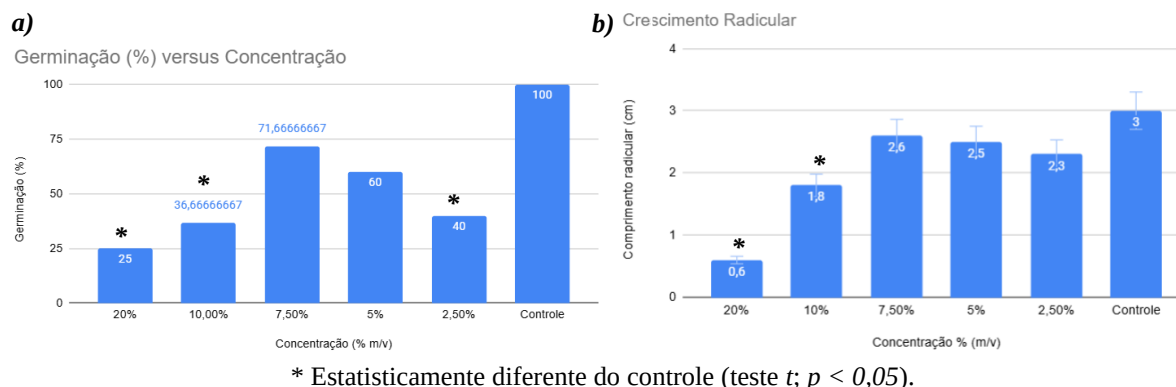
* Estatisticamente diferente do controle (teste *t*; $p < 0,05$).

A análise comparativa entre os parâmetros avaliados revelou que o crescimento radicular de *L. sativa* apresentou maior sensibilidade ao extrato de *S. marginatus* do que o percentual final de germinação. Enquanto a germinação na maior concentração (20%) foi reduzida a 65%, o comprimento da raiz sofreu uma inibição mais severa, apresentando médias inferiores às do controle (Figura 6). Esse padrão é amplamente reportado na literatura de alelopatia (Ferreira e Aquila, 2000), visto que a germinação é um processo robusto que depende essencialmente de reservas pré-existentes na semente, enquanto o alongamento radicular envolve intensa divisão celular e atividade metabólica contínua, sendo mais vulnerável à ação direta de aleloquímicos.

Diferente da tendência linear de inibição esperada para o extrato metanólico, observou-se um comportamento singular na concentração de 7,5%. Neste tratamento, tanto o percentual de germinação (71,6%) quanto o comprimento radicular (~2,6 cm) superaram os valores das doses inferiores (2,5% e 5%) (Figura 7a e b).

Figura 7

a) Gráficos da PG de *L. sativa* versus a concentração do extrato metanólico de *S. marginatus*. b) Gráficos do crescimento radicular versus a concentração do extrato metanólico de *S. marginatus*.

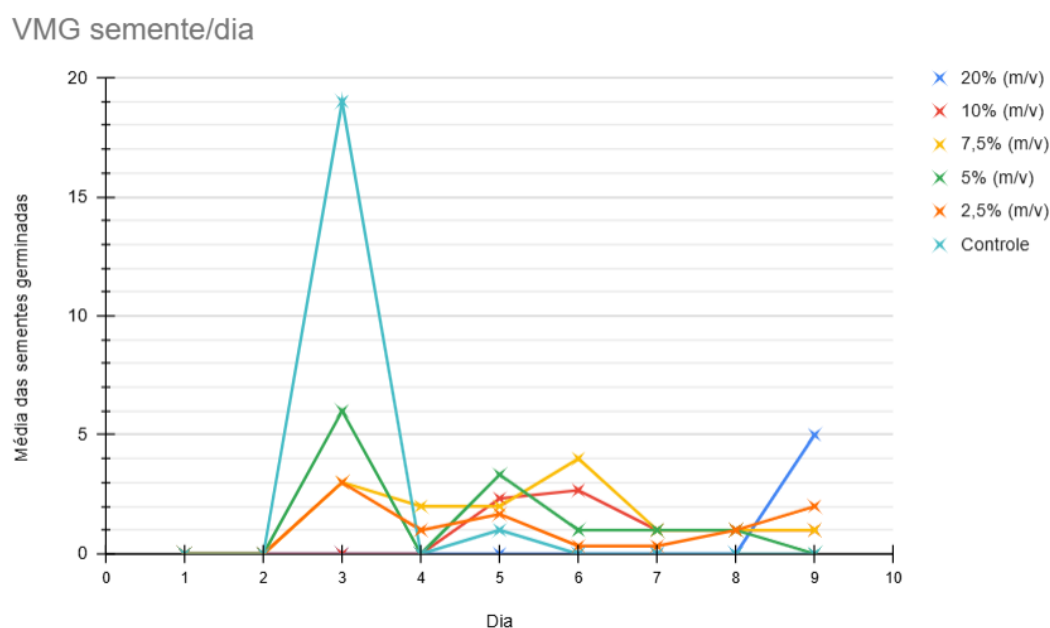


Esse fenômeno caracteriza uma resposta hormética bifásica, onde um aumento específico na concentração do agente estressor engatilha uma supercompensação metabólica. Conforme sugerido por Belz (2007), a planta pode apresentar picos de crescimento em doses subletais como uma estratégia adaptativa de escape ao estresse químico, antes que a concentração atinja o limiar de toxicidade severa observado em 20%

Ao comparar os solventes extratores, observa-se que o extrato metanólico de *S. marginatus* apresentou uma fitotoxicidade significativamente superior ao extrato hidroetanólico. Enquanto o segundo permitiu respostas horméticas em baixas concentrações, o extrato metanólico impôs uma inibição severa e precoce tanto na germinação quanto no crescimento radicular (Figura 7). Esse contraste sugere que o metanol foi capaz de solubilizar compostos aleloquímicos de maior atividade biológica ou em maior quantidade, como fenóis livres e flavonoides, que impediram a retomada do metabolismo embrionário já nas primeiras 72 horas (3 dias) de experimento, como pode ser confirmado pela análise da VMG (Figura 8, Tabela 3).

Figura 8

*Velocidade média de germinação de *L. sativa* do extrato metanólico de *S. marginatus*.*



O controle apresentou um pico de germinação no 3º dia, seguido do extrato metanólico a 5% e a 2,5%, sendo que o número de sementes germinadas nesse dia foi significativamente menor, enquanto 19 sementes germinaram no controle, 6 e 4 sementes germinaram no extratos. O atraso drástico na germinação das sementes tratadas com o extrato metanólico (início apenas após o 5º dia nas concentrações 7,5% a 20% (m/v) reforça a eficiência deste solvente na extração de moléculas candidatas ao desenvolvimento de herbicidas naturais.

A análise comparativa entre os solventes revela perfis de fitotoxicidade distintos sobre a germinação de *L. sativa*. Enquanto o extrato hidroetanólico (Tabela 2) demonstrou a manutenção do vigor e um estímulo na velocidade de germinação (Hormese) em quase todas as concentrações, o extrato metanólico (Tabela 3) impôs um estresse imediato e severo ao metabolismo das sementes.

Tabela 3

Resultados do extrato metanólico de S. marginatus sobre a germinação das sementes de L. sativa.

Tratamento/ Concentração	Sementes germinadas	VMG (Velocidade Média)	Percepção Biológica
Controle	20	0,3214	Vigor de referência.
2,5% (m/v)	8	0,1980	Forte inibição inicial da germinação e velocidade.
5,0% (m/v)	12	0,2202	Recuperação parcial da germinação (Hormese de Germinação).
7,5% (m/v)	14	0,1806	Estabilização da germinação com redução de velocidade.
10,0% (m/v)	7	0,1505	Inibição severa do vigor e da viabilidade.
20,0% (m/v)	5	0,1120	Ponto de maior toxicidade (menor germinação e velocidade).

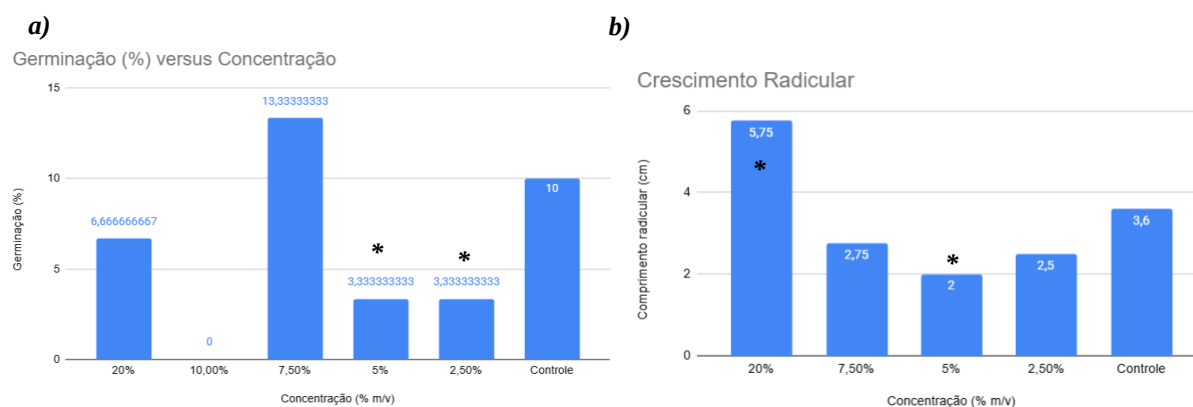
Diferente do comportamento esperado de inibição linear, o extrato metanólico apresentou uma dinâmica complexa: na concentração mais baixa (2,5%), a germinação foi drasticamente reduzida para 40%, com uma VMG de 0,1980. Nas concentrações intermediárias de 5,0% e 7,5%, observou-se uma discreta recuperação na taxa de germinação (atingindo 71,67%), o que sugere uma resposta plástica da semente na tentativa de superar a toxicidade dos aleloquímicos, embora a velocidade de germinação tenha permanecido significativamente inferior ao controle (0,3214).

A partir da concentração de 10%, o extrato metanólico retomou sua trajetória inibitória, culminando em apenas 25% de germinação na dose de 20%. Esta oscilação nos dados do metanol, reforça que o metanol possui uma capacidade superior de extrair metabólitos secundários mais agressivos (como os taninos e saponinas detectados na fitoquímica), que interferem de forma mais profunda na viabilidade do embrião. Assim, enquanto o solvente hidroetanólico preserva o vigor, o metanol atua como um agente disruptor, tornando-se o solvente de escolha para o isolamento de substâncias com potencial bio-herbicida.

Diferente dos resultados observados para *L. sativa*, as sementes de *B. pilosa* apresentaram baixa taxa de germinação basal, inclusive no grupo controle (inferior a 10%). Esse comportamento é atribuído à dormência inata da espécie, uma estratégia evolutiva comum em plantas daninhas para garantir a persistência do banco de sementes no solo. Todavia, a aplicação do extrato metanólico de *S. marginatus* demonstrou um efeito inibitório marcante, com supressão total da germinação na concentração de 10% (Figura 9). É relevante notar que, embora a germinação tenha sido esparsa, as plântulas sobreviventes na dose de 20% exibiram um alongamento radicular atípico (5,75 cm), superando o controle (3,6 cm) (Figura 9).

Figura 9

a) Gráficos da PG de *B. pilosa* versus a concentração do extrato metanólico de *S. marginatus*. **b)** Gráficos do crescimento radicular de *B. Pilosa* versus a concentração do extrato metanólico de *S. marginatus*.



* Estatisticamente diferente do controle (teste *t*; $p < 0,05$).

Esse fenômeno sugere que os aleloquímicos da espécie podem interagir com os mecanismos de dormência da *B. pilosa*, atuando ora como inibidores severos, ora como gatilhos de supercompensação metabólica (hormese), conforme discutido por Belz (2007).

A comparação entre os solventes revelou que o extrato metanólico possui um potencial fitotóxico superior ao hidroetanólico, embora ambos tenham influenciado o desenvolvimento de *L. sativa*. O extrato metanólico causou uma inibição severa, reduzindo a germinação para apenas 25% na maior concentração (20%). Em contraste, o extrato hidroetanólico mostrou-se menos agressivo, mantendo 65% de germinação na mesma dose.

O crescimento radicular foi o parâmetro mais sensível da atividade alelopática. No extrato metanólico, a redução foi drástica, caindo de 3,0 cm (controle) para 1,0 cm. Ambos os extratos apresentaram o fenômeno de hormese nas concentrações de 7,5% e 10%. Para o tratamento com o extrato metanólico, o comprimento das raízes foi superior ao das doses imediatamente inferiores e, no caso do extrato hidroetanólico, superou inclusive o grupo controle (1,8 cm vs. 1,5 cm). No extrato metanólico, o efeito hormético também foi acompanhado por um pico de germinação (71,6%), sugerindo um estímulo compensatório da plântula frente ao estresse químico nessa dosagem específica.

Diferente do observado por Simões et al. (2020) com o extrato clorofórmico, que atua predominantemente através de compostos apolares, os resultados atuais com o extrato metanólico revelaram uma toxicidade mais acentuada. Essa divergência pode ser atribuída à alta

concentração de taninos identificada na fração metanólica, sugerindo que, embora os compostos apolares possuam atividade, são as frações polares de *S. marginatus* que detêm os principais agentes supressores da germinação

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que os extratos dos galhos de *S. marginatus* possuem uma atividade alelopática significativa, com efeitos que variam de acordo com o solvente extrator e a espécie-alvo. O extrato metanólico revelou-se o agente fitotóxico mais potente, promovendo uma inibição severa e linear na germinação de *L. sativa* e alcançando a supressão total da germinação da espécie invasora *B. pilosa* na concentração de 10%.

O parâmetro de comprimento radicular confirmou-se como o indicador mais sensível ao estresse aleloquímico em todos os bioensaios. Observou-se que tanto o extrato hidroetanólico quanto o metanólico induzem respostas de hormese em concentrações intermédias (especialmente a 7,5%), caracterizadas por um estímulo compensatório no alongamento das raízes antes do limiar de toxicidade severa. Este comportamento bifásico sublinha a complexidade das interações moleculares dos compostos presentes na espécie.

Em relação ao potencial herbicida, a eficácia demonstrada sobre a *B. pilosa* (Picão-preto), mesmo perante a dormência natural da espécie, indica que a *S. marginatus* é uma fonte promissora de bioativos para o controlo de plantas daninhas.

Conclui-se que a extração via metanol otimiza a recuperação de aleloquímicos fundamentais, sugerindo que esta espécie da biodiversidade da Mata Atlântica detém um potencial estratégico para o desenvolvimento de novos bio-herbicidas sustentáveis, contribuindo para a redução da dependência de defensivos sintéticos na agricultura contemporânea.

REFERÊNCIAS

- Auer, C. G. J. (1996). O gênero *Struthanthus* Mart. (Loranthaceae) no Estado do Paraná: morfologia e anatomia foliar e do haustório [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná]. Repositório Institucional UFPR.
- Belz, R. G. (2007). Allelopathy in crop/weed interactions — An update. *Pest Management Science*, 63(4), 308–326. <https://doi.org/10.1002/ps.1320>

- Borges, A. C. R., Freire, S. M. F., Silva, R. V., & Silva, S. N. (2012). *HPLC-DAD-MS/MS study of phenolic compounds from *Struthanthus marginatus* (Desr.) G. Don leaves*. International Journal of Analytical Chemistry, 2012, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2012/624383>
- Borges, M. O. R., Freire, S. M. F., Silva, R. V., Morais, T. M. F., Ribeiro, R. M., Silva, S. N., Cartágenes, M. S. S., Abreu, I. C., Ribeiro, M. N. S., Centeno, D. C., Torres, L. M. B., & Borges, A. C. R. (2018). *Protective effect of *Struthanthus marginatus* on ethanol-induced gastric damage in mice*. Pharmacognosy Research, 10(2), 165–170. https://doi.org/10.4103/pr.pr_76_17
- Cannell, R. J. P. (Ed.). (1998). *Natural Products Isolation*. Humana Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-59259-256-2>
- Caires, C. S., & Dettke, L. S. (2020). *Loranthaceae*. In *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB14702>
- Calabrese, E. J. (2014). Hormesis: A fundamental concept in biology. *Microbial Cell*, 1(5), 145–149. <https://doi.org/10.15698/mic2014.05.145>
- Cecchin, D., Schmatz, R., & Spanevello, R. M. (2022). *Impactos dos agrotóxicos no meio ambiente e na saúde humana: uma revisão integrativa*. Research, Society and Development, 11(3), e33311326496. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26496>
- De Siqueira, P. M., Borges, M. O. R., Freire, S. M. F., Silva, R. V., & Silva, S. N. (2016). Estudo fitoquímico e avaliação da toxicidade de *Struthanthus marginatus* (Desr.) G. Don (Loranthaceae). *Revista Virtual de Química*, 8(6), 1928–1939. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20160136>
- Fernández, T., Wagner, M. L., Varela, B. G., Alvarez, E., Ricco, R. A., Gurni, A. A., & Hajos, S. E. (1998). Pharmacognostic study of Loranthaceae species: *Phrygilanthus acutifolius* and *Struthanthus orbicularis*. *Journal of Ethnopharmacology*, 62(1), 25–34. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(98\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(98)00041-3)
- Ferreira, A. G., & Aquila, M. E. A. (2000). Allelopathy: An area of the chemical ecology emerging in Brazil. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 12(3), 175–204. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202000000300007>
- Freire, S. M. F., Borges, M. O. R., Ferreira, T. S., Cartágenes, M. S. S., Ribeiro, M. N. S., Abreu, I. C., & Borges, A. C. R. (2011). *Antiulcerogenic activity of the extracts of *Struthanthus marginatus**. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 21(6), 1081–1087. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000155>
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. *Relatório Anual de Desmatamento da Mata Atlântica: período 2023-2024*. São Paulo: SOS Mata Atlântica, 2024. Disponível em: <https://www.sosma.org.br>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- Gatti, A. B., Perez, S. C. J. G. A., & Ferreira, A. G. (2004). Aspectos fitoquímicos e efeitos alelopáticos de extratos de *Artemisia mendozana* DC. sobre a germinação e o crescimento

- inicial de sementes de alface. *Revista Brasileira de Botânica*, 27(4), 729–734. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000400013>
- Leitão, G. G. (2013). *A biodiversidade brasileira como fonte de novos fármacos*. In C. M. Rezende (Ed.), *Biodiversidade e Saúde* (pp. 15–32). Fiocruz.
- Leitão, G. G., Freire, S. M. F., Borges, M. O. R., & Ribeiro, M. N. S. (2013). *Phytochemical study of Struthanthus marginatus (Desr.) G. Don*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 24(4), 582–588.
- Kraus, W., Maile, R., Vogler, B., & Wray, V. (2012). Allelopathy and natural herbicides. In *Bioactive Compounds from Plants* (pp. 115–130). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470513989.ch8>.
- Mano, A. R. M. (2006). *Potencial alelopático de extratos de plantas medicinais na germinação e no crescimento inicial de alface (Lactuca sativa L.)* [Master's thesis, Universidade Federal de Viçosa].
- Matos, F. J. A. (2009). *Introdução à fitoquímica experimental* (3ª ed.). Edições UFC.
- Nickrent, D. L. (2001). *The Parasitic Plant Connection*. Southern Illinois University. <https://parasiticplants.siu.edu/>
- Simões, J. B., Silva, A. L. L., Silva, G. B., Reis, M. A., & Lage, V. C. (2020). Teste alelopático do extrato de erva de passarinho (*Struthanthus marginatus* (Desr.) Blume) na germinação e desenvolvimento de alface (*Lactuca sativa* L.) e pepino (*Cucumis sativus* L.). In E. Silva (Org.), *Ciências biológicas: Considerações e novos segmentos* (Vol. 1, pp. 67-82). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.1392021097>
- Souza Filho, A. P. S., Santos, R. A., Santos, L. S., Guilhon, G. M. P., Santos, A. S., Arruda, M. S. P., Muller, A. H., & Arruda, A. C. (2005). *Potencial alelopático do capim-quicuí-da-amazônia (Brachiaria humidicola)*. *Planta Daninha*, 23(4), 611–620. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000400008>
- Wang, J., Liu, J., & Ma, H. (2022). *Allelopathic effects of invasive plants on seed germination and seedling growth of native species*. *Plants*, 11(12), 1582. <https://doi.org/10.3390/plants11121582>
- Zhang, K., Hou, Y., & Zhang, Y. (2022). *Allelopathy of volatile organic compounds: A review*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 952136. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.952136>