

METABOLITOS SECUNDÁRIOS PRESENTES EM FOLHAS DE *Tapirira obtusa* E SUA AÇÃO ALELOPÁTICA NA GERMINAÇÃO E FORMAÇÃO DE PLÂNTULAS DE ALFACE, TOMATE E FEDEGOSO

SECONDARY METABOLITES PRESENT IN LEAVES OF *Tapirira obtusa* AND
THEIR ALLELOPATHIC ACTION IN THE GERMINATION AND FORMATION OF
LETTUCE, TOMATO AND FEDEGOSO SEEDLING

Ademir Kleber Morbeck de Oliveira

Universidade Anhanguera, UNIDERP, Campo Grande, MS, Brasil
Doutor em Ecologia e Recursos Naturais. E-mail: akmorbeckoliveira@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9373-9573>

Kelly Cristina Lacerda Pereira

Bioparque Pantanal., Campo Grande, MS, Brasil
Doutora em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. E-mail: kellyclpereira@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9547-2056>

Carolina Ferreira Pauliquevis

Universidade Anhanguera, UNIDERP, Campo Grande, MS, Brasil
Doutora em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. E-mail:
carolinapauliquevis@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1159-9616>

Rosemary Matias

Universidade Anhanguera, UNIDERP, Campo Grande, MS, Brasil
Doutora em Química. E-mail: rosematias@yahoo.com.br
<https://orcid.org/0000-0002-0154-1015>

Submissão: 20-03-2024

Aceite: 04-07-2024

RESUMO: A espécie arbórea *Tapirira obtusa*, Anacardiaceae, é encontrada no bioma Cerrado, principalmente em terrenos úmidos e matas estacionais, sendo comumente utilizada por comunidades tradicionais para diferentes funções. As espécies desta família possuem ampla utilização devido a diversidade de metabólitos encontrados em suas estruturas, com distintas atividades biológicas, indicando seu potencial na busca de bioherbicidas. Levando-



se em consideração seu potencial de uso, objetivou-se identificar os grupos de compostos secundários presentes em suas folhas e sua ação na germinação e formação de plântulas de espécies-alvo (alface, tomate e fedegoso), utilizando extratos aquosos em condições experimentais (câmara de germinação e casa de vegetação). Os resultados obtidos indicaram a predominância de compostos fenólicos, taninos, saponinas, triterpenos e flavonoides, que afetaram fortemente a germinação e o vigor das espécies-alvo, com maior efeito ocorrendo em câmara de germinação, que possui condições ambientais mais constantes. Os resultados obtidos demonstram que *Tapirira obtusa* possui potencial de uso na busca por bioherbicidas, com compostos secundários de interesse.

PALAVRAS-CHAVE: Alelopatia. Compostos secundários. Anacardiaceae.

ABSTRACT: The tree specie *Tapirira obtusa*, Anacardiaceae, is found in the Cerrado biome, mainly in wetlands and seasonal forests, being commonly used by traditional communities for different functions. The species in this family are widely used due to the diversity of metabolites found in their structures indicating their potential in the search for bioherbicides. Taking into account its potential use, the objective of this study was to identify groups of secondary compounds present in its leaves and their action on the germination and formation of seedlings of target species (lettuce, tomato and sicklepod), using aqueous extracts under experimental conditions (germination chamber and greenhouse). The results indicated the predominance of phenolic compounds, tannins, saponins, triterpenes and flavonoids, which strongly affected the germination and vigor of the target species, with the greatest effect occurring in the germination chamber, which has more constant environmental condition. The results demonstrate that *Tapirira obtusa* has potential for use in the search for bioherbicides, with secondary compounds of interest.

KEYWORDS: Allelopathy. Secondary compounds. Anacardiaceae.

Introdução

Na natureza as espécies vegetais podem produzir estruturas químicas com função de inibição de germinação e/ou crescimento de outras espécies, por exemplo, diminuindo a competição por recursos naturais, como água e nutrientes, em um processo chamado de alelopatia (Rice, 1984). As substâncias alelopáticas produzidas com estas funções são os compostos secundários, divididos em diferentes grupos, como os compostos fenólicos, por exemplo.

Devido suas características químicas, muitas destas estruturas poderiam ser utilizadas na agricultura, para o controle de espécies daninhas, propiciando a criação dos chamados bioherbicidas, teoricamente sendo menos danosos ao meio ambiente por possuírem um tempo de permanência menor no meio, sendo degradados com maior rapidez. De acordo com Galon *et al.* (2016), diante dos problemas causados pelo uso de agrotóxicos e a busca por agroecossistemas mais sustentáveis, a utilização de bioherbicidas tem se mostrado uma estratégia interessante de controle alternativo e/ou complementar ao uso de herbicidas sintéticos. Neste mesmo sentido, Silva *et al.* (2007) descrevem que a utilização de produtos naturais é uma técnica importante que pode reduzir o impacto ambiental do uso de produtos químicos na agricultura e os danos correlacionados a utilização inadequada destes produtos.

A avaliação da atividade alelopática de determinada espécie e seu potencial de uso normalmente é feita por meio de espécies-alvo, de rápida germinação e crescimento uniforme, permitindo avaliar a presença de aleloquímicos e seus efeitos sobre outras espécies (Ferreira; Aquila, 2000). Entre as plantas utilizadas para estas avaliações se destacam as olerícolas convencionais, tais como a alface (*Lactuca sativa* L.) e o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), além de plantas daninhas como o fedegoso (*Senna obtusifolia* (L.) Irwin & Barneby) (Oliveira *et al.*, 2021). Os testes realizados com diferentes tipos de extratos e substratos, utilizando câmaras de germinação em laboratório e/ou casa de vegetação, permitem avaliar o potencial das espécies, demonstrando a presença de moléculas que poderiam ser manipulados pela indústria e deste modo, produzir novos bioherbicidas (Fujii; Hiradate, 2007; Zeng, 2014).

A busca por estes compostos envolve a pesquisa de espécies vegetais com potencial de uso, encontradas em determinadas famílias botânicas, destacando-se por exemplo, Anacardiaceae, devido à grande diversidade de metabólitos presentes na família, com atividades biológicas diversas (Correia *et al.*, 2006). Por estes motivos, espécies como *Anacardium occidentale* L., *Anacardium humile* A. St.-Hil., *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Schinus molle* L., *S. terebinthifolius* Raddi e *Spondias mombin* L., entre outras, são frequentemente utilizadas na medicina popular (Lorenzi; Matos, 2021) e também investigadas quanto ao potencial alelopático (Oliveira *et al.*, 2014a; Fonseca *et al.*, 2015; Nogueira *et al.*, 2017; Matias *et al.*, 2017, 2018).

Uma característica das Anacardiaceae é a grande presença de compostos fenólicos (Correia *et al.*, 2006), que apresentam o maior número de substâncias com ação alelopática, com efeito sobre a germinação e morfologia dos vegetais, tais como flavonoides, taninos e antraquinonas (Chou, 2006). Entre as espécies da família é encontrada a planta de porte arbóreo *Tapirira obtusa* (Benth.) J.D.Mitch., pioneira ou secundária inicial, perenifólia e podendo atingir até 18 m de altura, popularmente conhecida como fruto de pombo ou pau-pombo, entre outros nomes (Lorenzi, 2008). A espécie habita áreas do bioma Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, preferencialmente em terrenos úmidos e matas estacionais (Lorenzi, 2008; Silva Junior; Pereira, 2009). Devido às suas características, a espécie pode ser utilizada na arborização urbana e recuperação de áreas degradadas, visando à produção de frutos, muito procurados pela fauna, além de seu uso por comunidades tradicionais por meio de suas folhas e cascas, ricas em compostos fenólicos, por exemplo, com utilização similar a *T. guianensis* Aubl. (Correia *et al.*, 2001; Lorenzi, 2008; Silva Junior; Pereira, 2009).

Levando-se em consideração que a família Anacardiaceae possui grande potencial de uso, foi testada a hipótese que extratos aquosos de folhas de *Tapirira obtusa* possuem efeito alelopático e como objetivo da pesquisa, testar diferentes concentrações de extratos e substratos na germinação e formação de plântulas de três espécies-alvo, a alface, o tomate e o fedegoso, em condições experimentais.

Metodologia

Coleta e preparação do material

Foram coletados folhas e galhos de 14 árvores de *Tapirira obtusa* (árvores com altura aproximada de 10 metros), em área de formação ripária, região de Taboco (19°44'26.2"S

55°12'26.8"W), município de Corguinho, Mato Grosso do Sul, Brasil, em dezembro de 2022. O material vegetal foi colocado em sacos de papel e transportado ao Laboratório de Pesquisas em Sistemas Ambientais e Biodiversidade, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, sendo uma excisata montada e incorporada ao acervo do herbário (número de livro 7833) da Universidade Anhanguera-Uniderp, com cadastro realizado no SisGen sob o número A52AFC5.

Em laboratório, as folhas de todas os indivíduos coletados (amostras simples) foram selecionadas, descartando-se as que apresentavam indícios de doenças ou injúrias e formando uma amostra composta, sendo o material depositado sobre bancadas e seco em temperatura ambiente (27 ± 2 °C) por 72 horas e então, fragmentado e triturado em moinho industrial (rede 8 Mesh), com o pó resultante sendo armazenado em Becker de vidro, mantidos em refrigerador (Oliveira *et al.*, 2013).

Preparação do extrato aquoso

O extrato foi preparado utilizando 200 g de material (pó das folhas trituradas) para 1000 mL de água destilada (200 mg mL^{-1}), em Becker de vidro (Oliveira *et al.*, 2011). Foram utilizados dois métodos de extração: (1) maceração estática por 24 h em geladeira (4 °C) e posteriormente, (2) a solução foi submetida a banho de ultrassom por 30 minutos e depois filtrada (Oliveira *et al.*, 2011).

Análises físico-químicas e de atividade antioxidante

As análises físico-químicas foram realizadas com objetivo de estimar a capacidade do extrato em afetar negativamente a germinação de sementes e formação de plântulas devido as características inadequadas de determinados parâmetros, como o pH, condutância elétrica e sólidos solúveis (Oliveira *et al.*, 2013).

O extrato foi submetido a perfil químico qualitativo (Matos, 2009; Fontoura *et al.*, 2015), com confirmação dos grupos químicos em Espectro UVvisível, com análises realizadas em triplicata e resultados comparados com o controle, observando-se alterações de cor e precipitação e classificando os resultados em: reação negativa (zero), parcial (+ = 10%), baixa (++ = 25%), moderada (+++ = 50%), média (++++ = 75%) e alta intensidade (+++++ = 100%), com procedimentos adaptados de Fontoura *et al.* (2015). Os testes com formação de precipitados (compostos fenólicos e taninos) foram realizados em tubos graduados e os resultados foram classificados em intensidade parcial (0,2 cm), baixa (0,21-0,50 cm), moderada (0,51-0,70 cm) e alta intensidade (0,71-1,0 cm) (Fontoura *et al.*, 2015).

Posteriormente foram determinados os teores de fenóis totais e flavonoides (Do *et al.*, 2014), pH, condutividade elétrica e concentração de sólidos solúveis (Matias *et al.*, 2021), com exceção dos taninos e potencial antioxidante. O teor de taninos condensados (1 mg mL^{-1} em metanol: água 80:20 v:v) foi determinado com base na metodologia de Broadhurst e Jones (1978), com o extrato homogeneizado com 5 mL de vanilina-HCl (8% de HCl aquoso concentrado e 4% de vanilina em metanol). O metanol foi usado como branco e empregada a catequina como padrão, com mistura incubada em banho-maria por 20 minutos e, em seguida, a absorvância foi medida a 510 nm, com resultados expressos em mg de catequina equivalente (CAE)/100 g de extrato seco (Broadhurst; Jones, 1978).

A atividade antioxidante foi identificada pelo método de sequestro de radicais livres DPPH (2,2 difenil-1-picrilhidrazil) (Kumaran; Karunakaran, 2006). Uma alíquota do extrato foi solubilizada em metanol para HPLC, concentrações de 250, 200, 150, 100, 50 e 25 µg/mL, com as soluções recebendo 2 mL de uma solução de DPPH em metanol (24 mg 100 mL⁻¹). Após 30 minutos foi determinada a absorvância em espectrofotômetro UV-VIS em comprimento de onda (515 nm), com controle negativo feito pela adição de metanol e DPPH e o controle positivo, Rutina (Sigma®) e quercetina (Sigma®), com testes realizados em triplicata (Kumaran; Karunakaran, 2006).

O percentual da atividade antioxidante e DPPH remanescente no meio reacional (%AA) foi obtida por meio da fórmula: $\frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$, sendo A₀ = absorvância do DPPH (controle negativo) e A = absorvância da amostra com o DPPH (Sousa *et al.*, 2007). A determinação da concentração eficiente (CE50) que indica a concentração da amostra ou do padrão que causa 50% de inibição da concentração inicial de DPPH foi alcançada por regressão linear (Sousa *et al.*, 2007).

Bioensaios em câmara de germinação - Germinação e Crescimento

Os procedimentos utilizados seguiram recomendações de Rizzi *et al.* (2016). Em câmara de germinação foram aplicadas as temperaturas de 20 °C (aquênios de alface) e 25 °C (fedegoso e tomate), sendo inicialmente vertidos 5 mL (germinação) e 10 mL (crescimento) dos extratos (concentrações de 25, 50, 100, 150 e 200 mg mL⁻¹) nas placas de Petri (7 cm de diâmetro) com duas folhas de papel germitest, além do controle (água destilada), com quatro repetições de 25 sementes. A contagem das sementes germinadas foi realizada a cada 24 h por 7 dias e, avaliadas a percentagem de germinação e o vigor das sementes (tempo médio de germinação em dias – TMG e, índice de velocidade de germinação - IVG), medidos de maneira indireta. Nos testes de crescimento foram utilizadas caixas plásticas transparentes (11 x 3,5 cm de altura), chamadas comumente de gerbox, utilizando quatro repetições com 10 sementes pré-germinadas das espécies-alvo e ao final de 10 dias, realizada a avaliação das plântulas, sendo medido o comprimento das raízes e parte aérea, em milímetros.

Bioensaios em casa de vegetação – Crescimento

Os substratos utilizados (três) foram preparados de acordo com as seguintes proporções: 950 g do substrato vermiculita e 50 g do pó das folhas (950/50) (5%), 900/100 (10%) e 800/200 (20%) e controle, 100% vermiculita (Matias *et al.*, 2021). Após a homogeneização, foram umedecidos com água destilada e colocados em bandejas de poliestireno expandido com 128 células, com semeadura utilizando 100 sementes de cada espécie-alvo e ao final de 10 dias, as plântulas foram coletadas e avaliadas (raiz e parte aérea) (Matias *et al.*, 2021).

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com dados submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando ocorreu significância, realizada a comparação das médias, utilizando-se o teste de Tukey (5% de probabilidade), sendo avaliados a germinação, IVG, TMG

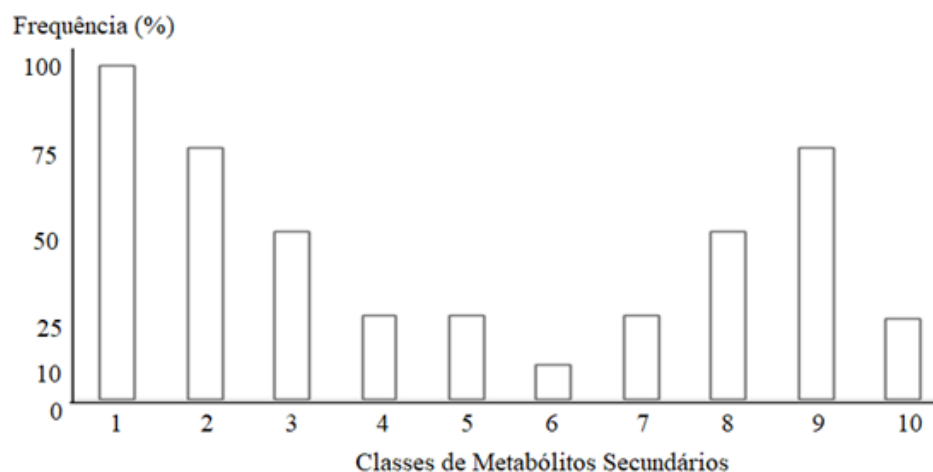
e crescimento da raiz e parte aérea (Câmara de germinação) e crescimento da raiz e parte aérea (Casa de vegetação).

Resultados e Discussão

Análise fitoquímica

Os resultados indicaram a predominância de compostos fenólicos (100%), taninos (75%), saponinas (75%), triterpenos (75%) e flavonoides (50%), representados pelos flavonóis e chalconas (25%). Com menor escore foram detectados os esteroides (25%), glicídios redutores (25%) e as cumarinas (10%) (Figura 1). Em pesquisa com a mesma espécie (extrato etanólico), Matias *et al.* (2021) encontraram perfil semelhante para os compostos fenólicos (100%), flavonoides (50%) e glicídios redutores (10%) e maior intensidade para os triterpenos (100%), cumarinas (25%) e esteroides (50%), embora não tenham identificado a presença de flavonóis e chalconas, presentes no extrato aquoso. Já a intensidade de grupos químicos de média intensidade (taninos) e de alta polaridade (saponinas) foram superiores no extrato aquoso, em relação ao etanólico (Matias *et al.*, 2021).

Figura 1 - Frequência das classes de metabólitos secundários (1 = compostos fenólicos, 2 = taninos, 3 = flavonoides, 4 = flavonóis, 5 = chalconas, 6 = cumarinas, 7 = esteroides, 8 = triterpenos, 9 = saponinas e, 10 = glicídios redutores) detectados no extrato aquoso das folhas de *Tapirira obtusa*



Fonte: os autores (2022).

A diversidade e quantidade de metabólitos secundários depende de uma série de fatores extrínsecos e intrínsecos da espécie e apesar de uma planta conter centenas de metabólitos, apenas os presentes em maior concentração são detectados, isolados e identificados, com o solvente e o método de extração podendo influenciar a detecção dos metabólitos (Yunes; Calixto, 2001). Segundo Ng *et al.* (2020), são inúmeras as metodologias descritas para a preparação dos extratos e até o momento não há uma recomendação do sistema de solvente de extração específico, embora os autores apontem que em geral os solventes de extração são selecionados com base na polaridade do soluto de interesse na espécie investigada e nos ensaios biológicos. Deste modo, em determinadas situações, a água destilada é o solvente de escolha devido sua capacidade de

extrair os fitoquímicos com propriedades alelopáticas, como os polifenóis, sem afetar sua ação antioxidante (Tabela 1).

Em relação aos teores de polifenóis, os resultados de flavonoides totais (Tabela 1) foram também similares aos obtidos por Matias *et al.* (2021), que encontram 126,9 mg/g de flavonoides. Para os fenóis totais, os valores obtidos (Tabela 1) foram inferiores aos citados por Matias *et al.* (2021), de 222,9 mg/g de fenóis, com os autores também não determinando os teores de taninos totais e atividade antioxidante, informações não registradas para outros extratos e espécies de *Tapirira* na literatura.

Tabela 1 - Fenóis totais, flavonoides totais, taninos, índice afrosimétrico e atividade antioxidante do extrato aquoso das folhas de *Tapirira obtusa*

Fenóis totais	161,9 ± 1,2 mg/g de ácido gálico
Flavonoides totais	124,9 ± 0,9 mg/g de rutina
Taninos	57,3 ± 0,2 mg/g de catequina
Atividade antioxidante	0,1 ± 1,6 µg/mL
Índice afrosimétrico	100

Fonte: os autores (2022)

Os fitoquímicos com potencial antioxidante são os principais responsáveis pelos mecanismos de defesa, em relação aos radicais livres e dentre os antioxidantes naturais estão os fenóis simples e polifenóis. Estes grupos possuem a capacidade de decompor os peróxidos e absorver os radicais livres no corpo humano, desempenhando um importante papel (Shahidi; Ambigaipalan, 2015). Entretanto a relação da atividade antioxidante e a ação alelopática é um achado recente, com Aniya *et al.* (2022), ao analisarem o potencial alelopático de 55 espécies de plantas utilizadas na medicina tradicional chinesa, levantando a hipótese que espécies ricas em fenóis tem maior potencial alelopático, o que levou os autores a associarem a atividade antioxidante ao potencial alelopático. Deste modo, a capacidade antioxidante das plantas é um indicador para selecionar espécies com maior ou melhor potencial alelopático.

Com base nestas informações e resultados obtidos (Figura 1 e Tabela 1), é possível inferir que o extrato aquoso de *Tapirira obtusa* é rico em polifenóis, com potencial antioxidante, explicando o uso da espécie por comunidades tradicionais. Entretanto quando esses aleloquímicos são liberados pela planta por emissão volátil, lixiviação da parte aérea ou exsudação das raízes, podem ser lixiviados e diluídos na solução do solo e dependendo de sua concentração e duração, agir como fonte inibitória direta em outras espécies vegetais (Zeng, 2014; Ng *et al.*, 2020).

Os compostos fenólicos são um dos grupos de aleloquímicos que possuem grande efeito alelopático, sendo que essa classe varia de fenóis e flavonoides simples a estruturas mais complexas, como taninos, considerados potentes inibidores da germinação (Rice, 1984), reduzindo a formação de lignina, alongamento da raiz e bloqueando a respiração mitocondrial, entre outras ações (Fujii; Hiradate, 2007). Outro derivado dos compostos fenólicos são os flavonoides, que segundo Rice (1984), podem inibir a germinação e o crescimento, causando também efeitos negativos, diretos e indiretos, no processo de divisão celular.

Outra importante classe encontrada em grande percentual no extrato avaliado são as saponinas. Segundo Rice (1984) e Macias *et al.* (2003) a presença de saponinas indica a ação

alelopática dos extratos, com ação sobre a membrana celular, modificando sua permeabilidade e interferindo na germinação e vigor das sementes. As saponinas são comumente citadas como responsáveis por causar efeitos alelopáticos, pois podem ser liberadas em condições naturais (hidrossolúveis), diminuindo a taxa respiratória e inibindo a germinação e crescimento das plantas (Ferreira; Aquila, 2000; Maraschin-Silva; Aquila, 2006).

O índice afrosimétrico é uma análise confirmatória da presença de saponinas (Oliveira *et al.*, 2023) e o valor obtido (Tabela 1) indica baixa toxicidade do extrato analisado (ANVISA, 2019), o que justifica o uso das folhas da planta na medicina popular (Correia *et al.*, 2001). Por outro lado, é possível associar o índice afrosimétrico (e intensidade de saponinas) ao efeito alelopático das espécies. Neste sentido é possível citar a espécie *Palicourea rigida* Kunth. (Rubiaceae), cujo índice afrosimétrico pode ser associado ao efeito alelopático da planta em espécies-alvo (Oliveira *et al.*, 2014b), situação similar ao observado para o índice afrosimétrico do extrato de *Attalea phalerata* Mart. ex Spreng., o qual afetou negativamente a germinação das espécies-alvo (Oliveira *et al.*, 2023).

Os grupos de metabólitos identificados possuem ação alelopática sobre os processos germinativos e crescimento, atuando isoladamente ou em processos sinérgicos, como mencionado por Fujii e Hiradate (2007) e Souza Filho *et al.* (2010). Deste modo, a composição química das folhas de *Tapirira obtusa* é um indicativo de seu potencial de uso, visando a obtenção de bioherbicidas.

Em relação ao pH ($5,6 \pm 0,2$), condutividade elétrica ($2,4 \pm 0,6 \mu\text{gS/cm}$) e sólidos solúveis ($2,0 \pm 0,5 \text{ Brix}^\circ$), os valores encontrados são similares aos apresentados por Matias *et al.* (2021) para a mesma espécie e estão dentro da faixa que não interfere nos processos de germinação e formação de plântulas, de acordo com resultados de Oliveira *et al.* (2013), Rizzi *et al.* (2016), Matias *et al.* (2021) e Oliveira *et al.* (2021). Deste modo é possível afirmar que os efeitos dos extratos utilizados na germinação das espécies-alvo estão relacionados aos aleloquímicos presentes nos extratos (Figuras 1, Tabela 1).

Germinação e formação de plântulas

A germinação das sementes indicou um comportamento distinto, na dependência da espécie. As sementes de tomate foram fortemente afetadas a partir das menores concentrações, sendo que a germinação e vigor (IVG e TMG), na presença de extrato na concentração de 100 mg mL^{-1} , apresentaram a morte de todos os embriões. A alface e o fedegoso também foram afetados, a partir de 50 ou 100 mg mL^{-1} de extrato, porém em menor intensidade, não ocorrendo a morte de embriões (Tabela 2).

Tabela 2 – Germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes mantidas em câmara de germinação em diferentes concentrações de extratos (mg mL⁻¹) de folhas de *Tapirira obtusa*

extrato	G (%)			IVG			TMG		
	alface	tomate	fedegoso	alface	tomate	fedegoso	alface	tomate	fedegoso
0	100 a	95 a	97 a	99,5 a	25 a	70,5 a	1,0 a	4,0 a	1,5 a
25	97 a	23 b	96 a	95,5ab	6,2 b	70,1 a	1,0 a	3,8 a	1,5 a
50	93 b	16 b	96 a	91,5 b	2,4 c	68,4 a	1,0 a	6,6 b	1,5 a
100	88 c	0 c	82 b	55,3 c	0 c d	48,3 b	2,1 b	0 c	1,9 b
150	88 c	0 c	80 b	37,7 d	0 c d	48,1 b	2,6 c	0 c	2,0 b
200	65 d	0 c	79 b	12,4 e	0 c d	45,2 c	5,3 d	0 c	2,1 b

Fonte: os autores (2022). *Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não se diferenciam estatisticamente entre si (Teste de Tukey, 5% de probabilidade).

O esperado, para testes de alelopatia, é que o processo germinativo seja o menos afetado que o vigor de germinação (IVG e TMG), de acordo com Fujii e Hiradate (2007). Neste sentido, os resultados demonstraram que a ação alelopática dos extratos afetou fortemente a germinação e vigor, demonstrando que a espécie possui potencial de uso como bioherbicida, uma provável consequência da presença de determinados compostos fenólicos e saponinas, conhecidos por sua ação deletéria em processos de germinação (Rice, 1984).

É interessante notar que mesmo a espécie daninha (fedegoso) foi afetada pela presença dos aleloquímicos, demonstrando o potencial de uso do extrato e da espécie. Ao final do processo de germinação, as maiores concentrações dos extratos utilizados causaram a morte de parte dos embriões e um maior tempo para o processo germinativo, em que as sementes germinaram em menor quantidade por maior tempo (Tabela 2). Rizzi *et al.* (2016) explicam que determinadas espécies são mais sensíveis a presença dos aleloquímicos e pode existir maior tolerância aos compostos aleloquímicos. Os mesmos autores demonstraram que o tomate (Solanaceae) possui maior sensibilidade aos metabolitos secundários que a alface (Asteraceae), relacionando as diferenças de comportamento a processos bioquímicos e fisiológicos, devido aos grupos taxonômicos serem diferentes, o que está de acordo com a ação aleloquímica distinta para as espécies-alvo analisadas no presente estudo.

Matias *et al.* (2021) também descrevem que pode existir maior sensibilidade das Solanaceae em relação aos compostos secundários, se comparado com Asteraceae, uma situação que os autores correlacionam ao extrato e sua ação nos processos bioquímicos e fisiológicos. Rizzi *et al.* (2016) e Oliveira *et al.* (2021) avaliando processos alelopáticos das espécies *Vochysia haenkeana* (Spreng.) Mart. e *Norantea guianensis* Aubl., respectivamente, também observaram resultados similares, com maior ação negativa sobre as sementes de tomate, em relação a alface.

A menor sensibilidade da alface perante determinados aleloquímicos já foi descrita por Periotto *et al.* (2012), com extrato aquoso *Anacardium humile* A. St. –Hil. e Bonfim *et al.* (2013), avaliando o extrato aquoso de *Foeniculum vulgare* Mill., onde a germinação de alface não sofreu alterações, mas o vigor foi afetado negativamente. Por este motivo, a utilização de diferentes espécies-alvo é fundamental para avaliar corretamente o efeito da alelopatia em condições de laboratório.

Os resultados de crescimento em câmara de germinação e casa de vegetação (Tabelas 3 e 4) demonstram que o extrato de menor concentração (25 mg mL^{-1}) já afetou negativamente o crescimento das plântulas. Em câmara de germinação, o tomate também foi a espécie mais afetada, com redução atingindo 92% (raiz) e 92,4% (parte aérea), enquanto a alface, 76,6% (raiz) e 76,2% (parte aérea) e fedegoso, 54,8% (raiz) e 68,2% (parte aérea), na maior concentração (Tabela 3).

Tabela 3 – Crescimento de raízes e parte aérea (mm) de plântulas mantidas em câmara de germinação sob diferentes concentrações de extratos (mg mL^{-1}) de folhas de *Tapirira obtusa*

Extratos	Alface		Tomate		Fedegoso	
	Raiz	Caule	Raiz	Caule	Raiz	Caule
0	11,1 a	8,0 a	38,9 a	27,8 a	16,6 a	28,6 a
25	10,0 b	7,1 b	8,6 b	15,6 b	16,1 a	27,8 a
50	9,2 c	5,7 c	5,5 c	13,1 c	15,4 a	26,8 a
100	5,2 d	4,0 d	3,9 cd	6,1 d	10,3 b	15,8 b
150	3,1 e	2,7 e	3,2 d	3,6 e	8,2 c	12,7 b
200	2,6 e	1,9 f	3,1 d	2,1 e	7,5 c	9,1 c

Fonte: os autores (2022). *Médias seguidas de mesma letra na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si (Teste de Tukey, 5% de probabilidade).

Em casa de vegetação também ocorreu a diminuição de crescimento, com maior efeito no sistema radicular de todas as espécies, com redução de 82,9% (alface), 65% (tomate) e, 71,2% (fedegoso), enquanto o caule foi reduzido em 58,4% (alface), 53,2% (tomate) e 19,4% (fedegoso), nas maiores concentrações (Tabela 4). Os resultados observados, no qual ocorre maior efeito sobre as raízes pode estar ligado ao fato de que este órgão vegetal é o primeiro a absorver os compostos secundários, além da possibilidade de seu armazenamento nas estruturas radiculares. Rizzi *et al.* (2016) relatam situação similar, em que as raízes apresentaram menor crescimento, em relação a parte aérea, quando na presença dos aleloquímicos, embora em câmara de germinação os resultados no crescimento de raiz e parte aérea não tenham sido muito diferentes.

Tabela 4 – Comprimento de raízes e parte aérea (mm) de plântulas mantidas em casa de vegetação em substrato com diferentes concentrações (%) de pó de folhas de *Tapirira obtusa*

%	Alface		Tomate		Fedegoso	
	Raiz	Caule	Raiz	Caule	Raiz	Caule
0	33,4 a	21,9 a	57,1 a	44,4 a	59,5 a	44,9 a
5	18,4 b	18,8 b	53,2 a	45,0 a	50,1 b	36,9 b
10	11,9 c	14,6 c	35,3 b	33,6 b	36,5 c	35,1 b
20	5,7 d	9,1 d	20,0 c	25,2 c	17,1 d	36,2 b

Fonte: os autores (2022). *Médias seguidas de mesma letra na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si (Teste de Tukey, 5% de probabilidade).

Embora nos dois ambientes se tenha observado restrições de crescimento, o maior efeito ocorreu em câmara de germinação, que possui condições ambientais mais constantes. Por outro lado, a casa de vegetação é um recinto mais complexo, com variações de temperatura

e luminosidade, além da presença de radiação ultravioleta e infravermelha, que poderiam afetar a estrutura dos aleloquímicos. Além disto, em casa de vegetação existe a presença de microrganismos em maior quantidade e diversidade, tanto no substrato como na atmosfera, os quais podem causar alterações na estrutura dos metabólitos presentes no substrato. Almeida *et al.* (2008) descrevem que em condições ambientais variáveis, como em casa de vegetação, os compostos alelopáticos podem sofrer ou causar estresse oxidativo e deste modo, alterar os processos fisiológicos das plantas e afetar seu desenvolvimento de diferentes formas, tal como relatado por Rizzi *et al.* (2016) e Oliveira *et al.* (2021), quando da utilização dos extratos e substratos de *Vochysia haenkeana* e *Norantea guianensis*, respectivamente.

Considerações finais

As folhas de *Tapirira obtusa* possuem alta intensidade de compostos fenólicos, taninos, saponinas, triterpenos e flavonoides, que afetaram fortemente a germinação e o vigor das espécies-alvo, demonstrando o potencial de uso da espécie na busca por bioherbicidas.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) e a Universidade Anhanguera-Uniderp, pelo financiamento do projeto. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de pós-graduação e ao CNPq, pela bolsa de produtividade em pesquisa (PQ1C), concedidas.

Referências

- ALMEIDA, G. D.; ZUCOLOTO, M.; ZETUN, M. C.; COELHO, I.; SOBREIR, F. M. Estresse oxidativo em células vegetais mediante aleloquímicos. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, v. 61, n. 1, p. 4237-4247, 2008. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_093
- ANIYA; NOMURA, Y.; APPIAH, K. S.; FUERDENG; SUZUKI, Y.; FUJII, Y.; XIA, Q. Relationship between the antioxidant activity and allelopathic activities of 55 Chinese pharmaceutical plants. **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2481, 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/plants11192481>
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Farmacopeia Brasileira** (v. 1). 6ed. Brasília: Anvisa, 2019.
- BONFIM, F. P. G.; SOUZA, K. F.; GUIMARÃES, S. F.; DORES, R. G. R.; FONSECA, M. C. M.; CASALI, V. W. D. Efeito de extratos aquosos de funcho na germinação e vigor de sementes de alface e salsa. **Revista Tropic: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 7, n. 3, p.218-228, 2013.

BROADHURST, R. B.; JONES, W. T. Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 29, n. 9, p. 788-794, 1978.

CHOU, C. H. Introduction to allelopathy. In: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONZÁLEZ, L. **Allelopathy: a physiological process with ecological implications**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 1-9.

CORREIA, S. J.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; CHAI, H-B.; PEZZUTO, J. M.; CORDELL, G. A. Alkyl phenols and derivatives from *Tapirira obtusa*. **Phytochemistry**, v. 56, n. 7, p. 781-784, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00476-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00476-3)

CORREIA, S. J.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M. Metabólitos secundários de espécies de Anacardiaceae. **Química Nova**, v. 9, n. 6, p. 1287-1300, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000600026>

DO, Q. D.; ANGKAWIJAYA, A. E.; TRAN-NGUYEN, P. L.; HUYNH, L. H.; SOETAREDJO, F. E.; ISMADJI, S.; JU, Y. H. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 22, n. 3, p. 296-302, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfda.2013.11.001>

FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: Uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, p. 175- 204, 2000.

FONSECA, V. B.; TAVARES, V. R. S.; GONÇALVES, V. M.; FREITAG, R. A.; BOBROWSKI, V. L. Allelopathic potential of leaves and flowers extracts of *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Científica**, v. 44, n. 1, p. 35-39, 2015. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p35-39>

FONTOURA, F. M.; MATIAS, R.; LUDWIG, J.; OLIVEIRA, A. K. M.; BONO, J. A. M.; MARTINS, P. D. F. R. B.; GUEDES, N. M. R. Seasonal effects and antifungal activity from bark chemical constituents of *Sterculia apetala* (Malvaceae) at Pantanal of Miranda, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 45, p.283-292, 2015. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201500011>

FUJII, Y.; HIRADATE, S. **Allelopathy: new concepts & methodology**. Enfield: Science Publishers, 2007.

GALON, L.; MOSSI, A. J.; REICHERT JÚNIOR, F. W.; REIK, G. G.; TREICHEL, H.; FORTE, C. T. Biological weed management – A short review. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 116-125, 2016. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v15i1.452>

KUMARAN, A.; KARUNAKARAN, R. J. Antioxidant activities of the methanol extract of *Cardiospermum halicacabum*. **Pharmaceutical Biology**, v. 44, n. 2, p. 146-151, 2006. <https://doi.org/10.1080/13880200600596302>

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v.1.

LORENZI, H. E.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil** - Nativas e exóticas. 3ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2021.

MACIAS, F. A.; GALINDO, J. C. G.; MOLINILLO, J. M. G.; CUTLER, H. G. **Allelopathy**: chemistry and mode of action of allelochemicals. Boca Raton: CRC Press, 2003.

MARASCHIN-SILVA, F.; AQUILA, M. E. A. Contribuição ao estudo do potencial alelopático de espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 30, p. 547-555, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400007>

MATIAS, R.; ROSA, A. C.; OLIVEIRA, A. K. M.; PEREIRA, K. C. L.; RIZZI, E. S.; MACHADO, A. A. Cashew nut shell liquid and formulation: toxicity during the germination of lettuce, tomato seeds and coffee senna and seedling formation. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 487-495, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i4.32603>

MATIAS, R.; OLIVEIRA, A. M. O.; PEREIRA, K. C. L.; RIZZI, E. S. Potencial alelopático do extrato etanólico de *Anacardium humile* (cajuzinho-do-cerrado) na germinação e formação de plântulas de alface, tomate e fedegoso. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2, p. 144-160, 2018. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865030004>

MATIAS, R.; PAULIQUEVIS, C. F.; OJEDA, P. T. A.; PINA, J. C.; OLIVEIRA, A. K. M. Potencial alelopático de extratos etanólicos e pó de folhas de *Tapirira obtusa* na germinação e formação de plântulas de diferentes espécies-alvo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e25210413841, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13841>

MATOS, F. J. A. **Introdução a fitoquímica experimental**. 3ed. Fortaleza: Edições UFC, 2009.

NG, Z. X.; SAMSURI, S. N.; YONG, P. H. The antioxidant index and chemometric analysis of tannin, flavonoid, and total phenolic extracted from medicinal plant foods with the solvents of different polarities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 9, p. e14680, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14680>

NOGUEIRA, M. L.; CAMPOS, N. A.; SANTOS, S. C.; BEIJO, L. A.; BARBOSA, S. Allelopathic effects of aqueous and ethanolic leaves extracts of *Schinus molle* L. under different kinds of pruning. **Journal of Agricultural Science and Technology A**, n. 7, p. 169-177, 2017.

OLIVEIRA, A. K. M.; RIBEIRO, J. W. F.; MATIAS, R.; GUSMÃO, D. D. H.; PEREIRA, K. C. L. Potencial alelopático de folhas frescas de bacupari (*Rheedia brasiliensis* (Mart.) Planch. & Triana) na germinação de alface. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 4, p. 550-553, 2011.

- OLIVEIRA, A. K. M.; RIBEIRO, J. W. F.; FONTOURA, F. M.; MATIAS, R. Leaf extract effects of *Vochysia divergens* on lettuce and tomato. **Allelopathy Journal**, v. 31, n. 1, p. 129-138, 2013.
- OLIVEIRA, A. K. M.; MATIAS, R.; LOPES, S. S.; FONTOURA, M. F. Alelopatia e a influência de folhas de *Palicourea rigida* (Rubiaceae) na germinação de sementes e na formação de plântulas de alface. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 938-947, 2014a.
- OLIVEIRA, A. K. M.; PEREIRA, K. C. L.; RIZZI, E. S.; MULLER, J. A. I. Allelopathic potential and chemical characterization of ‘flor-de-papagaio’ bark (*Norantea guianensis*). **Anales de Biología**, v. 43, n. 53-63, 2021. <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.43.06>
- OLIVEIRA, A. K. M.; MATIAS, R.; LACERDA-PEREIRA, K. C.; RIZZI, E. S.; FERNANDES, R. M. The monodominance of Acuri in Pantanal formations: allelochemical effects of its leaves and the presence of Acurizais. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e268746, 2023. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.268746>
- OLIVEIRA, J. D. S.; NUNES, H. B.; OLIVEIRA, M. A. B. B.; RIBAS, S. A. A.; COCOZZA, F. D. M. Germinability of *Myracrodruon urundeuva* under the effect of allelopathic plant extracts. **Magistra**, v. 26, n. 2, p. 248-254, 2014b.
- PERIOTTO, F.; GUALTIERI, S. C. J.; LIMA, M. I. S. Allelopathic potential of *Anacardium humile* Mart. and their effects on seed germination and early development of seedlings. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 2, n. 6, p.2-14, 2012.
- RICE, E. L. **Allelopathy**. 2ed. New York: Academic Press, 1984.
- RIZZI, E. S.; PEREIRA, K. C. L.; ABREU, C. A. A.; SILVA, B. C. F. L.; FERNANDES, R. M.; OLIVEIRA, A. K. M.; MATIAS, R. Allelopathic potential and phytochemistry of cambarazinho (*Vochysia haenkeana* (Spreng.) Mart.) leaves in the germination and development of lettuce and tomato. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 98-107, 2016. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v32n1a2016-29614>
- SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820-897, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. Biologia de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p. 17-61.
- SILVA JÚNIOR, M. C.; PEREIRA, B. A. S. **100 Árvores do Cerrado** – Matas de Galeria: guia de campo. Brasília: Ed. Rede de Sementes do Cerrado, 2009.
- SOUZA FILHO, A. P. S.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S. Methodologies applied in allelopathic activity evaluation studies in the laboratory: a critical review. **Planta Daninha**, v. 28, p. 689-697, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300026>

SOUSA, C. M.; SILVA, H. R. E.; VIEIRA-JR G. M.; AYRES, M. C. C.; COSTA, C. L. S.; ARAÚJO, D. S.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAÚJO, P. B. M.; BRANDÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, n. 30, p. 351-355, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200021>

YUNES, R. A.; CALIXTO, J. B. **Plantas medicinais sob a ótica da química medicinal moderna**. Chapecó: Argos, v. 500, 2001.

ZENG, R. S. Allelopathy-the solution is indirect. **Journal of Chemical Ecology**, v. 40, p. 515-516, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10886-014-0464-7>