

**DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE *L. SATIVA* FRENTE A EXTRATOS VEGETAIS:
UMA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS EXPERIMENTAIS**

Edjane Vieira **PIRES**^{1(*)}, Erika Matias da **SILVA**², Érik José Ferreira da **SILVA**³,
Cenira Monteiro de **CARVALHO**⁴, Wagner Roberto de Oliveira **PIMENTEL**⁵.

¹ Professora Pesquisadora; Universidade Estadual de Alagoas – UNEAL; Palmeira dos Índios - AL, Alagoas, Brasil. *Autora correspondente; E-mail: edjanevp@gmail.com

² Graduando(a) em Licenciatura em Química; Universidade Estadual de Alagoas – UNEAL; Palmeira dos Índios - AL, Alagoas, Brasil; E-mail: erika.matias@outlook.com

³ Graduando(a) em Licenciatura em Química; Universidade Estadual de Alagoas – UNEAL; Palmeira dos Índios - AL, Alagoas, Brasil; E-mail: erikjosefds.2018@gmail.com

⁴ Professor(a) Pesquisador(a), Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, Alagoas, Brasil; E-mail: ceniramc@gmail.com

⁵ Professor(a) Pesquisador(a), Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, Alagoas, Brasil; E-mail: wagner.pimentel@gmail.com

Recebido: 21.10.2021 Aceito: 26.04.2022

Resumo: As plantas invasoras são responsáveis por grandes perdas de rendimento dos cultivos agrícolas e, para o manejo e/ou controle das mesmas, o principal método utilizado é o uso de herbicidas sintéticos que, embora eficientes, trazem desvantagens diretas e indiretas que superam seus benefícios, abrindo caminho para a pesquisa e o desenvolvimento de técnicas alternativas, como é o caso dos bioherbicidas. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de um planejamento fatorial 2³, quais condições experimentais favorecem a inibição ou diminuição do desenvolvimento inicial de sementes de *Lactuca sativa*, estudando as variáveis: concentração, parte da planta e solvente de extração além de suas interações. Com isso, foram obtidos os extratos etanólicos, bem como, extratos aquosos da casca do caule e das folhas das espécies *Amburana cearensis*, *Delonix regia* e *Tabebuia avellanedae*, seguindo com a realização dos bioensaios utilizando as sementes de alface frente aos extratos nas concentrações 50% e 100% em laboratório. Ficou evidente que para um menor desenvolvimento das sementes as espécies *D. regia* e *T. avellanedae*, o solvente de extração foi um fator determinante, sugerindo-se o uso de etanol e água respectivamente. Já no caso da espécie *A. cearensis*, o fator concentração mostrou-se mais relevante, sendo indicado o uso do extrato diluído para interferências de diminuição no comprimento da radícula e o uso da concentração 100% para parte aérea. O planejamento fatorial mostrou-se uma ferramenta satisfatória e diante dos resultados, pode-se concluir que as espécies causaram interferências negativas sobre a planta alvo.

Palavras-chave: Aleloquímicos, Controle de Pragas, Análise Estatística.

**DEVELOPMENT OF *L. SATIVA* SEEDLINGS AGAINST PLANT EXTRACTS: AN
OPTIMIZATION OF EXPERIMENTAL PARAMETERS**

Abstract: Invasive plants are responsible for large yield losses of agricultural crops and, for their management and/or control, the main method used is the use of synthetic herbicides which,

although efficient, bring direct and indirect disadvantages that outweigh their benefits, paving the way for research and development of alternative techniques, such as bioherbicides. Therefore, the objective of this study was to evaluate, through a factorial design 2^3 , which experimental conditions favor the inhibition or reduction of the initial development of *Lactuca sativa* seeds, studying the variables: concentration, part of the plant and extraction solvent in addition to your interactions. With this, ethanol extracts were obtained, as well as aqueous extracts from the stem bark and leaves of the species *Amburana cearensis*, *Delonix regia* and *Tabebuia avellanedae*, followed by the realization of the bioassays using the lettuce seeds in front of the extracts in 50% concentrations and 100% in the laboratory. It was evident that for less seed development the species *D. regia* and *T. avellanedae*, the extraction solvent was a determining factor, suggesting the use of ethanol and water respectively. In the case of the species *A. cearensis*, the concentration factor was more relevant, indicating the use of the diluted extract for negative interferences in the radicle and the use of 100% concentration for the aerial part. Factorial planning proved to be a satisfactory tool and given the results, it can be concluded that the species caused negative interference on the target plant.

Keywords: Allelochemicals, Pest Control, Statistical Analysis.

DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE *L. SATIVA* CONTRA EXTRACTOS DE PLANTAS: UNA OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS EXPERIMENTALES

Resumen: Las plantas invasoras son responsables de grandes pérdidas de rendimiento de los cultivos agrícolas y, para su manejo y / o control, el principal método utilizado es el uso de herbicidas sintéticos que, aunque eficientes, traen consigo desventajas directas e indirectas que superan sus beneficios, allanando el camino para investigación y desarrollo de técnicas alternativas, como los bioherbicidas. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar, a través de un diseño factorial 2^3 , qué condiciones experimentales favorecen la inhibición o disminución del desarrollo inicial de las semillas de *Lactuca sativa*, estudiando las variables: concentración, parte de la planta y disolvente de extracción, además de su interacciones. Así, se obtuvieron extractos de etanol, así como extractos acuosos de la corteza del tallo y hojas de las especies *Amburana cearensis*, *Delonix regia* y *Tabebuia avellanedae*, seguido de la realización de bioensayos utilizando semillas de lechuga contra extractos en concentraciones 50% y 100% en el laboratorio. Se evidenció que para un menor desarrollo de semillas de las especies *D. regia* y *T. avellanedae*, el solvente de extracción fue un factor determinante, sugiriendo el uso de etanol y agua respectivamente. En el caso de la especie *A. cearensis*, el factor de concentración se mostró más relevante, siendo indicado el uso de extracto diluido para interferencias en la reducción de la longitud de la radícula y el uso de concentración al 100% para brotes. La planificación factorial resultó ser una herramienta satisfactoria y, considerando los resultados, se puede concluir que la especie provocó interferencias negativas en la planta objetivo.

Palabras clave: aleloquímicos, control de plagas, análisis estadístico.

INTRODUÇÃO

O controle das plantas daninhas é fundamental para a produção mundial de diversos alimentos. Mas, nas últimas cinco décadas, as pesquisas voltadas ao manejo das ervas daninhas foram focadas em herbicidas sintéticos, desconsiderando o uso de compostos naturais como uma possibilidade ecologicamente mais adequada para o controle de plantas indesejadas, porém, os herbicidas comumente encontrados no mercado vêm enfrentando o surgimento de resistência por parte das plantas daninhas (Garrido; Kolb, 2020). Isso se dá pelo fato do uso indiscriminado desses produtos, devido à promessa de ação rápida contra as plantas invasoras (Sarkar et al., 2020). Ademais, o uso destes produtos aumenta custo de produção, reduzem a qualidade da colheita, contaminam o meio ambiente e ameaçam à saúde humana e a atividade da pecuária (Del Rey et al., 2013; Gianessi, 2013).

Há, portanto, a necessidade de se estudar formas alternativas de manejo de plantas espontâneas que atendam aos princípios da sustentabilidade agroecológica (Monteiro et al., 2020). A ação alelopática de substâncias produzidas por plantas despertou interesse sobre o desenvolvimento de compostos que podem ser aplicados, como herbicidas naturais, e reduzir os danos econômicos causados pelas ervas daninhas no ambiente agrícola. Uma vez que, os compostos alelopáticos (aleloquímicos), agem como bioherbicidas sem danificar as culturas (Bajwa et al., 2013; Pereira et al., 2017). Estas substâncias podem ser uma alternativa para a substituição ou diminuição do uso de herbicidas sintéticos e, quem sabe, solução para regiões agrícolas que enfrentam o problema de plantas resistentes a determinados agroquímicos (Alves et al., 2020). Uma vez que, Segundo Zimdahl (2018), a interação de alelopatia pode ser definida como a influência, geralmente prejudicial, de uma planta sobre outra, devido a compostos químicos tóxicos (aleloquímicos), presentes nos tecidos da planta que são liberados no ambiente por meio de mecanismos diversos.

Existem diversas variáveis que podem ser influenciadas pelo extrato testado, sendo que a germinação é menos sensível aos aleloquímicos do que o crescimento de plântulas pois, uma semente pode germinar, mas, não se desenvolver, o que torna o fenômeno mais discreto uma vez que a não germinação pode ser acarretada por diversos fatores não controlados (Ferreira; Áquila, 2000; Formigheiri et al., 2018). Além disso, há metodologias para a avaliação da atividade alelopática, porém, a adoção da alface (*Lactuca sativa* L.) como planta alvo tem sido muito explorada pela literatura, uma vez que a espécie apresenta rápida germinação, é sensível à presença de substâncias, possui crescimento linear insensível às diferenças de pH em ampla faixa de variação e insensibilidade aos potenciais osmóticos das soluções. Além de ser

padronizada, internacionalmente, por normas como planta bioindicadora (Gonçalves; Coelho; Camili, 2016; Bitencourt et al., 2021).

A utilização do planejamento fatorial para a otimização dos experimentos em pesquisas sobre alelopatia, é uma prática recente. Em trabalho Campos et al. (2020) fez uso de um planejamento fatorial 2x5, para avaliar os efeitos alelopáticos de *Sorghum bicolor* e *Digitaria insularis* na germinação de sementes e desenvolvimento de mudas de *Brassica napus*. Bianchini e colaboradores (2019) também fizeram uso da ferramenta quimiométrica, aplicando um planejamento fatorial 4x5 para investigar os efeitos de extratos aquosos da parte aérea de *Avena strigosa*, *Cichorium intybus*, *Chenopodium*, *quinoa* e *Fagopyrum esculentum* em diferentes concentrações na germinação e desenvolvimento de *Euphorbia heterophylla*.

Dado o exposto, o presente trabalho teve como objeto analisar possíveis resultados de diminuição no desenvolvimento de raiz e parte aérea das sementes germinadas de *Lactuca sativa* causados por extratos das espécies *Delonix regia*, *Amburana cearensis* e *Tabebuia avellaneda*, fazendo uso da técnica estatística de planejamento fatorial 2³ para a otimização dos parâmetros experimentais parte da planta, solvente de extração e concentração do extrato.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e Preparo do Material Vegetal

Tendo como material vegetal as espécies Flamboyant (*Delonix regia*), Amburana (*Amburana cearensis*) e Ipê roxo (*Tabebuia avellaneda*), e utilizados a casca do caule e folhas para preparação dos extratos vegetais. As cascas e folhas foram coletadas entre os meses de setembro de 2019 a fevereiro de 2020, no município de Bom Conselho, no estado de Pernambuco.

Para a realização dos experimentos, as folhas e cascas foram submetidas à desinfecção por imersão em solução aquosa de hipoclorito de sódio a 2%, por 2 minutos, seguidos do enxágue com água destilada e da secagem (período de 12 horas) sobre papel absorvente na bancada do laboratório.

Preparação dos extratos aquosos

Logo após a desinfecção e secagem pós desinfecção, as cascas e folhas foram trituradas manualmente e pesadas em porções de 50 g (uma porção para cada material vegetal usado no estudo). Em seguida, foram colocadas em recipientes e adicionou-se 500 mL de água destilada, a temperatura ambiente (25 °C). Os recipientes permaneceram envolvidos em papel alumínio e o material ficou em repouso por um período de 48 horas (períodos mais longos poderiam ocasionar

fungos), para obtenção do extrato bruto aquoso que, posteriormente, seguiu para diluição, e obtenção da solução de concentração 50% (v/v), e logo após, o teste de germinação, sendo feito também, um controle com água 0% (Figura 1).

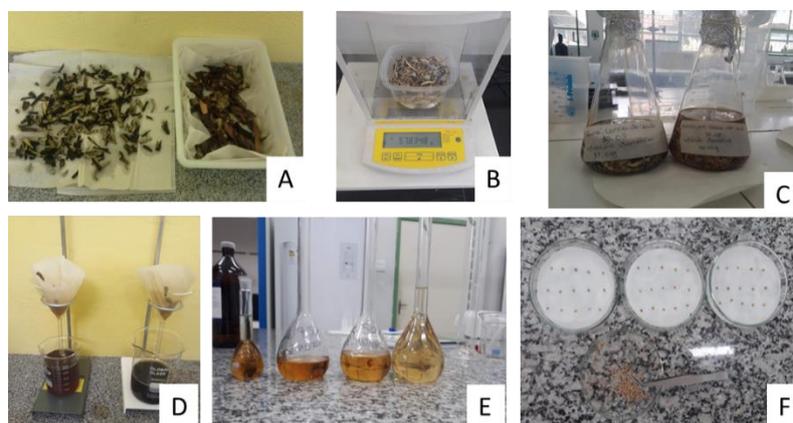


Figura 1. Etapas experimentais envolvendo os extratos aquosos (A – secagem sobre a bancada do laboratório; B – pesagem do material vegetal; C – extração; D – filtração; E – diluição dos extratos; F – ensaio de germinação).

Preparação dos extratos etanólicos

Para a extração em etanol (Figura 2), o material vegetal (representado por cascas e folhas), foi seco sobre a bancada do laboratório e logo depois, triturado manualmente, pesado em balança analítica e transferido para Erlenmeyer, onde volumes apropriados de etanol são adicionados para cobrir toda a massa de casca ou folhas das diferentes espécies testadas, aumentando a superfície de contato (Tabela 1). Em seguida, os recipientes foram lacrados e postos em repouso por sete dias, todas as extrações foram feitas em triplicata. O material extraído foi seco com uso de rotoevaporador, removendo todo o solvente orgânico e obtendo-se os extratos brutos etanólicos das três espécies pesquisadas.

Para o preparo das soluções teste, foi realizada a pesagem, em balança analítica de 1,0 g de extrato. Em seguida, solubilizou-se e transferiu-se o material para um balão volumétrico de 250 mL, completando o volume do balão com álcool etílico, obtendo a solução com concentração

100%. E com uso de diluição, preparou-se a concentração de 50%, sendo utilizado etanol e água como controles (0%).

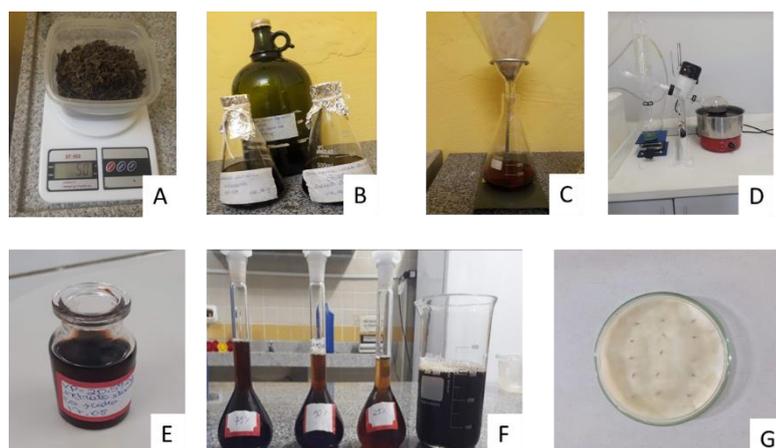


Figura 2. Etapas experimentais envolvendo os extratos etanólicos (A – pesagem do material vegetal; B – extração estática; C – filtração; D – eliminação do solvente orgânico; E – extrato bruto seco; F – preparação da solução teste e diluição; G – ensaio de germinação).

Tabela 1. Volume do solvente e massa do material usado para as extrações

	<i>Delonix regia</i>		<i>Amburana cearensis</i>		<i>Tabebuia avellaneda</i>	
	cascas	folhas	cascas	folhas	cascas	folhas
Massa do material vegetal seco (g)	160,0	60,00	116,2	50,00	104,5	55,00
Volume de solvente (mL)	490,0	500,00	750,0	560,00	650,0	500,00

Ensaio de Germinação

No ensaio de germinação, foram utilizadas placas de Petri esterilizadas, de 9 cm de diâmetro, forradas com um disco de papel-filtro, umedecidos com 5 mL dos referidos tratamentos. Em cada placa, foram adicionadas 15 sementes de alface (*Lactuca sativa*) e após essa etapa, as placas foram mantidas em temperatura constante (25 °C), em caixa térmica na ausência de luz, por um período de sete dias, em condições de igualdade para todas as placas, sendo feito todo o procedimento em triplicata.

Após o período de sete dias, foram coletados os dados de desenvolvimento de raiz e parte aérea, fazendo uso de um paquímetro digital para a medição dos comprimentos, após isso, os resultados foram registrados, avaliando o crescimento das raízes e das partes aéreas das plântulas após o uso dos solventes testados.

Análise Estatística (Planejamento Fatorial 2³)

Foi aplicado um planejamento fatorial completo para avaliar três variáveis do ensaio de alelopatia: parte da planta, solvente de extração e concentrações de extrato. Estas variáveis foram estudadas em dois níveis, através de um planejamento 2³, tendo como resposta as medições de sementes germinadas, em duplicata (total de 48 experimentos para as três plantas). A Tabela 2 apresenta os fatores estudados e seus respectivos níveis.

Tabela 2. Fatores analisados estatisticamente

FATORES	VARIÁVEIS	(-)	(+)
1	Parte da Planta	Folha	Caule
2	Solvente de Extração	Etanol	Água
3	Concentração do Extrato	50%	100%

Os dados de comprimento da radícula e parte aérea coletados foram analisados e tratados estatisticamente, sendo submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste t de student, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos dados de comprimento da raiz das espécies estudadas, foram criadas matrizes de planejamento com as médias de comprimento, obtidas com o uso dos extratos

etanólicos ou aquosos (Tabelas 3, 4 e 5), evidenciando variações nos comprimentos das raízes, possivelmente, ocasionadas pelas variações dos fatores estudados. Tendo em vista a busca por uma alelopatia de inibição, portanto, quanto menores os comprimentos obtidos, maior o possível efeito tóxico de interferência no desenvolvimento da alface. Com base nas matrizes de planejamento já citadas, foi possível construir a tabela de efeitos e interações, multiplicando um a um dos sinais das colunas apropriadas para obter as novas colunas correspondentes às interações de dois fatores e de três fatores mostrados na Tabela 6 a fim de, observar se as respostas mudam à medida que os três fatores estudados (parte da planta, solvente extrator e concentração) são variados.

Tabela 3. Matriz de planejamento da espécie *A. cearensis* quanto ao comprimento da raiz

1	2	3	12	13	23	123	Comprimento da raiz (mm)		Média
-1	-1	-1	1	1	1	-1	4,86	4,38	4,6
1	-1	-1	-1	-1	1	1	9,23	9,69	9,5
-1	1	-1	-1	1	-1	1	6,13	5,92	6,0
1	1	-1	1	-1	-1	-1	3,10	2,10	2,6
-1	-1	1	1	-1	-1	1	4,90	11,50	8,2
1	-1	1	-1	1	-1	-1	8,40	9,62	9,0
-1	1	1	-1	-1	1	-1	4,90	11,50	8,2
1	1	1	1	1	1	1	8,40	9,62	9,0

Tabela 4. Matriz de planejamento da espécie *D. regia* quanto ao comprimento da raiz

1	2	3	12	13	23	123	Comprimento da raiz (mm)		Média
-1	-1	-1	1	1	1	-1	4,86	4,38	4,6
1	-1	-1	-1	-1	1	1	5,80	4,63	5,2
-1	1	-1	-1	1	-1	1	7,36	10,03	8,7
1	1	-1	1	-1	-1	-1	7,77	8,85	8,3
-1	-1	1	1	-1	-1	1	4,90	11,50	8,2
1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,00	0,00	0,0
-1	1	1	-1	-1	1	-1	6,20	10,85	8,5
1	1	1	1	1	1	1	5,49	7,20	6,3

Tabela 5. Matriz de planejamento da espécie *T. avellanedae* quanto ao comprimento da raiz

1	2	3	12	13	23	123	Comprimento da raiz (mm)		Média
-1	-1	-1	1	1	1	-1	4,43	8,16	6,3
1	-1	-1	-1	-1	1	1	9,61	10,39	10,0
-1	1	-1	-1	1	-1	1	3,97	6,27	5,1
1	1	-1	1	-1	-1	-1	4,78	3,76	4,3
-1	-1	1	1	-1	-1	1	6,85	4,75	5,8
1	-1	1	-1	1	-1	-1	7,44	8,58	8,0
-1	1	1	-1	-1	1	-1	2,50	3,40	3,0
1	1	1	1	1	1	1	3,03	3,05	3,0

Tabela 6. Efeitos principais e de interações para a variável resposta comprimento da raiz no planejamento fatorial completo 2³ para as três espécies estudadas

Efeitos e interações	Resultados dos efeitos e interações		
	<i>D. regia</i>	<i>A. cearensis</i>	<i>T. avellanedae</i>
Médias de comprimento da raiz (mm)			
	6,239 ± 0,55	7,141 ± 0,60	5,686 ± 0,33
Efeitos principais			
1	-2,543 ± 1,10	0,759 ± 1,20	1,289 ± 0,65
2	3,460 ± 1,10	-1,364 ± 1,20	-3,681 ± 0,65
3	-0,943 ± 1,10	2,929 ± 1,20	-1,471 ± 0,65
Interações de dois fatores			
12	1,260 ± 1,10	-2,066 ± 1,20	-1,669 ± 0,65
13	-2,648 ± 1,10	0,051 ± 1,20	-0,139 ± 0,65
23	-0,12 ± 1,10	1,36 ± 1,20	-0,23 ± 0,65
Interação entre os três fatores			
123	1,750 ± 1,10	2,066 ± 1,20	0,609 ± 0,65

Para a espécie *D. regia* observa-se uma maior influência ocasionada pelo solvente extrator (fator 2), de modo que o uso da água para obtenção do extrato resultaria em 3,46 mm de comprimento da raiz a mais do que com o uso do etanol, desta forma, o uso do solvente orgânico seria o mais indicado. Silva et al. (2010) indicaram que os extratos etanólicos de *Anadenanthera macrocarpa* (Fabaceae) influenciaram, negativamente, a espécie *B. chinensis* (couve) e *L. sativa* (alface), corroborando com os resultados obtidos. Entre as interações de dois fatores, a que

ocorre entre a parte da planta e concentração do extrato (interação 13) foi a mais significativa, sugerindo que o extrato bruto obtido a partir da casca do caule, possui um maior efeito fitotóxico frente à alface, já que, conforme observamos na tabela 6, o uso de uma solução a 50% do extrato foliar causaria um crescimento maior em 2,648 mm. Silveira, Maia, Coelho (2012) ao estudarem o potencial alelopático da casca da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), também da família Fabaceae, sobre a germinação de sementes e crescimento de plântulas de alface, observaram efeito fitotóxico da espécie, sendo que o extrato bruto afetou drasticamente os comprimentos de raiz e parte aérea.

Em relação à espécie *A. cearensis*, o fator principal 3 (concentração do extrato), foi significativo mostrando que a concentração mais diluída ocasiona menores comprimentos em comparação ao extrato bruto. Corroborando com Da Silveira, Maia e Coelho (2012), que ao usar extratos aquosos de folhas de *M. tenuifolia* (Fabaceae), observaram efeito fitotóxico sobre o desenvolvimento de plântulas de alface em concentrações mais diluídas (25% e 50%), obtendo efeitos de redução do comprimento da raiz e da parte aérea. Observações efetuadas por outros pesquisadores indicam que não existe um padrão para as concentrações dos extratos agirem de forma tóxica frente a espécie testada. Por exemplo, em testes com *Casearia sylvestris* (Salicaceae), o teste de germinação só foi influenciado, negativamente, nas maiores concentrações (90 e 100%), enquanto na *Joannesia princeps* (Euphorbiaceae), a inibição na germinação de alface ocorreu a partir da concentração de 30% (Capobianco et al., 2009). Em estudos com *Zea mays* (Poaceae), o extrato do caule causou efeito alelopático somente nas concentrações 250 e 500 mg.L⁻¹, já o extrato foliar apresentou efeito alelopático na germinação apenas na maior concentração (1.000 mg.L⁻¹), a qual promoveu inibição de 13% (Linhares-Neto et al., 2014). Em contrapartida, Oliveira et al. (2011) trabalhando com folhas frescas de *Rheedia brasiliensis* (Clusiaceae), frente a sementes de alface, verificaram que, a partir de extratos a 20%, ocorria efeito negativo.

Sobre a espécie *T. avellanadae*, o fator 2 (solvente de extração) demonstrou melhores resultados. O uso de etanol, neste caso, acarretaria em um aumento de 3,68 mm em relação ao fator em nível oposto (água), sendo assim, a água seria o solvente sugerido para obtenção do extrato bruto com atividade alelopática. Resultados coerentes com os obtidos por Silva, Machado e Albuquerque (2018), onde extratos aquosos obtidos a partir das folhas de *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae) influenciaram em resultados de diminuição no porcentual de germinação, o índice de velocidade de germinação e velocidade de germinação de sementes de *L. sativa*.

Quanto às interações, apenas as dos fatores 1 e 2 é significativa, sendo o extrato aquoso de *T. avellanadae* obtido a partir da casca do caule, o mais indicado para o uso como inibidor de crescimento das raízes. Um Estudo sobre o potencial alelopático de extrato aquosos da casca interna e da raiz de *Tecomella undulata* (Bignoniaceae), observou-se decréscimos no desenvolvimento de plântulas de trigo e feijão (Mohsenzadeh; Tayyebi; Da Silva, 2012).

Quanto a análise dos resultados, a partir dos dados de comprimento da parte aérea das sementes teste, resultou na formação das matrizes expostas nas Tabelas 7, 8 e 9, que, seguindo os resultados anteriores, apresentaram variações possivelmente causadas pelos extratos das espécies estudadas. E, conforme realizado, anteriormente, para os dados obtidos a partir das raízes, as médias de comprimento da parte aérea também foram tratadas estatisticamente, o que acarretou na formação da Tabela 10, que traz resultados acerca dos efeitos e interações entre os fatores variáveis, a fim de observar se há influência desses fatores sobre as sementes receptoras.

Tabela 7. Matriz de planejamento da espécie *A. cearensis* quanto ao comprimento da parte aérea

1	2	3	12	13	23	123	Comprimento parte aérea (mm)		Média
-1	-1	-1	1	1	1	-1	9,36	4,72	7,0
1	-1	-1	-1	-1	1	1	10,80	13,10	12,0
-1	1	-1	-1	1	-1	1	16,33	15,38	15,9
1	1	-1	1	-1	-1	-1	5,78	5,70	5,7
-1	-1	1	1	-1	-1	1	3,55	5,40	4,5
1	-1	1	-1	1	-1	-1	4,06	6,51	5,3
-1	1	1	-1	-1	1	-1	3,55	5,40	4,5
1	1	1	1	1	1	1	4,06	6,51	5,3

Tabela 8. Matriz de planejamento da espécie *D. regia* quanto ao comprimento da parte aérea

1	2	3	12	13	23	123	Comprimento da raiz (mm)		Média
-1	-1	-1	1	1	1	-1	4,86	4,38	4,6
1	-1	-1	-1	-1	1	1	9,23	9,69	9,5
-1	1	-1	-1	1	-1	1	6,13	5,92	6,0
1	1	-1	1	-1	-1	-1	3,10	2,10	2,6
-1	-1	1	1	-1	-1	1	4,90	11,50	8,2
1	-1	1	-1	1	-1	-1	8,40	9,62	9,0
-1	1	1	-1	-1	1	-1	4,90	11,50	8,2
1	1	1	1	1	1	1	8,40	9,62	9,0

Tabela 9. Matriz de planejamento da espécie *T. avellaneda* quanto ao comprimento da parte aérea

1	2	3	12	13	23	123	Comprimento parte aérea (mm)	Média	
-1	-1	-1	1	1	1	-1	7,21	14,38	10,8
1	-1	-1	-1	-1	1	1	10,17	15,20	12,7
-1	1	-1	-1	1	-1	1	9,83	7,70	8,8
1	1	-1	1	-1	-1	-1	6,15	5,76	6,0
-1	-1	1	1	-1	-1	1	6,05	8,59	7,3
1	-1	1	-1	1	-1	-1	13,12	12,96	13,0
-1	1	1	-1	-1	1	-1	3,30	6,30	4,8
1	1	1	1	1	1	1	4,25	4,20	4,2

Tabela 10. Efeitos principais e de interações para a variável resposta comprimento da parte aérea no planejamento fatorial completo 2³ para as três espécies estudadas

Efeitos e interações	Resultados dos efeitos e interações			
	<i>D. régia</i>	<i>A. cearensis</i>	<i>T. avellaneda</i>	
Médias de comprimento da parte aérea (mm)				
	11,664 ± 0,70	7,513 ± 0,43	8,448 ± 0,62	
(-)	Efeitos principais			para
1	-8,668 ± 1,40	-0,896 ± 0,85	1,056 ± 1,23	
2	15,063 ± 1,40	0,651 ± 0,85	-5,024 ± 1,23	
3	-2,208 ± 1,40	-5,266 ± 0,85	-2,204 ± 1,23	
Interações de dois fatores				
12	-5,418 ± 1,40	-3,756 ± 0,85	-2,749 ± 1,23	
13	-2,463 ± 1,40	1,706 ± 0,85	1,516 ± 1,23	
23	1,58 ± 1,40	-0,65 ± 0,85	-0,64 ± 1,23	
Interação entre os três fatores				
123	-1,238 ± 1,40	3,756 ± 0,85	-0,399 ± 1,23	

variáveis em níveis negativos

Os resultados referentes à espécie *D. regiam* indicam que, o solvente de extração (fator 2), em níveis positivos acarretariam um comprimento de parte aérea de cerca de 15,0 mm, ou seja, o nível oposto (etanol), apresenta uma diminuição importante do desenvolvimento das plântulas.

Resultados parecidos foram obtidos por Pereira et al. (2018) ao avaliar extratos da espécie *C. ensiformis* (Fabaceae), obtendo resultados importantes de inibição da percentagem e do índice de velocidade de germinação de *L. sativa* com o uso do extratos etanólicos da espécie.

Para a espécie *A. cearensis*, o fator principal concentração do extrato (fator 3), foi o mais influente, sendo aconselhado o uso do extrato bruto. Os estudos de Martins et al. (2020), a partir dos extratos de folhas frescas e secas de *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae), apresentam resultados de diminuição no processo de desenvolvimento de *L. sativa* quando aplicado o extrato bruto (100%).

Quanto a espécie *T. avellanadae*, o fator 2 apresentou maior influência, sendo que o uso do etanol, ocasiona em um aumento de comprimento de 5,02 mm em relação a água, neste sentido, para que haja menores comprimentos de parte aérea, a água é o solvente sugerido para obtenção do extrato bruto com atividade alelopática. Resultados semelhantes ao encontrados para a espécie *Anemopaegma Arvense* (Bignoniaceae), utilizando os extratos aquosos da casca do caule obtidos a quente e a frio, frente a sementes de *L. sativa*, reduzindo os índices de germinação e desenvolvimento da espécie (Rios; Pires; Carvalho, 2018).

Quanto a interação entre dois fatores, a que ocorre entre os fatores 1 e 2 foi significativa para todas as espécies, os níveis negativos acarretaram aumento no comprimento da parte aérea, sendo aconselhado o uso dos níveis positivos (casca e água), para possibilitar menores comprimentos. Resultados encontrados por Rio, Pires e De Carvalho (2018), em estudos sobre o potencial alelopático de extratos aquosos da casca das espécies *Atryphnodendron adstringens* (Fabaceae) e *Anemopaegma Arvense* (Bignoniaceae), mostraram resultados importantes de interferência negativa na germinação e crescimento de sementes de alface e tomate. Os extratos aquosos da casca da espécie *Erythrina velutina* (Fabaceae), causaram danos na germinação e no desenvolvimento de sementes *L. sativa*, corroborando com os resultados encontrados (OLIVEIRA et al., 2012).

Quanto à interação entre os 3 fatores, ela foi significativa apenas para a espécie *Amburana cearensis*, sendo sugerido o uso combinado da folha, etanol e concentração 50% para menores comprimentos em relação aos fatores de nível oposto. O que se assemelha aos resultados obtidos por Pereira (2017), ao utilizar extratos aquosos foliares da espécie *C. ensiformis* (Fabaceae), em concentrações mais diluídas, obtendo resultados de inibição germinativa e de desenvolvimento de sementes de *L. sativa*, *D. insularis*, *E. coccínea* e *P. oleracea*.

De acordo com Pereira et al. (2018); Goldfarb, Pimentel e Pimentel (2009), o fato das espécies diferirem quanto às respostas, provavelmente, está relacionado ao fato de que nas plantas os metabólitos secundários estão distribuídos em diferentes órgãos e concentrações, ao longo da sua fase fenológica. Silveira, Maia e Coelho (2012) ao estudarem o potencial alelopático da casca da jurema-preta *Mimosa tenuiflora* (Fabaceae), sobre a germinação de sementes e crescimento de plântulas de alface, observaram efeito fitotóxico da espécie. Por outro lado,

Wandscheer e Pastorini (2008), ao estudarem os possíveis efeitos alelopáticos, observaram que são as folhas e as raízes de *Raphanus raphanistrum* (Brassicaceae), frente alface e tomate que geram grandes prejuízos na germinação da alface. A sazonalidade também pode influenciar na produção e na diversidade dos fitoconstituintes (Gobbo-Neto; Lopes 2007). Desta maneira, outra época ou local poderiam propiciar resultados distintos quanto à presença e/ou intensidade dos compostos. Os diferentes métodos de obtenção de extratos induzem diferentes metabólitos secundários, o que, provavelmente, afeta o padrão de resposta das variáveis submetidas para diferentes extratos (Cruz Silva et al., 2015). Estudos realizados por Cruz, Nozaki e Batista (2000) relatam que a forma de preparo e o método de aplicação são fatores decisivos na obtenção de resultados, pois princípios ativos vegetais são instáveis e não se distribuem de forma homogênea na planta. Neste sentido, variações nos resultados sobre uma mesma espécie podem ocorrer visto a ampla gama de variáveis dentro de um experimento.

Observa-se que ambas as espécies estudadas foram influenciadoras nos comprimentos de raiz e parte aérea, o que pode ser devido presença de compostos com atividade alelopática (aleloquímicos), em sua composição. Dos Santos et al. (2016), relatam o isolamento de substâncias da *Amburana cearensis*, como cumarinas, glicosídeos, fenólicos e flavonóides. Sendo as cumarinas o grupo de metabólitos mais abundantes na espécie e com maior relevância no que se refere a alelopatia (Araújo, 2018). Ainda sobre a espécie, a atividade alelopática da espécie foi estudada por Oliveira, Coelho e Diógenes (2020), que obtiveram resultados importantes de inibição de plântulas de melão com o uso do extrato hexânico obtido a partir da semente da espécie. Lessa et al. (2017), ao estudarem os extratos aquosos das folhas da espécie *A. cearensis* e *P. barbatus* sobre a germinação de sementes de caruru (*Amaranthus deflexus*), inferiram que o cumaru inibiu em grande percentual a germinação da planta alvo.

De acordo com Budni et al. (2007), em seus estudos sobre a ação antioxidante das folhas jovens e adultas da espécie *Tabebuia avellanedae*, em extrato hidroetanólico, afirmou que as folhas adultas desta espécie possuem composição flavonóidica diferente das folhas jovens, e que esta diferença influencia no desempenho antioxidante frente a esses radicais. Quanto à atividade antimicrobiana, os estudos revelam o efeito do extrato de ipê roxo na inibição do crescimento de muitas bactérias gram-positivas e algumas outras gram-negativas (Machado et al., 2003). As atividades antimicrobiana, antiinflamatória e antineoplásicas são promovidas por saponinas, flavonóides, cumarinas e antibióticos naturais, como o lapachol e seus derivados (DE MIRANDA et al., 2001). Colacite (2015), infere a presença de alcalóides, flavonóides e taninos nos extratos da espécie, porém, a atividade antimicrobiana não foi tão efetiva quanto resultados expostos na literatura anteriormente.

Investigações fitoquímicas prévias de *D. regia* revelaram ocorrências de auroxantina com ação antioxidante, de origem da coloração amarelo-laranja (Carrie, 2001). Feng et al. (2014) extraíram taninos condensados de folhas, frutas e cascas do caule da árvore flamboyant. A

presença de metabólitos secundários infere grande interesse econômico, uma vez que são aplicados em gomas, corantes, pesticidas, medicamentos e resinas (Zappi et al., 2015)

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos a partir das médias de comprimentos de raiz, verificou-se que os efeitos principais foram os mais relevantes, sendo que para a espécie *D. regia* e *T. avellanadae*, o fator 2 (solvente de extração), foi o mais influente, sugerindo-se o uso do solvente etanol e da água respectivamente. Já no caso da espécie *A. cearensis*, o fator concentração mostrou-se mais relevante, sendo indicado o uso do extrato diluído.

Os dados relativos aos comprimentos da parte aérea indicam que os efeitos principais da espécies *D. regia* e *T. avellanadae* permaneceram iguais aos encontrados para o comprimento das raízes, enquanto para *A. cearensis*, o uso da concentração 100% seria a indicada neste caso. As interações entre os fatores parte da planta e solvente de extração foram relevantes para todas as espécies, revelando a casca e a água como variáveis que influenciaram menores comprimentos de parte aérea em relação aos níveis opostos.

Desta forma, a técnica de planejamento fatorial aliada a alelopatia mostrou-se satisfatória para obtenção de resultados acerca de efeitos e interações que possivelmente causariam interferências no desenvolvimento de *L. sativa*.

Como perspectiva futura, faz-se necessário aumentar a variedade de sementes testadas, a fim de testar a toxicidade das espécies em relação a outras plantas alvo, além de realizar o fracionamento dos extratos, como forma de encontrar a fração mais rica nos aleloquímicos de interesse.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo e Pesquisa de Alagoas (FAPEAL) pelo auxílio financeiro da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, L. S. et al. Potencial alelopático de folhas e capítulos de girassol sobre a germinação de *Digitaria insularis*. Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente, v.1, n.1, p.149-149, 2020.

Araújo, J. R. S. Avaliação do potencial antioxidante, citotóxico e genotóxico do extrato foliar de *Amburana cearensis* (Allemão) AC SM. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Genética, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

- Bianchini, A. et al. Allelopathy of Cover Crops on the Germination and Initial Development of *Euphorbia heterophylla*. Journal of Agricultural Science, v.11, n.14, 2019.
- Bitencourt, G. de A. et al. Fitoquímica e Alelopatia da Aroeira-Vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) na Germinação de Sementes. Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde, v.25, n.1, p.2-8, 2021.
- Bajwa, A. A. et al. Influence of combinations of allelopathic water extracts of different plants on wheat and wild oat. Pakistan Journal of Weed Science Research, v.9, n.2, 2013.
- Budni, P. et al. Estudos preliminares da atividade antioxidante do extrato hidroetanólico de folhas jovens e adultas de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo (ipê-roxo). Latin American Journal of Pharmacy, v.26, n.3, p.394, 2007.
- Campos, T. S. et al. Allelopathic effect of *Sorghum bicolor* and *Digitaria insularis* on germination and initial development of Canola. Revista de Agricultura Neotropical, v.7, n.4, p.65-72, 2020.
- Capobianco, R. A.; Vestena, S.; Bittencourt, A. H. C. Allelopathy of *Joanesia princeps* Vell. and *Casearia sylvestris* Sw. on the cultivated species. Revista Brasileira de Farmacognosia, v.19, n.4, p.924-930, 2009.
- Carrie, M. *Calendula officinalis*. Boulder: The Herb Research Foundation, 2001. Disponível em: Herb Information Greenpaper. <http://www.herbs.org/greenpapers/calendula.html>. Acesso em: 20 de mai. de 2021.
- Colacite, J. Triagem fitoquímica, análise antimicrobiana e citotóxica e dos extratos das plantas: *Schinus terebinthifolia*, *Maytenus ilicifolia* Reissek, *Tabebuia avellanadae*, *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. Saúde e Pesquisa, v.8, n.3, p.509-516, 2015.
- Cruz, S. E. M.; Nozaki, M. H.; Batista, M. A. Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, Plantas medicinais, n.15, p.28-34, 2000.
- Cruz-Silva, C. T. A. et al. Alelopatia de extratos aquosos de *Bidens sulphurea* no desenvolvimento de alface. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v.17, n.4, p.679-684, 2015.
- Del Rey, J. C., et al. Field sprayer for inter and intra-row weed control: performance and labor savings. Spanish journal of agricultural research, n.3, p.642-651, 2013.
- De Miranda, F. G. G. et al. Antinociceptive and antiedematogenic properties and acute toxicity of *Tabebuia avellanadae* Lor. ex Griseb. inner bark aqueous extract. BMC pharmacology, v.1, n.1, p.1-5, 2001.
- Dos Santos, E. S.; Machado, M. A. B. L.; Albuquerque, K. A. D. Efeito alelopático de extrato aquoso de folhas de *Tabebuia aurea* (silva manso) benth. & hook f. ex s. moore sobre a germinação de sementes de *Lactuca sativa* L. Revista Ouricuri, v.8, n.2, p.10 - 25, 2018.
- Dos Santos, L. O. et al. Avaliação da Atividade Antioxidante dos Compostos Fenólicos Presentes na *Amburana cearensis*. Orbital: The Electronic Journal of Chemistry, v.1, n.1, p.44-49, 2016.
- Feng, H. L. et al. Isolation and purification of condensed tannins from Flamboyant Tree and their antioxidant and antityrosinase activities. Applied Biochemistry and Biotechnology, v.173, p.179-192, 2014.
- Formigheiri, F. B. et al. Alelopatia de *Ambrosia artemisiifolia* na germinação e no crescimento de plântulas de milho e soja. Revista de Ciências Agrárias, v.41, n.3, p.729-739, 2018.

- Garrido, R. M.; Kolb, R. M. A busca por novos herbicidas para plantas daninhas resistentes. *Aprendendo Ciência*, v.9, n.1, p.47-49, 2020.
- Gianessi, L. P. The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. *Pest management science*, v.69, n.10, p.1099-1105, 2013.
- Gobbo-Neto, L.; Lopes, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química nova*, v.30, n.2, p.374-381, 2007.
- Goldfarb, M.; Pimentel, L. W.; Pimentel, N. W. Alelopatia: relações nos agros ecossistemas. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.3, n.1, p.23-28, 2009.
- Gonçalves, V. D.; Coelho, M. F. B.; Camili, E. C. Bioensaios em sementes de *Lactuca sativa* L. com extrato de folhas de *Kielmeyera coriácea* Mart. & Zucc. *Rev. Int. Ciênc.*, v.6, n.2, p.160-170, 2016.
- Lessa, B. F. D. T. et al. Efeitos alelopáticos de extratos aquosos de folhas de *Amburana cearensis* e *Plectranthus barbatus* na germinação de *Amaranthus deflexus*. *Revista de Ciências Agrárias*, v.40, n.1, p.79-86, 2017.
- Machado, T. B. et al. In vitro activity of Brazilian medicinal plants, naturally occurring naphthoquinones and their analogues, against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *International journal of antimicrobial agents*, v.21, n.3, p.279-284, 2003.
- Martins, G. M. C. et al. Potencial Alelopático De Extratos Aquosos De Folhas De *Anadenanthera colubrina* (vell.) Brenan. *Revista Ouricuri*, v.10, n.1, p. 1-10, 2020.
- Mohsenzadeh, S.; Tayyebi, N. S.; Da Silva, J. A. T. Allelopathic Potential of *Tecomella undulata* (Roxb.) Seem. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, v.6, n.1, p.75-77, 2012.
- Monteiro, J. F. et al. Potencial de uso de espécies de gramíneas e leguminosas no manejo de plantas espontâneas. *Cadernos de Agroecologia*, v.15, n.2, 2020.
- Linhares-Neto, M. V. et al. Avaliação alelopática de extratos etanólicos de *Copaifera sabulicola* sobre o desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa*, *Lycopersicon esculentum* e *Zea mays*. *Biotemas*, v.27, n.3, p.23-32, 2014.
- Oliveira, A. K. M. et al. 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, 2011.
- Oliveira A. K.; Coelho M. F. B; Diógenes F. E. P. Atividade alelopática do extrato aquoso de sementes de *Amburana cearensis* na emergência do melão. *Revista Caatinga*, v.33, n.1, p.274-280, 2020.
- Oliveira, A. K. et al. Alelopatia de extratos de diferentes órgãos de mulungu na germinação de alface. *Horticultura Brasileira*, v.30, n.3, p.480-483, 2012.
- Pereira, G. A. M. et al. Interferência de plantas daninhas no crescimento da cultura do Trigo. *Journal Of Neotropical Agriculture*, v.4, n.3, p.23-29, 2017.
- Pereira, J. C. Potencial alelopático e estudo fitoquímico dos extratos aquosos e etanólicos de *Canavalia ensiformis* (L.) DC e *Paspalum maritimum* Trind, 2017.

Pereira, J. C. et al. Potencial alelopático e identificação dos metabólitos secundários em extratos de *Canavalia ensiformis* L. Revista Ceres, v.65, n.3, p.243-252, 2018.

Rios, R. R. S.; Pires, E. V.; De Carvalho, C. M. Avaliação do potencial alelopático de extratos aquosos de *Stryphnodendron Adstringens* (FABACEAE) e *Anemopaegma Arvense* (BIGNONIACEAE) em sementes de tomate e alface, 2018.

Sarkar, D. et al. Low input sustainable agriculture: a viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. Ecological Indicators, v.115, p.106-412, 2020.

Silva, R. M. G. et al. Potencial alelopático de extrato etanólico de *Anadenanthera macrocarpa* e *Astronium graveolens*. Bioscience Journal, v.26, n.4, 2010.

Silveira, P. F.; Maia, S. S. S.; Coelho, M. D. F. B. Potencial alelopático do extrato aquoso de cascas de jurema preta no desenvolvimento inicial de alface. Revista Caatinga, v.25, n.1, p.20-27, 2012.

Wandscheer, A. C. D.; Pastorini, L. H. Interferência alelopática de *Raphanus raphanistrum* L. sobre a germinação de *Lactuca sativa* L. e *Solanum Lycopersicon* L. Ciência Rural, v.38, n.4, p.949-953, 2008.

Zappi, D. C. et al. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. Rodriguésia, v.66, n.4, p.1085-1113, 2015.

Zimdahl, R. L. Allelopathy. In: Zimdahl, R. L. Fundamentals of weed science. 5. ed. Colorado: Academic press, p.758, 2018.