

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS NA ATIVIDADE ALELOPÁTICA DE EXTRATOS DE *JATROPHA GOSSYPIIFOLIA*: UMA ABORDAGEM POR PLANEJAMENTO FATORIAL

DOI: 10.5281/zenodo.20706865

Edvan Jemerson Elias Da Silva Moura¹

¹Graduando de Licenciatura em Química – Universidade Estadual de Alagoas

edvanjemerson84@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3556556181573895>

Edjane Vieira Pires²

²Doutora em Ciências – Universidade Federal de Alagoas

edjane.pires@uneal.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8241958850736666>

RESUMO: As plantas invasoras tendem a trazer diversas perdas de rendimento dos cultivos agrícolas e, o controle das mesmas, geralmente se dá pelo uso de herbicidas sintéticos que, embora eficientes, trazem desvantagens que perpassam pelos danos à saúde do homem e ao meio ambiente. Isto torna essencial que hajam pesquisas que visem o desenvolvimento de estratégias alternativas, tal qual o emprego de herbicidas de origem vegetal ou bioherbicidas. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de um planejamento fatorial 2³, quais condições experimentais favorecem a diminuição do desenvolvimento inicial de sementes de *Lactuca sativa*, estudando as variáveis: concentração, parte da planta e solvente de extração além de suas interações. Neste sentido, foram preparados em laboratório, óleos essenciais das folhas ou sementes de *Jatropha gossypifolia*, obtidos em hexano, diclorometano ou acetato de etila, a depender do planejamento empregado (1, 2 ou 3). Dentre os achados, percebeu-se que a parte da planta foi o fator determinante, sugerindo-se o uso do extrato das sementes *J. gossypifolia* para interferências de diminuição no comprimento da radícula e da parte aérea da semente de *L. Sativa*. O planejamento fatorial mostrou-se um recurso satisfatório e diante dos resultados, pode-se concluir que as espécies causaram interferências negativas sobre a planta alvo.

Palavras-chave: Alelopatia de inibição; Pinhão roxo; Planejamento fatorial.

1. INTRODUÇÃO

A família Euphorbiaceae que contém aproximadamente 170 espécies conhecidas, das quais inclui a *Jatropha gossypifolia*, é uma espécie vegetal pertencente ao gênero *Jatropha* e popularmente conhecida no Brasil como “pinhão-roxo”, ou mundialmente como “arbusto-de-dor-de-barriga” (Sabandar et al. 2013). Segundo Kumar e Sharma, 2008 apud Sabandar et al., 2013 o nome *Jatropha* é derivado da palavra grega “*jatros*” (médico) e “*trophe*” (alimento). No mundo todo a sua ocorrência é em geral no continente africano, já no Brasil, sua ocorrência predomina na Amazônia, Caatinga e Mata Atlântica, mas está distribuída por todo o país nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste (Alves, 1998, Félix-Silva et al., 2014).

A invasão de plantas daninhas representa uma séria ameaça à biodiversidade global, uma vez que essas espécies têm a capacidade de reduzir os níveis de produtividade em culturas vegetais que constituem a base alimentar da população. As ervas daninhas figuram entre os principais fatores limitantes da produção de alimentos nos sistemas agrícolas em escala mundial. A competição por recursos essenciais, tais como, água, luz, nutrientes e espaço, desencadeada pela presença dessas plantas, contribui para a diminuição da produtividade e/ou da qualidade dos produtos colhidos quando elas se desenvolvem simultaneamente às culturas agrícolas (Jha et al., 2017 apud Lopes et al., 2022). Segundo Swanton et al. (2015) apud Jha et al. (2017), o desenvolvimento de estratégias de manejo de ervas daninhas que sejam economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis exige uma compreensão aprofundada dos conceitos e fatores que regem as interações competitivas entre culturas e plantas daninhas.

Li et al., (2011) diz que, a alelopatia pode ser definida como o processo em que a planta produz substâncias químicas (aleloquímicos) que suprime o crescimento e o estabelecimento de outras plantas, conforme demonstrado na figura 1. Entretanto, vale ressaltar que, os aleloquímicos podem estimular ou inibir a germinação e/ou o crescimento das plantas e aumentar a resistência das culturas ao estresse biótico e

Abiótico (Jinxin et al. (2021). As substâncias alelopáticas são liberadas dos tecidos vegetais por volatilização, lixiviação, exsudação radicular e pela decomposição de resíduos vegetais (Rice, 1984).

Figura 1 - Efeito alelopático de compostos fenólicos



Fonte: Putnam e Duke, (2024)

Um dos fatores que impulsiona os pesquisadores a buscarem esses aleloquímicos, vem da crescente resistência a substâncias presentes nos herbicidas comerciais. Atualmente, há no Brasil espécies de carurus resistentes a alguns herbicidas, ou seja, existem plantações que não

são mais controladas por produtos que costumavam ser eficientes, como o *Amaranthus hybridus*, resistente ao glifosato (inibidor da EPSPS – 5-enol-piruvil-shiquimato-3-fosfato sintase) e ao clorimuron (inibidor da ALS – enzima aceto lactato sintase) (Barroso et al. 2024). Além disso, o uso excessivo de herbicidas químicos contribuiu significativamente para a degradação do solo, poluição ambiental e efeitos adversos em organismos não-alvo e provou ter efeitos deletérios na saúde humana (Kostina-Bednarz, Płonka, Barchanska, 2023).

A exemplo da ação bioherbicida de espécies vegetais, tem-se a *Artemisia argyi* (*Asteraceae*), rica em ácidos fenólicos, especialmente ácido cafeico (AC), capazes de reduzir o crescimento de ervas daninhas mono e dicotiledôneas em diferentes graus dependentes de concentração, além de induzir a concentração de espécies reativas de oxigênio (ERRO) nas mesmas (Chen et al., 2022).

No que concerne as pesquisas envolvendo alelopatia de inibição de *Jatropha gossypifolia* de plantas daninhas, é possível citar Lopes et al., (2022) que demonstrou que os extratos de *Jatropha gossypifolia* foram capazes de inibir em até 45% a germinação de *Bidens bipinnata*. Em estudo realizado por Mahalik, (2020), observou-se que os extratos aquosos da espécie *J. gossypifolia* atuou inibindo a germinação, cumprimento da radícula e parte aérea do grão de bico (*Cicer arietinum*). No entanto, outros estudos são necessários, demonstrando a ação alelopática das diferentes partes que compõe a planta, frente a diferentes sementes receptoras, além de estudos que comprovem as substâncias responsáveis por seu potencial alelopático.

Nessa perspectiva, os bioherbicidas surgem como uma alternativa mais segura, sendo amplamente definidos como produtos derivados de organismos vivos ou de seus metabólitos secundários, capazes de suprimir populações de ervas daninhas-alvo sem causar prejuízos ao meio ambiente (Scavo e Mauromicale, 2021 apud Kostina-Bednarz, Płonka, Barchanska, 2023).

O planejamento fatorial é amplamente utilizado em pesquisas devido à sua efetividade na análise de processos experimentais, permitindo compreender de maneira mais precisa os efeitos das variáveis e suas interações (Neto et al., 2007 apud Oliveira et al., 2018). Segundo Barros Neto et al. (1996 apud Cunico et al., 2008), esse tipo de planejamento é particularmente indicado quando se deseja estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência, uma vez que, em cada tentativa ou réplica, todas as combinações possíveis dos níveis de cada variável são examinadas. Para a aplicação do planejamento fatorial, é necessário selecionar um número fixo de níveis para cada fator, conforme descrito por Neves et al. (2002 apud Cunico et al., 2008). Normalmente, esse planejamento é representado por b^a , em que “a” indica o número de

fatores e “b” o número de níveis escolhidos. Por envolver múltiplos testes simultaneamente, o planejamento fatorial permite avaliar diversas possibilidades e variáveis distintas, possibilitando a obtenção de resultados de forma mais rápida e eficiente.

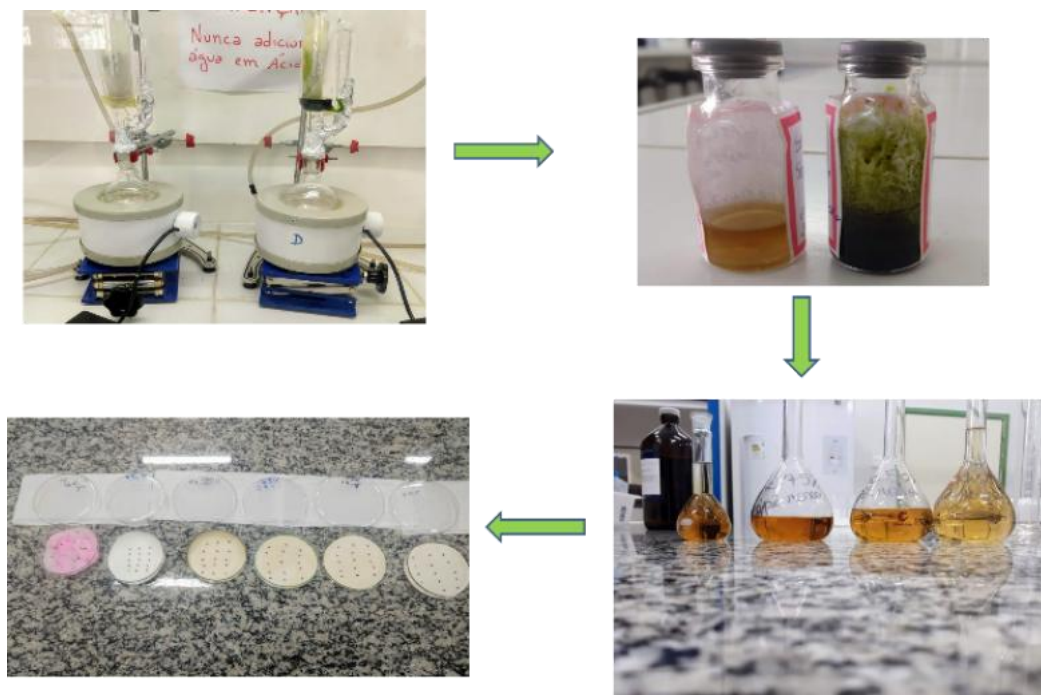
Com isso, o objetivo do presente trabalho é avaliar a capacidade alelopática dos extratos das folhas e sementes de *Jatropha gossypifolia*, através do planejamento fatorial 2^3 , afim de indicar a existência de biomoléculas promissoras para atuarem como bioherbicida.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparação dos Extratos

A coleta do material vegetal, representado pelas folhas e sementes da espécie *Jatropha gossypifolia*, foi coletado na zona rural dos municípios de Palmeira dos Índios-AL e Arapiraca-AL, logo em seguida o material foi colocado para secagem em luz natural e em seguida picado, pesado e submetido à extrações em aparelho extrator Soxhlet. Feito esses processos o material vegetal foi posto à extração em solventes orgânicos, nas quais foram: em hexano, diclorometano ou acetato de etila, a depender do planejamento empregado (1, 2 ou 3), com um tempo total de extração de 6 horas. Após a conclusão da extração em Soxhlet, balões de fundo redondo foram removidos do aparelho com suas soluções e alocados no evaporador rotativo para remoção do máximo de solvente, deixando apenas os óleos fixos provenientes do experimento, após isso, foram realizados os bioensaios de germinação (figura 2).

Figura 2 – Obtenção de Óleos Essenciais de *J. gossypifolia* para Bioensaios de Alelopatia em *Lactuca sativa*



2.2 Bioensaios de Germinação e Desenvolvimento

Para o bioensaio de desenvolvimento das sementes, foram utilizadas placas-de-petri esterilizadas de 9 cm de diâmetro, forradas com 2 discos de papel-filtro, umedecidos com 5 mL dos referidos tratamentos. Em cada placa foram adicionadas 15 sementes de *Lactuca sativa*, após essa etapa, as placas ficaram mantidas em temperatura constante (25 °C) e ambiente estéril, com fotoperíodo de 12 h, durante 7 dias, em condições de igualdade para todas as placas. Passado esse período foi feito a contagem de sementes germinadas conforme descrito por Borghetti; Ferreira (2004) e Ferreira; Aquila (2000), ou seja, quando se tornou visível a protrusão da radícula através do tegumento. Em continuidade, ainda foi realizada a medição do comprimento da raiz e parte aérea, determinantes para avaliar o desenvolvimento da espécie alvo (*Lactuca sativa*). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade utilizando o software SAEG.

2.3 Análise Estatística

Com os testes de bioensaios efetuados partiu-se para identificar os fatores mais favoráveis para o desenvolvimento das sementes de *Lactuca sativa* aplicando-se um planejamento fatorial completo para avaliar três variáveis do ensaio de alelopátia em todos os planejamentos (1, 2 e 3), sendo elas: Parte da Planta, Solvente de Extração e Concentração de Extrato. Estas variáveis foram estudadas em dois níveis, através de um planejamento 2^3 , como resposta ao desenvolvimento da quantidade de sementes germinadas.

As tabelas 2, 4 e 6 apresentam os fatores estudados em cada planejamento e seus respectivos níveis. O software utilizado foi o MINITAB 18 (Minitab Institute, EUA), para identificar os efeitos principais e interações mais significativas quando se deseja avaliar o potencial alelopático da espécie, ou seja, o poder de inibição do extrato. Neste modelo, as interações estudadas foram, 12, 13, 23 e também 123, com o intuito de detectar as melhores combinações que garantam a otimização dos resultados. No que se

Refere essas interações, estão relacionadas as junções dos fatores expostos nas Tabelas 2, 4 e 6, onde, para a interação 12 será referente aos fatores parte da planta e solvente de extração, para a interação 13 será a parte da planta e concentração do extrato, para a interação 23 estará relacionada aos fatores: solvente de extração e concentração de extrato, já para a interação 123 envolverá todos os fatores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas de matriz de planejamento foram elaboradas para a análise de dados que remetem o potencial de óleos essenciais das folhas e sementes de *Jatropha gossypifolia*, obtidos em hexano, diclorometano e acetato de etila; a depender do planejamento empregado (1, 2 ou 3), em relação ao desenvolvimento da raiz e da parte aérea da espécie *Lactuca sativa*. Estando os dados expostos como médias comprimento, em formato de porcentagem (Tabelas 1 e 2). Com base na matriz de planejamento, foi possível aplicar um tratamento estatístico e obter os dados referentes aos efeitos principais e interação entre os fatores (Tabelas 4,5,7,8,10 e11), isto é, quantificar a influência que os parâmetros: solvente, parte da planta e concentração do extrato, exercem frente ao crescimento de *Lactuca sativa*.

Portanto, o intuito deste trabalho foi pesquisar a capacidade alelopática de inibição da espécie *Jatropha gossypifolia*, por meio da aplicação de três planejamentos fatoriais, todos do tipo 2³, observando os parâmetros isolados e em interação, que demonstrassem a maior influência em inibir, dessa maneira, o surgimento de uma dada planta daninha. Vale ressaltar que, os sinais algébricos referem-se aos níveis e respectivas interações descritas nas tabelas 3 P1, tabela 6 P2, tabela 9 P3, onde para o nível negativo temos a parte da planta (Folhas), solvente de extração (Hexano) e concentração do extrato (0,01%), já para o que toca ao nível positivo temos para a parte da planta (Semente), solvente de extração (Acetato de etila) e concentração do extrato (1%), considerando o planejamento 1.

Os bioensaios de germinação, devem sempre ser acompanhados da análise acerca do desenvolvimento da semente indicadora, realizando um estudo mais aprimorado acerca das condições que gerem uma dada inibição. À exemplo, consideremos um extrato de concentração 100% aquosa, favorecendo em 2 mm o crescimento da raiz da semente modelo, quando comparado a concentração mais diluída (50%, por exemplo). Isto implica em dizer, que deve-se optar pelo uso do extrato.

Aquoso 50%, que não levaria a esse desenvolvimento, isto é, haverá uma inibição alelopática. E assim deve-se interpretar os dados isolados e combinados entre os fatores abordados em cada planejamento.

Tabela 1 -Matriz de planejamento 2³ da espécie *Jatropha gossypifolia* em relação ao comprimento da raiz de *Lactuca sativa*.

COEFICIENTES DE CONTRASTE																
Planejamento 1									Planejam ento 2			Planejam ento 3				
Ensa io	1	2	3	1 2	1 3	23	12 3	Comprime nto da raiz (mm)	Méd ia	Comprimento da raiz (mm)		Méd ia	Comprime nto da raiz (mm)		Méd ia	
1	- 1	- 1	- 1	1	1	-1	-1	11,1 1	8,3 1	9,7	4,49	4,6 3	4,6	11,11	8,3 1	9,7
2	1	- 1	- 1	- 1	- 1	1	1	9,78	7,7 9	8,8	5,89	5,6 5	5,8	9,78	7,7 9	8,8
3	- 1	1	- 1	- 1	1	1	1	4,48	4,6 3	4,6	9,38	9,0 1	9,2	9,38	9,0 1	9,2
4	1	1	- 1	1	- 1	-1	-1	5,88	5,6 5	5,8	7,75	4,8 6	6,3	7,75	4,8 6	6,3
5	- 1	- 1	1	1	- 1	1	1	10,6 8	6,8 8	8,8	11,16	9,7 9	10,5	7,88	6,8 8	7,4
6	1	- 1	1	- 1	1	-1	-1	9,40	7,5 8	8,5	4,48	6,2 8	5,4	9,40	7,5 8	8,5
7	- 1	1	1	- 1	- 1	-1	-1	11,1 6	9,7 9	10,5	7,53	7,2 3	7,4	7,53	7,2 3	7,4
8	1	1	1	1	1	1	1	4,48	6,2 7	5,4	4,08	4,2 8	4,2	4,08	4,2 8	4,2

Fonte: Autores, 2024

Tabela 2 - Matriz de planejamento 2³ da espécie *Jatropha gossypifolia* em relação ao comprimento da parte aérea de *Lactuca sativa*

COEFICIENTES DE CONTRASTE																
Ensaio	Planejamento 1								Planejamento 2			Planejamento 3				
	1	2	3	1	2	3	23	12	Comprimento da parte aérea (mm)	Média	Comprimento da parte aérea (mm)	Média				Média
1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	14,79	16,56	15,7	6,46	4,83	5,6	14,79	16,56	15,7
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	13,49	9,3	11,4	5,58	5,35	5,5	13,49	9,35	11,4
3	-1	1	-1	-1	1	1	1	6,4	4,8	5,6	11,1	9,43	10,3	11,10	9,43	10,3
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	5,5	5,3	5,5	12,4	7,04	9,7	12,45	7,04	9,7
5	-1	-1	1	1	-1	1	1	7,9	9,7	8,8	21,9	24,51	23,2	7,97	9,70	8,8
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	11,93	8,7	10,3	3,67	7,51	5,6	9,64	11,93	10,8
7	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	21,91	24,50	23,2	7,88	7,96	7,9	7,88	7,96	7,9
8	1	1	1	1	1	1	1	3,6	7,5	5,6	6,51	7,13	6,8	6,51	7,13	6,8

Fonte: Autores, 2024

3.1 Planejamento 1

Para auxiliar o entendimento e interligação entre texto e dados experimentais serão mostradas as tabelas que expõe as condições adotadas em cada planejamento 1 (tabela 3), 2 (tabela 6) e 3 (tabela 9).

Tabela 3- Fatores estudados e seus respectivos níveis- P1

	FATORES	(-)	(+)
1.	Parte da Planta	Folha	Semente
2.	Solvente de Extração	Hexano	Acetato
3.	Concentração do Extrato	0,01%	1%

Fonte: Autores, 2024

A seguir têm-se as discussões dos resultados expostos na Tabela 6 em relação ao comprimento da raiz das sementes de *Lactuca sativa*.

Os valores apresentados na tabela 4 revelam as condições favoráveis ao desenvolvimento da radícula das sementes receptoras, de modo que, percebe-se que o efeito principal 2 (solvente de extração) foi o que mais influenciou no desenvolvimento da raiz (Tabela 6), levando a um crescimento de cerca de 2,4 mm, quando usa-se o hexano para realizar as extrações, dessa forma, é indicado o uso do solvente acetato de etila para um melhor efeito inibitório no tamanho das raízes. Haminiuk et al., (2014), diz que as propriedades físico-químicas do solvente têm influência sobre a quantidade de compostos extraídos do material, em geral, os compostos fenólicos (classe comumente associada a alelopatia) são mais facilmente extraídos em solventes orgânicos menos polares que a água.

Tabela 4 - Resultados dos efeitos principais e interações da espécie *Jatropha gossypifolia* em relação ao comprimento da raiz das sementes de *Lactuca sativa*.

Resultados dos Efeitos e Interações	
Média	
7,741 ± 0,37	
Efeitos e Interações	Efeitos Principais
1 (Parte da planta)	-1,275 ± 0,74
2 (Solvente de extração)	-2,398 ± 0,74
3 (Concentração do extrato)	1,075 ± 0,74
Interação Dois fatores	
12	-0,670 ± 0,74
13	-1,417 ± 0,74
23	1,69 ± 0,74

Interação Três Fatores	
123	-1,738 ± 0,74

Fonte: Autores, 2024

Dentre as interações, a 23 (Solvente de extração e Concentração do extrato) foi a que apresentou um resultado mais relevante no contexto do comprimento das raízes, uma vez que, indica o uso de acetato de etila e a concentração do extrato de 1%, como mais estimuladora do crescimento em 1,69 mm, quando em comparação com a utilização do Hexano e a concentração do extrato de 0,01%, dessa forma, é recomendado utilizar como solvente de extração o Hexano e a concentração do extrato mais diluída (0,01%). Esses resultados vão contra os achados de Larissa et. al (2014) onde em seus bioensaios, o crescimento das raízes foi inibido cada vez mais pelo óleo de *Jatropha curcas* conforme aumentava-se a concentração do extrato utilizado. Entretanto, aparentemente, a maior parte, senão todos os compostos orgânicos que são inibitórios em alguma concentração, são estimulantes quando presentes em outras concentrações (Rice 1984).

Segue as discussões dos resultados demonstrados na tabela 5, que apresenta o comprimento da parte aérea das sementes em relação à espécie *Lactuca sativa*.

Tabela 5 – Resultados dos efeitos principais e interações da espécie *Jatropha Gossypifolia* em relação ao comprimento da parte aérea das sementes de *Lactuca sativa*.

Resultados dos Efeitos e Interações	
Média	
10,772 ± 0,47	
Efeitos e Interações	Efeitos Principais
1 (Parte da planta)	-5,136 ± 0,95
2 (Solvente de extração)	-1,593 ± 0,95
3 (Concentração do extrato)	2,440 ± 0,95
Interação Dois fatores	
12	-3,762 ± 0,95
13	-2,919 ± 0,95
23	6,40 ± 0,95
Interação Três Fatores	
123	-5,799 ± 0,95

Fonte: Autores, 2024

O efeito principal 1 (Parte da planta) foi o mais influente, mostrando que ao usar as

folhas para preparação do extrato, houve um aumento no comprimento da parte aérea das sementes receptoras em cerca de 5,13 mm. Baseado nisso, acredita-se que a inibição deste desenvolvimento pode ocorrer quando escolhe-se utilizar os extratos das sementes, podendo assim sofrer uma redução em seu tamanho de 5,13 mm.

Comparando-se as interações binárias, vemos que a interação 23 (Solvente de extração e Concentração do extrato), se revelou bastante influente, mostrando que ao se utilizar acetato de etila como solvente e a concentração do extrato em 1% ocorreu um aumento de 6,4 mm no comprimento do hipocótilo das sementes. De tal maneira que, a utilização com extrato de Hexano a 0,01% é mais viável para inibir o crescimento da parte aérea em 6,4 mm.

A interação em três fatores (123), apresentou resultado relevante, haja visto que, que sugere condições experimentais em que se utilize o extrato das sementes, em acetato de etila a concentração de 1%, que poderia inibir o aumento de cerca de 5,8 mm do comprimento da parte aérea das sementes receptoras.

3.2 Planejamento 2

Tabela 6- Fatores estudados e seus respectivos níveis- P2

	FATORES	(-)	(+)
1.	Parte da Planta	Folha	Semente
2.	Solvente de Extração	Acetato	Dicloro
3.	Concentração do Extrato	0,01%	1%

Fonte: Autores, 2024

Em seguida, têm-se as discussões dos resultados expostos na Tabela 7 em relação ao comprimento da raiz das sementes de *Lactuca sativa*, nas condições estabelecidas pelo planejamento fatorial.

Tem-se que, o efeito principal 1 (Parte da planta) foi o mais influente no desenvolvimento da raiz (Tabela 7), possibilitando o crescimento de cerca de 2,5 mm, quando usa-se as folhas como material de extração, dessa forma, tornando-a menos indicada quando busca-se o efeito inibitório de alelopatia. Assim, para esta finalidade, a melhor opção seria a utilização do extrato das sementes da espécie *Jatropha gossypifolia*, isto é, o extrato das sementes pode interferir negativamente para o desenvolvimento da raiz e parte aérea de uma dada espécie vegetal invasora.

Tabela 7 - Resultados dos efeitos principais e interações da espécie *Jatropha gossypifolia* em relação ao comprimento da raiz das sementes de *Lactuca sativa*.

Resultados dos Efeitos e Interações	
Média	
6,655 ± 0,23	
Efeitos e Interações	Efeitos Principais
1 (Parte da planta)	-2,493 ± 0,46
2 (Solvente de extração)	0,219 ± 0,46
3 (Concentração do extrato)	0,398 ± 0,46
Interação Dois fatores	
12	-0,549 ± 0,46
13	-1,654 ± 0,46
23	-2,37 ± 0,46
Interação Três Fatores	
123	1,500 ± 0,46

Fonte: Autores, 2024

Dentre as interações binárias, a 23 (Solvente de extração e Concentração do extrato), se revelou experimentalmente bem mais influente, mostrando que o extrato bruto obtido em acetato de etila e na concentração de 0,01%, fará a radícula crescer cerca de 2,5 mm a mais, do que se optarmos pelo extrato obtido em diclorometado a 1%. Neste planejamento notou-se ser mais viável utilizar a concentração mais elevada para que haja uma maior diminuição e, portanto, menor desenvolvimento da raiz de uma dada espécie alvo. Concentrações mais altas (8% e 10%) de extrato aquoso de *Jatropha curcas*, também têm um efeito inibitório na germinação, comprimento da radícula e parte aérea de *Phaseolus*. *Vulgaris*, *Zea*. *Mays*, *Lycopersicon*. *Lycopersicum* e *Hibiscus*. *Esculentus* (Abugre e Quashie-sam, 2010).

A tabela 8 traz os dados dos efeitos e interações em relação ao crescimento da parte aérea da semente indicadora. O efeito principal 1 (Parte da planta) foi o mais influente para o aumento do tamanho da parte aérea da planta, mostrando que ao usar as folhas para preparação do extrato, houve um aumento no comprimento da parte aérea das sementes receptoras em cerca de 4,85 mm. Baseando-se nos testes feitos e nas interpretações, acredita-se que a inibição deste desenvolvimento pode ocorrer quando escolhe-se utilizar os extratos das sementes.

Essa é a primeira vez que é relatado na literatura o estudo alelopático com as sementes da *Jatropha gossypifolia* frente ao desenvolvimento de uma semente receptora. Esse tipo de estudo foi efetuado apenas para a espécie *Joanesia princeps* (espécie, da mesma família da *Jatropha gossypifolia*), de modo que, Aguiar et al., 2008, relata que os extratos aquosos das sementes reduziram e, ou inibiram a germinação de repolho, alface e tomate, sendo que a

redução aumentou com o aumento das concentrações utilizadas, corroborando com o observado no presente trabalho e planejamento fatorial 2³.

Tabela 8 – Resultados dos efeitos principais e interações da espécie *Jatropha gossypifolia* em relação ao comprimento da parte aérea das sementes de *Lactuca sativa*.

Resultados dos Efeitos e Interações	
Média	
9,332 ± 0,47	
Efeitos e Interações	Efeitos Principais
1 (Parte da planta)	-4,853 ± 0,94
2 (Solvente de extração)	-1,289 ± 0,94
3 (Concentração do extrato)	3,105 ± 0,94
Interação Dois fatores	
12	4,045 ± 0,94
13	-4,504 ± 0,94
23	-5,74 ± 0,94
Interação Três Fatores	
123	4,215 ± 0,94

Fonte: Autores, 2024

Comparativamente, vemos que a interação 23 (Solvente de extração e Concentração do extrato), foi mais relevante no contexto de crescimento da parte aérea, me modo a revelar que, deve-se escolher o uso do extrato em diclorometano a 1% para evitar um aumento de 5,7 mm provocado pelo uso do extrato a 0,01 obtido em acetato de etila.

Quando consideramos a interação dos três fatores (123), que usamos neste planejamento fatorial, acredita-se que o desenvolvimento da parte aérea de uma possível planta daninha poderá ser inibido em 4,2 mm, ao empregar o extrato foliar 0,01% obtido em acetato de etila, uma vez que os dados da tabela 8 refletem condições que favorecem o crescimento e não é o que buscamos na alelopatia de inibição, haja vista, os prejuízos que plantas invasoras trazem as mais variadas culturas de importância econômica para toda sociedade. Isto implica em contribuir para o que preconizam Gealy e Yan (2012) apud. Cheng (2015) onde afirmam que cultivares bem-sucedidos também devem combinar uma capacidade de supressão de ervas daninhas com alto potencial de rendimento, resistência a doenças, maturidade precoce e características de qualidade.

3.3 Planejamento 3

Tabela 9- Fatores estudados e seus respectivos níveis- P3

FATORES	(-)	(+)
1. Parte da Planta	Folha	Semente
2. Solvente de Extração	Hexano	Dicloro
3. Concentração do Extrato	0,01%	1%

Fonte: Autores, 2024

Neste ponto do artigo, já é mais fácil fazer a análise do que observamos nas tabelas e neste sentido percebemos que ao escolher o hexano, como solvente de extração, haverá um crescimento de 1,826 mm nas raízes das sementes de alface (tabela 10). Além disso, o uso do extrato foliar de *Jatropha gossypifolia* obtido em hexano, aumenta a radícula em 1,568 mm. Desta forma, e com base neste planejamento fatorial, o solvente e a parte da planta sugeridos para atuar evitando este desenvolvimento são Diclorometano e a sementes de *J. gossypifolia* respectivamente.

Tabela 10 - Resultados dos efeitos principais e interações da espécie *Jatropha gossypifolia* em relação ao comprimento da raiz das sementes de *Lactuca sativa*.

Resultados dos Efeitos e Interações	
Média	
7,678 ± 0,31	
Efeitos e Interações	Efeitos Principais
1 (Parte da planta)	-1,474 ± 0,62
2 (Solvente de extração)	-1,826 ± 0,62
3 (Concentração do extrato)	-1,642 ± 0,62
Interação Dois fatores	
12	-1,568 ± 0,62
13	0,433 ± 0,62
23	-0,33 ± 0,62
Interação Três Fatores	
123	-0,587 ± 0,62

Fonte: Autores, 2024

Com base no exposto na tabela 11 (abaixo), ao empregar o extrato de *J. gossypifolia* em maior concentração, pode-se evitar o crescimento de 3,185mm da semente de uma suposta planta invasora, sendo coerente com o observado na maioria dos estudos focados na comparação da atividade alelopática, isto é, à medida que as concentrações de extratos de plantas aumentam, a alelopátia de inibição também aumenta Rejila et. Al (2011) Hassan et.

Al (2013).

Tabela 11 – Resultados dos efeitos principais e interações da espécie *Jatropha Gossypifolia* em relação ao comprimento da parte aérea das sementes de *Lactuca sativa*.

Resultados dos Efeitos e Interações	
Média	
10,184 ± 0,49	
Efeitos e Interações	Efeitos Principais
1 (Parte da planta)	-0,980 ± 0,98
2 (Solvente de extração)	-2,992 ± 0,98
3 (Concentração do extrato)	-3,185 ± 0,98
Interação Dois fatores	
12	0,173 ± 0,98
13	1,407 ± 0,98
23	0,55 ± 0,98
Interação Três Fatores	
123	-1,695 ± 0,98

Fonte: Autores, 2024

Entretanto, a interação binária da concentração com o fator parte da planta, neste planejamento fatorial sugere o emprego da menor concentração quando usa-se o extrato da folha. De modo que, o extrato foliar 0.01% poderá inibir o crescimento das sementes receptoras em 1,407mm. A análise da interação entre os três fatores, permite perceber que deve escolher a maior concentração do extrato em diclorometano, na tentativa de inibir o aumento de cerca de 1,695 mm do comprimento da parte aérea das sementes receptoras.

Este trabalho foi respaldado no que afirmam diversos autores, isto é, na premissa de que principais objetivos da pesquisa sobre alelopatia incluem a aplicação dos efeitos alelopáticos observados à produção agrícola, a redução da entrada de pesticidas químicos e a consequente poluição ambiental, e o fornecimento de métodos eficazes para o desenvolvimento sustentável da produção agrícola e dos sistemas ecológicos. E neste viés foi inserida uma ferramenta estatística que permite alinhar as variáveis, dentre tantas elas, que de fato, são contribuintes para o melhor resultado experimental possível (planejamento fatorial) (Macias et al., 2003; Li et al., 2010; Han et al., 2013; Jabran et al., 2015).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado das condições experimentais analisadas neste trabalho, observou-se que a

utilização do planejamento fatorial é um recurso eficaz na busca por um promissor bioherbicida, oriundo de extratos vegetais.

Não houve uma uniformidade quanto ao fator solvente, sendo hora o acetato de etila o mais eficaz na extração de substâncias alelopáticas e hora o diclorometano.

De maneira geral, as sementes de *Jatropha gossypifolia* foi a parte da planta mais recomendada para preparação de extrato bruto que contenha substâncias alelopáticas capazes de inibir o desenvolvimento das sementes receptoras. Entretanto, há uma necessidade da realização de mais estudos, pois este é o primeiro relato que aponta esse resultado.

REFERÊNCIAS

CHEN, L.; LI, J.; ZHU, Y.; GUO, L.; JI, R.; MIAO, Y.; GUO, L.; DU, H.; LIU, D. Caffeic acid, na allelochemical in *Artemisia argyi*, inhibits weed growth via suppression of mitogen-activated protein kinase signaling pathway and the biosynthesis of gibberellin and phytoalexin. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, e802198, p. 1–15, 2022.

CHENG, F.; CHENG, Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1020, 2015. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.01020/full>. Acesso em: 10 jan. 2025.

DHAKANE, M. U.; GOURISH, K. Allelopathic effects of *Jatropha* (*Jatropha curcas* Linn.) on agricultural crops. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, v. 40, n. 4, p. 261-266, 2014. Disponível em: <https://nieindia.org/Journal/index.php/ijeess/article/view/560>. Acesso em: 17 nov. 2024.

HAMINIUK, C. W. I.; et al. Extraction and quantification of phenolic acids and flavonols from *Eugenia pyriformis* using different solvents. *Journal of Food Science and Technology*, v. 51, n. 10, p. 2862–2866, 2014.

HAN, X.; CHENG, Z. H.; MENG, H. W.; YANG, X. L.; AHMAD, I. Allelopathic effect of decomposed garlic (*Allium sativum* L.) stalk on lettuce (*L. sativa* var. *crispa* L.). *Pakistan Journal of Botany*, v. 45, p. 225–233, 2013.

JABRAN, K.; MAHAJAN, G.; SARDANA, V.; CHAUHAN, B. S. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, v. 72, p. 57–65, 2015. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.03.004.

KHAN, A. U.; ULLAH, F.; MEHMOOD, S.; IRSHAD, M.; KHAN, F. U. Evaluation of *Jatropha curcas* L. leaves mulching on wheat growth and biochemical attributes under water stress. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, v. 30, n. 1, Islamabad, mar. 2021. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/1940473920>. Acesso em: 6 jan. 2025.

LI, Z. H.; WANG, Q.; RUAN, X.; PAN, C. D.; JIANG, D. A. Phenolics and plant allelopathy.

Molecules, v. 15, p. 8933–8952, 2010. DOI: 10.3390/molecules15128933.

LI, X. F.; et al. Allelopathic potential of *Artemisia frigida* and successional changes of plant communities in the northern China steppe. *Plant and Soil*, v. 341, p. 383–398, 2011.

LOPES, R. W. N.; MARQUES MORAIS, E.; LACERDA, J. J. D.; et al. Bioherbicidal potential of plant species with allelopathic effects on the weed *Bidens bipinnata* L. *Scientific Reports*, v. 12, n. 13476, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-16203-5>. Acesso em: 27 dez. 2024.

MACIAS, F. A.; MARIN, D.; OLIVEROS-BASTIDAS, A.; VARELA, R. M.; SIMONET, A. M.; CARRERA, C.; et al. Allelopathy as a new strategy for sustainable ecosystems development. *Biological Sciences in Space*, v. 17, p. 18–23, 2003. DOI: 10.2187/bss.17.18.

MAHLIK, G. Effects of allelochemicals released by *Jatropha gossypifolia* L. on morphology of *Cicer arietinum* L. In: RAWAT, A. K. (ed.). *Advances in Agronomy*. V.1. AkiNik Publications, 2020. P. 125–136.

PUTNAM, A. R.; DUKE, S. O. Allelopathy – What is it, what has it, and how can we use it? College Station: Texas A&M AgriLife Extension, [s.d.]. Disponível em: <https://agrilifeextension.tamu.edu/>. Acesso em: 18 out. 2025.

SANDERSON, K.; BARICCATTI, R. A.; PRIMIERI, C.; VIANA, O. H.; VIECELLI, C. A.; JUNIOR, H. G. B. Allelopathic influence of the aqueous extract of *Jatropha* on lettuce (*Lactuca sativa* var. Grand Rapids) germination and development. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v. 11, n. 1, p. 641–643, 2013. Disponível em: <https://www.wfpublisher.com/Abstract/3971>. Acesso em: 20 dez. 2024.

UBAZI, C.; ABDULKARIM, B.; ONOVO, J.; EWULE, R.; ASALA, S.; IDACHABA, P. Efeitos do aleloquímico de *Jatropha curcas* L. lixiviado na germinação e brotação de quatro espécies de pimenta (*Capsicum*) no estado de Keffi Nasarawa, Nigéria. *Open Access Library Journal*, v. 7, p. 1–8, 2020. DOI: 10.4236/oalib.1106098. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=98578#ref2>. Acesso em: 16 nov. 2024.

UJJAL, Baruah; KAUSHIK, Das; UTPAL, Kotoky; SONBEER, Chack. Allelopathic effect of *Jatropha* (*Jatropha curcas*) on chilli (*Capsicum annuum*) and green gram (*Vigna radiata*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v.7, n. 6, p. 968–985, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.115>. Disponível em: <https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=8262&vol=7-6-2018&SNo=115>. Acesso em: 17 nov. 2024.

VIEIRA, L. F. A.; BOTELHO, C. M.; LAVIOLA, B. G.; PALMIERI, M. J.; FONTES, M. M. P. Effects of *Jatropha curcas* oil in *Lactuca sativa* root tip bioassays. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 1, p. 373–382, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/85PZB8D5DQBnRDphYLCwL6S/?lang=en>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ZOHEIR, Y. A.; SEDIGHEH, S.; HASSAN, M. A.; HAMID, R. M.; EBRAHIM, R. M. Study



of bioassay of the allelopathical effect of neem (*Azadirachta indica*) n-hexane, acetone and water-soluble extracts on six weeds. International Journal of Biology, v. 1, n. 1, 2009. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/ijb/article/view/663>. Acesso em: 15 dez. 2024.

Agradecimentos e financiamento

Os autores agradecem o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), pois o presente trabalho foi realizado com apoio da FAPEAL – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas.