

# Toxicidade da fração polar obtida de *Amaranthus hybridus* sobre a germinação e plântulas de feijão-caupi

*Polar fraction toxicity obtained *Amaranthus hybridus* on the germination and seedlings of cowpea*

Sinval Garcia Pereira<sup>1</sup>, Álef Matheus Galvão Pinto da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (UFMA-CCAA) - Chapadinha, Maranhão – Brasil.

## Resumo

**Introdução:** Desde a primeira aplicação de herbicidas sintéticos em sistemas de proteção de culturas, as plantas daninhas têm desenvolvido resistência continuamente. Nesse sentido, o fenômeno da alelopatia, expresso pela liberação de produtos químicos por uma planta, tem sido sugerido como uma das possíveis alternativas para alcançar o manejo sustentável de plantas daninhas. **Objetivos:** Investigar o efeito alelopático da fração aquosa de *Amaranthus hybridus* sobre a germinação e o crescimento de plântulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). **Metodologia:** A partir do extrato etanólico de folhas *A. hybridus* obteve-se a fração aquosa, a qual foi considerada de concentração 100%, e, a partir dela, obtiveram-se os soluções/tratamentos, por diluições. Posteriormente, as soluções/ esses tratamentos foram utilizados em dois bioensaios, o de vigor germinativo e o de crescimento e desenvolvimento de plântulas para avaliação do percentual de germinação (%IG), o índice de velocidade de germinação (IVG), massa seca (MS) e comprimento da radícula (CR) e do hipocótilo (CH). **Resultados:** As maiores concentrações (60% e 100%) diminuíram de forma significativa o valor de IVG, do CR e CH e causou a redução da MS. O valor de IVG foi reduzido em 30,01% e inibiram o crescimento da radícula em 62,5% e 64,67%, considerando, respectivamente, as duas maiores concentrações. Para o comprimento do hipocótilo a concentração de 100% inibiu o crescimento em 43,12% e no acúmulo de biomassa, a concentração 100% reduziu a produção em 75,75%. **Conclusão:** a fração aquosa do extrato de *A. hybridus* é potencialmente fitotóxica principalmente para o desenvolvimento inicial das plântulas de feijão-caupi.

**Palavras – chave:** Fitotoxicidade; Planta invasora; *Vigna unguiculata*.

Autor correspondente:

Sinval Garcia Pereira

Endereço: Rua Projeta 2, 25– Boa Vista

CEP:65500-000 –Chapadinha (MA), Brasil.

E-mail: sinval.garcia@ufma.br

Recebido em: 29/06/2020

Revisado em: 23/07/2020

Aceito em: 10/06/2020

Publicado em: 10/11/2020

## Abstract

**Introduction:** Since the first implementation of synthetic herbicides in crop protection systems, weeds have continuously developed resistance. In this regard the phenomenon of allelopathy, which is expressed through the release of chemicals by a plant, has been suggested to be one of the possible alternatives for achieving sustainable weed management. **Objectives:** The present study aimed to investigate the effect of *Amaranthus hybridus* aqueous fraction on the germination and growth behavior of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Methodology:** From the ethanol extract of *A. hybridus* leaves, the aqueous fraction was obtained, which was considered the 100% concentration solution and from it dilutions were made, obtaining the other treatment solutions, posteriorly, the treatment solutions were used in two bioassays, germinative vigor and seedling growth and development. The germination percentage (% IG), the germination speed index (IVG), dry mass (MS) and radicle length (CR) and hypocotyl (CH) were evaluated. **Results:** The highest concentrations (60% and 100%) significantly decreased the IVG, CR and CH values and caused MS reduction, where they reduced the IVG value by 30.01% and inhibited root growth by 62.5% and 64.67% respectively. For the length of the hypocotyl the concentration 100% inhibited the growth in 43.12% and in the accumulation of biomass the concentration 100% reduced the production in 75.75%. **Conclusion:** It is concluded that the aqueous fraction of the extract of *A. hybridus* is potentially phytotoxic mainly for the initial development of the seedling.

**Keywords:** Phytotoxicity; Invasive plant; *Vigna unguiculata*.

## Introdução

Segundo Molisch, alelopatia é a capacidade de as plantas produzirem substâncias químicas, denominados aleloquímicos que, quando liberadas no ambiente, influenciam de forma favorável ou desfavorável o desenvolvimento de outras plantas<sup>1</sup>. Esses aleloquímicos são biossintetizados em todos os órgãos da planta<sup>2</sup> e podem ser liberados para o ambiente, suprimindo o crescimento e o estabelecimento de outras plantas na vizinhança, contudo, eles têm outros papéis ecológicos, como a autodefesa, queilação de nutrientes e regulação da biota do solo<sup>3</sup>, e ocorrem por volatilização, lixiviação, decomposição de tecidos vegetais e por exsudação do sistema radicular<sup>4</sup>.

A identificação e estudo desses aleloquímicos podem ser feitos por meio de extratos orgânicos ou aquosos obtidos das plantas<sup>5</sup>. Os extratos, frações e metabólitos secundários obtidos das mais diferentes famílias de plantas são investigados para verificar efeitos alelopáticos<sup>5</sup>, pois, estão relacionados a mecanismos de defesa contra fatores bióticos e abióticos e são classificados em três grupos quimicamente distintos:

terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados<sup>2,7</sup>.

Assim, é de suma importância a identificação e a compreensão dos mecanismos de defesa e competição de plantas invasoras sobre o desenvolvimento de cultivares economicamente importantes<sup>8</sup>. Pois os efeitos fitotóxicos de plantas daninhas ocasionam grandes prejuízos aos produtores rurais, no entanto, poucos são os trabalhos que envolvem pesquisas a respeito da fitotoxicidade dessas plantas<sup>1</sup>.

No contexto geral, pesquisas com plantas fitotóxicas têm avançado como, por exemplo, o potencial alelopático de extratos de folhas secas de mamona, que interferiram nos valores de índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes de soja quando comparada com a testemunha<sup>9</sup> e o extrato aquoso de folhas frescas de nim que afetou o tempo e a velocidade média de germinação das sementes de soja a partir da concentração de 40%<sup>10</sup>.

Trabalhos realizados por vários autores<sup>11-14</sup>, como Arruda et al<sup>11</sup>. (2009), Bach e Silva<sup>12</sup> (2010),

Bedin<sup>13</sup> et al. (2006) e Sales<sup>14</sup> et al. (2005) comprovaram a eficácia da utilização de extratos de plantas como a tiririca, a erva cidreira, o boldo, o eucalipto, entre outras espécies, como inibidores naturais de germinação e crescimento de plantas daninhas e, em outra pesquisa, Cremones; Camargo e Feinden<sup>15</sup> citam casos como o extrato de *Cymbopogon citratus* inibiu a germinação e o desenvolvimento vegetativo das plantas como, a alfaca, guanxuma, menestrato e o picão-preto, tais exemplos, demonstram a gama de espécies com potencial bioerbicida<sup>15,16</sup>.

Nesse contexto, a planta doadora utilizada na pesquisa pertence ao gênero *Amaranthus*, família *Amaranthaceae* com cerca de 60 espécies e, aproximadamente, 10 espécies, entre elas destacam-se *A. viridis* (caruru-de-mancha), *A. spinosus* (caruru-de-espinho), *A. retroflexus* (caruru-gigante) e *A. hybridus* (caruru-roxo), todas ocorrem no Brasil<sup>17</sup>.

São plantas infestantes que, de modo geral, possuem grande capacidade reprodutiva<sup>18,19</sup>, somam-se a isso, características inerentes à espécie, como o hábito de crescimento agressivo, elevada produção de sementes, propiciando aos chamados carurus uma alta competitividade com as culturas por água, luz e nutrientes<sup>20,21,22</sup>.

Os carurus possuem via de fixação de carbono do tipo C4, principalmente em ambientes quentes e úmidos, o que contribui para a presença de espécies de *Amaranthus* em áreas de produção agrícola, reduzindo o rendimento e a qualidade do produto colhido, além de prejudicarem o processo de colheita<sup>23,24</sup>.

Por outro lado, a planta receptora é conhecida como feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), essa espécie é considerada planta de metabolismo fotossintético C3<sup>25</sup>,

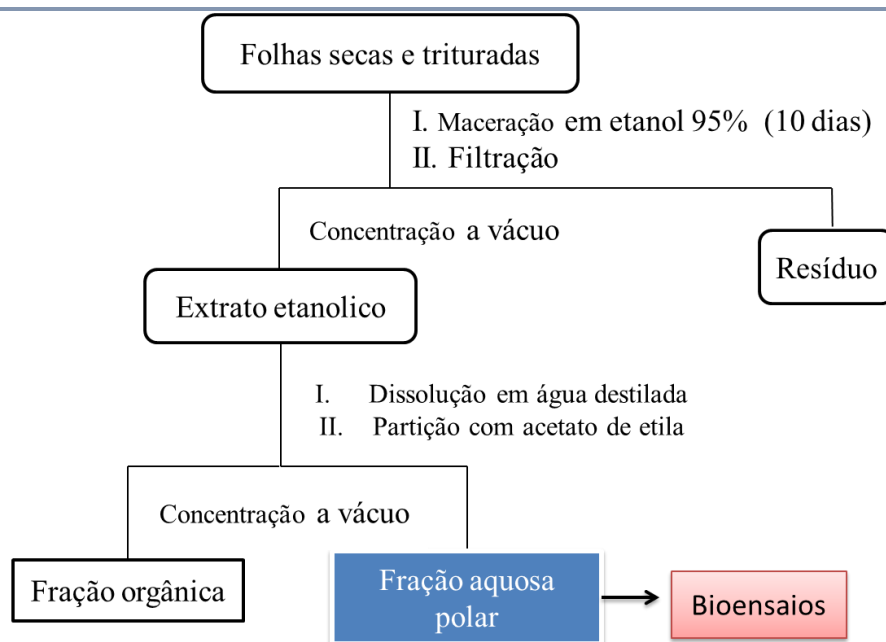
com fase vegetativa dividida em 9 subestágios e fase reprodutiva subdividida em 5 subestágios, iniciando com R1, surgem os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal e, por fim R5, onde, se tem maturidade de 90% das vagens da planta<sup>26</sup>, é amplamente cultivado nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e principal fonte de proteína vegetal para as populações rurais e também é consumido por cerca de 41% dos moradores nas áreas urbanas não metropolitanas do nordeste<sup>27</sup>, tem distribuição mundial, principalmente nas regiões dos trópicos semiárido, úmido e subúmido, condições climáticas as quais se apresenta melhor adaptado<sup>28</sup>.

Dessa forma investigou a fitotoxicidade da espécie *Amaranthus hybridus*, planta herbácea, de coloração variando entre a cor vermelha e a púrpura, sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de feijão-caupi.

## Metodologia

### *Coleta da planta e obtenção do extrato e das frações*

A espécie *A. hybridus* foi identificada com base em bibliografia sobre plantas daninhas<sup>29</sup>, após essa etapa, as folhas foram coletadas e secas à sombra em local ventilado, durante dez dias, posteriormente, foram trituradas e colocadas em maceração em etanol 95%, em uma proporção 1:6 (940 g de massa seca da planta/5,64 L de etanol) durante dez dias. Após esse período, foi realizada a filtração, obtendo o resíduo e a solução etanólica. A solução etanólica foi concentrada a vácuo, obtendo-se o extrato bruto etanólico (16 g) e esse foi submetido à partição com água destilada (100 mL) e acetato de etila (quatro extrações de 200 mL cada), obtendo a fração aquosa (80 mL), conforme **FIGURA 1**.



**Figura 1** - Fluxograma para obtenção da fração aquosa.

### **Bioensaio de fitotoxicidade**

Placas de Petri de 9,0 cm de diâmetro foram forradas com uma folha de papel de filtro qualitativo e, sobre o papel, foi colocado 3 mL dos tratamentos, obtidos a partir da fração aquosa, e sobre o papel embebido foram adicionadas seis sementes de feijão-caupi (cultivar Guariba) por cada placa de Petri, as testemunhas receberam apenas água destilada, após a montagem final do experimento, o total de placas de Petri foram transferidas para câmara de germinação, com temperatura constante de 25 °C e fotoperíodo de 24 horas.

Considerou-se semente germinada aquela que apresentou extensão radicular igual ou superior a 2,0 mm, o experimento foi monitorado no período máximo de 10 dias. Vinte e quatro (24) horas após a montagem do experimento realizou-se a primeira contagem de germinação e, posteriormente, com contagens diárias e com a irrigação com água destilada, quando necessário. Ao final, verificou-se o crescimento da radícula, do hipocótilo e, após esse procedimento, as plântulas foram secas à sombra, em local ventilado, durante dez dias e pesadas em uma balança analítica digital, para determinação de biomassa em gramas. Para o cálculo do

percentual de inibição de germinação, utilizou-se a **EQUAÇÃO 1**, para o cálculo de IVG a **EQUAÇÃO 2** e para o cálculo de crescimento de radícula e hipocótilo a **EQUAÇÃO 3**.

**EQUAÇÃO 1** - Cálculo do percentual de inibição de germinação.

$$(\%IG) = [1 - (SG_{amostra})] \times 100 / SG_{controle}$$

Onde,  $SG_{amostra}$  - sementes germinadas nas placas nas quais aplicaram-se os tratamentos;  $SG_{controle}$  - sementes germinadas nas placas onde foram aplicadas apenas água destilada.

**EQUAÇÃO 1** - Índice de velocidade de germinação.

$$IVG = (\sum Ni) / (\sum Di)$$

Onde,  $Ni$  = número de sementes germinadas no dia  $i$ ;  $Di$  = número de dias para a germinação das sementes.

**EQUAÇÃO 2** - Cálculo da inibição do crescimento.

$$IC (\%) = [1 - (CEC_{amostra} / CEC_{controle})] \times 100$$

Onde,  $CEC_{amostra}$ : crescimento em centímetro da radícula ou do hipocótilo nas placas nas quais aplicaram-se os tratamentos;  $CEC_{controle}$ : crescimento em

centímetro da radícula ou hipocótilo nas placas onde foram aplicadas apenas água destilada.

#### Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições, para verificação estatística dos efeitos biológicos, aplicou-se a técnica estatística Análise de Variância (ANOVA). As médias foram comparadas por meio do teste Duncan a 5% de probabilidade. As análises

foram realizadas pelo programa computacional ASSISTAT<sup>®30</sup> e Excel<sup>®</sup> para confecção dos gráficos.

#### Resultados e discussão

Os dados matemáticos e estatísticos demonstraram que os tratamentos obtidos da fração aquosa de *A. hybridus* apresentaram efeitos fitotóxicos para todas as variáveis, exceto a germinação, cujas médias foram estatisticamente iguais pelo teste Duncan a 5% de probabilidade, conforme TABELA 1.

**TABELA 1 – Dados fitotóxicos dos tratamentos obtidos, a partir da espécie *Amaranthus hybridus* sobre o feijão-caupi.**

[%]	Aspectos de germinação		Desenvolvimento inicial da plântula		
	Germinação <sup>ns</sup>	IVG <sup>**</sup>	Radícula <sup>**</sup>	Hipocótilo <sup>**</sup>	Massa seca <sup>**</sup>
0%	83,33 a	3,42 a	1,84 a	3,20 a	0,66 a
10%	79,15 a	2,24 b	1,74 a	3,42 a	0,43 b
20%	69,97 a	2,08 b	1,75 a	2,50 ab	0,43 b
40%	66,67 a	1,83 b	1,56 a	2,60 ab	0,29 c
60%	58,33 a	0,72 c	0,69 b	1,93 b	0,23 cd
100%	58,33 a	0,55 c	0,65 b	1,82 b	0,16 d

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,1$ ). ns= não significativo

As diferentes concentrações proporcionaram um efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para o IVG, crescimento da

radícula e do hipocótilo e da produção de biomassa seca, conforme TABELA 2.

**TABELA 2 - Resumo das análises de variância dos tratamentos obtidos a partir da espécie *Amaranthus hybridus* sobre o feijão-caupi.**

ANOVA	SQ TRATAMENTO	D.P.	C.V.	F	VALOR p
Germinação	2167,10	13,4	19,34	2,41 NS	0,0767
IVG	22,51	0,6	33,35	12,33 <sup>**</sup>	<0,0001
Radícula	6,02	0,2	19,28	17,26 <sup>**</sup>	<0,001
Hipocótilo	8,37	0,6	23,53	4,53 <sup>**</sup>	0,0074
Biomassa	0,64	0,1	21,74	20,26 <sup>**</sup>	<0,0001

CV = Coeficiente de variação; DP = Desvio Padrão <sup>\*\*</sup> Significativo a 1% de probabilidade.

Estudos demonstram que a germinação não é somente um fenômeno que em condições adequadas ao eixo embrionário prossegue em seu desenvolvimento, mas, sim, uma sucessão de fases que ocorrem antes da

retomada do desenvolvimento, com início, assim que se coloca a semente em substrato adequado e absorção de umidade, até a utilização de substâncias complexas do

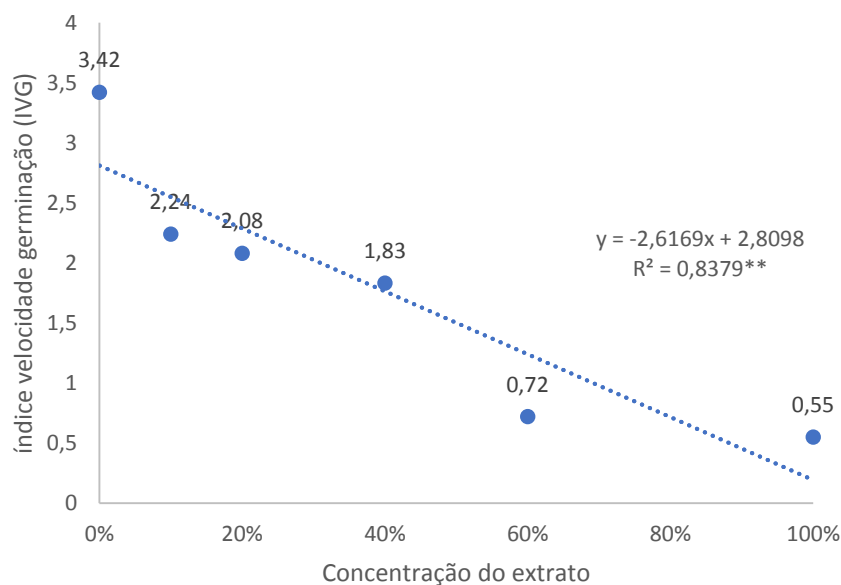
metabolismo da semente, que permitem o crescimento do eixo embrionário<sup>31,32</sup>.

Os dados sobre a germinação das sementes de feijão-caupi demonstraram uma diminuição na porcentagem de germinação, contudo, estatisticamente, os tratamentos utilizados não exerceram um efeito fitotóxico, com valor p declarado em  $p = 0,0767$ .

Os dados estão de acordo com estudos já realizados, nos quais foi demonstrado que a germinação pode ser menos sensível ao efeito fitotóxico de

metabólitos secundários do que o crescimento e desenvolvimento da plântula<sup>33</sup>.

Em relação ao IVG, foi observado que os tratamentos de maiores concentrações causaram um maior efeito fitotóxico, diminuindo os valores do IVG das sementes de feijão-caupi, isto é, demonstrado através de regressão linear simples, com  $R^2$  igual a 0,8379 e equação  $y = -2,6169x + 2,8098$  (**FIGURA 2**).



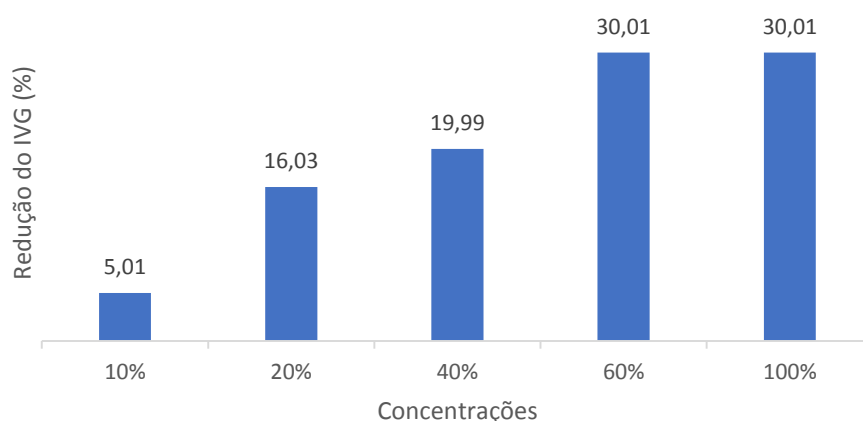
\*\* Modelo significativo pela regressão na análise de variância ao nível de 1%

**FIGURA 2** - Análise de regressão linear do índice velocidade germinação (IVG) de feijão-caupi sob o efeito dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

Nessa perspectiva, sabe-se que o crescimento é resultado da germinação, portanto, alterações na fase da germinação como a diminuição da velocidade da germinação, poderão originar plântulas com dificuldade de crescimento normal. Quanto maior o valor de IVG mais rápida será o aspecto de germinação e o desenvolvimento da plântula<sup>34</sup>.

Nesse sentido, observou-se que, à medida que se aumenta a concentração dos tratamentos, o valor do IVG das sementes diminui, causando assim um atraso no desenvolvimento da plântula. O valor do IVG nas concentrações 60% e 100% teve uma redução de 30,01%, quando comparado ao controle, conforme demonstrado na

**FIGURA 3.**



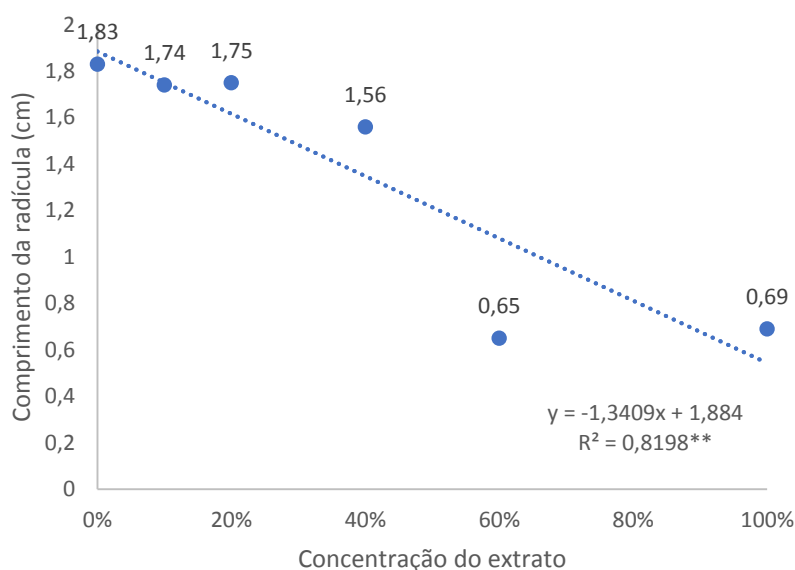
**FIGURA 3** – Valores de IVG de sementes de feijão-caupi sob o efeito das diferentes concentrações dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

Isso em condições de campo poderá causar eventuais prejuízos aos produtores, resultando em atraso na germinação das sementes das plantas de interesse econômico, efeito que pode ser desfavorável na competição por água, luz e nutrientes com as plantas daninhas<sup>35,36</sup>.

Estudo com extratos de cinco espécies de *Amaranthus* demonstram que nas concentrações de 0,25 a 4,0 g L<sup>-1</sup> houve inibição da germinação e, também interferência no IVG das sementes de *Lactuca sativa* em dose dependente, a maior concentração testada, 4,0 g L<sup>-1</sup> causou mais de 95% de inibição em todos os extratos

avaliados. Nesse mesmo estudo foram identificados ácidos orgânicos, carotenóides, esteróides, cumarinas e saponinas nestas espécies<sup>37,38</sup>.

Por meio dos resultados mostrados na **TABELA 1**, no desenvolvimento inicial da plântula, as concentrações de 60% e 100% interferiram de forma negativa no desenvolvimento da radícula com uma diminuição do seu comprimento, quando comparado à testemunha, essa diminuição é demonstrada por meio de uma regressão linear simples, com R<sup>2</sup> igual a 0,8198 (**FIGURA 4**).

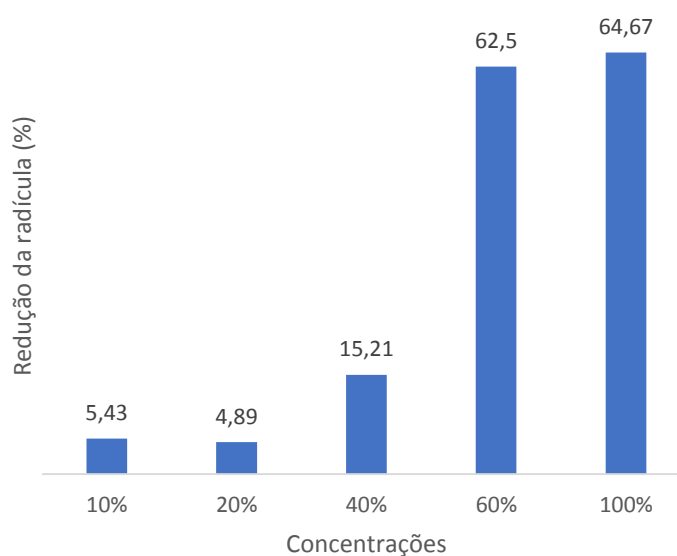


\*\* Modelo significativo pela regressão na análise de variância ao nível de 1%

**FIGURA 4** - Análise de regressão linear do desenvolvimento da radícula do feijão-caupi sob o efeito dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

Observou-se por meio da análise anterior que as duas maiores concentrações foram as que mais interferiram no crescimento da radícula, com destaque para a concentração de 60%, inibiu o comprimento em

62,5%, enquanto a concentração de 100% inibiu em 64,67%, quando comparadas a testemunha (**FIGURA 5**).



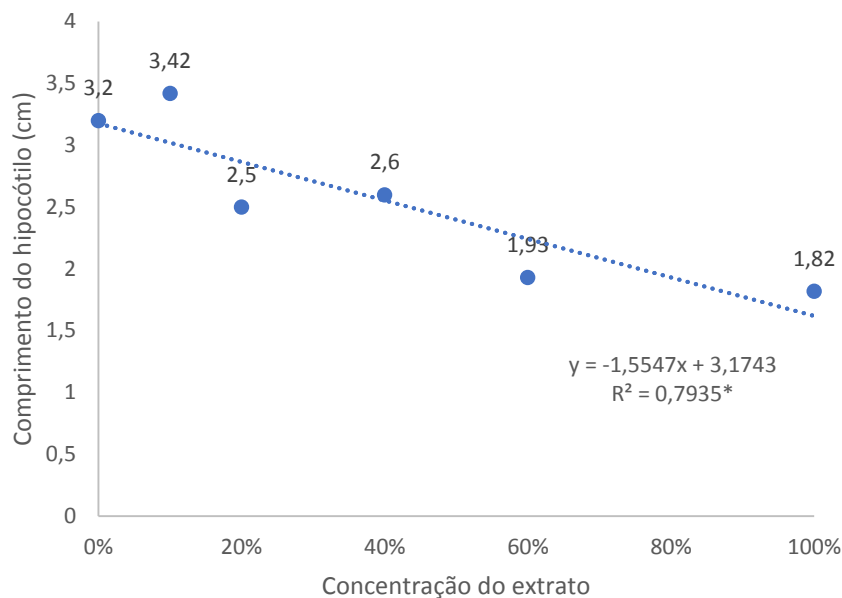
**FIGURA 5** – Dados sobre o desenvolvimento da radícula de feijão-caupi sob o efeito das diferentes concentrações dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

Em pesquisa com o feijão-caupi foi demonstrado que em um período de 30 dias de decomposição de folhas de *Libidibia ferrea* (pau-ferro) ocasiona uma redução no comprimento e na massa seca da parte aérea, do sistema radicular de forma dose/dependente. Diante disso, o cultivo de feijão-caupi, cv. Canapu e *Libidibia ferrea* em um sistema agroflorestal não é viável<sup>39</sup>.

A radícula dará origem à raiz da planta, dessa forma uma planta que cresce com uma raiz anormal, tende a ter prejuízos futuros, pois a absorção de água e nutrientes em profundidades maiores será limitada<sup>40</sup>.

Como observado para a radícula, o hipocótilo também foi afetado, os tratamentos nas maiores concentrações interferiram de forma significativa no crescimento do hipocótilo em relação ao tratamento testemunha. A concentração de 10% teve efeito positivo, causando um leve crescimento do hipocótilo, quando comparado com a testemunha, esse leve estímulo pode acontecer, os efeitos estimulantes estão relacionados à concentração<sup>43</sup>, manifestando-se em condições de baixa concentração, os demais dados estão relacionados, a seguir, através de uma regressão linear, com  $R^2$  igual a 0,7935 (**FIGURA 6**).



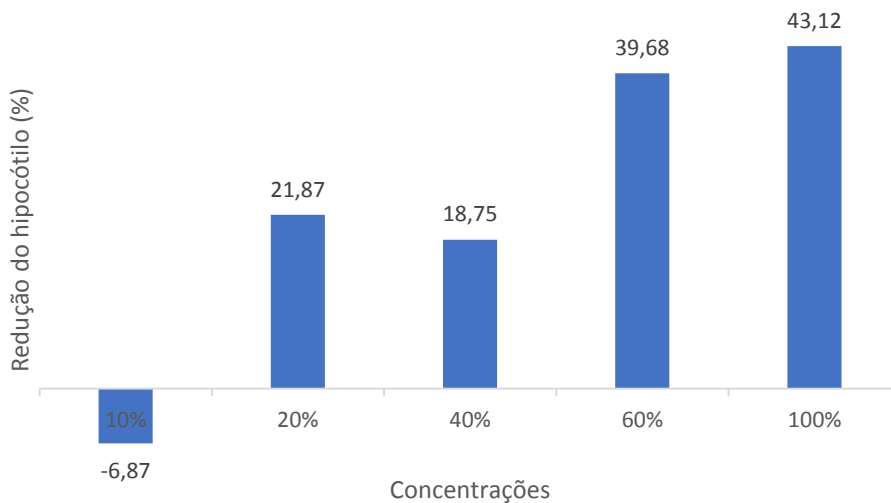


\* Modelo significativo pela regressão na análise de variância ao nível de 5%

**FIGURA 6** - Análise de regressão linear do desenvolvimento do hipocótilo do feijão-caupi sob o efeito dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

Observa-se que as concentrações, a partir de 20%, inibiram o crescimento do hipocótilo, e, nessa concentração, a inibição foi de 21,87%, a concentração de

40% inibiu 18,75%, a concentração de 60% inibiu 39,68% e, por fim, a concentração de 100% teve um efeito inibitório em 43,12% conforme visto na **FIGURA 7**.



**FIGURA 7** – Dados sobre o desenvolvimento do hipocótilo de feijão-caupi sob o efeito das diferentes concentrações dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

O potencial fitotóxico de extratos vegetais de *Crotalaria juncea* em diferentes dosagens sobre a germinação de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), milho (*Zea mays* L.) e quinoa (*Chenopodium quinoa*) demonstraram que o comprimento de radícula da quinoa se mostrou mais

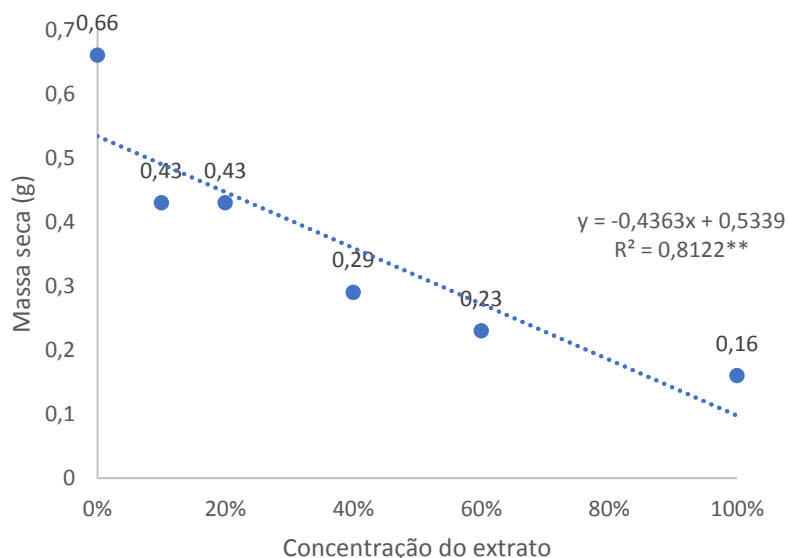
sensível ao efeito alelopático, enquanto que para comprimento de caulículo o feijão foi a espécie mais afetada<sup>44</sup>.

Em campo, esses resultados obtidos demonstram que a espécie *A. hybridus* ou restos vegetais dessa espécie poderiam proporcionar um menor crescimento da planta em campo, ocasionando desvantagem, pois, uma planta mais baixa perderia em competição por luz com plantas maiores e, poderiam ser mais suscetível ao tombamento.

Essas alterações morfológicas podem estar relacionadas à maior sensibilidade da raiz aos aleloquímicos e, ao contato direto e prolongado desta com os tratamentos. Isso resulta em maior efeito fitotóxico, devido aos aleloquímicos agirem sobre a divisão celular,

a permeabilidade da membrana, a síntese proteica e o metabolismo dos lipídios e ácidos orgânicos, além dos efeitos sobre mecanismos hormonais que induzem o crescimento<sup>45</sup>.

Em relação à produção de biomassa foi demonstrado que a massa seca de plântulas de feijão-caupi diminuíram de acordo com o aumento das concentrações e foi potencialmente fitotóxico, apresentando na regressão linear  $R^2$  igual a 0,8122, como demonstra a **FIGURA 8**.

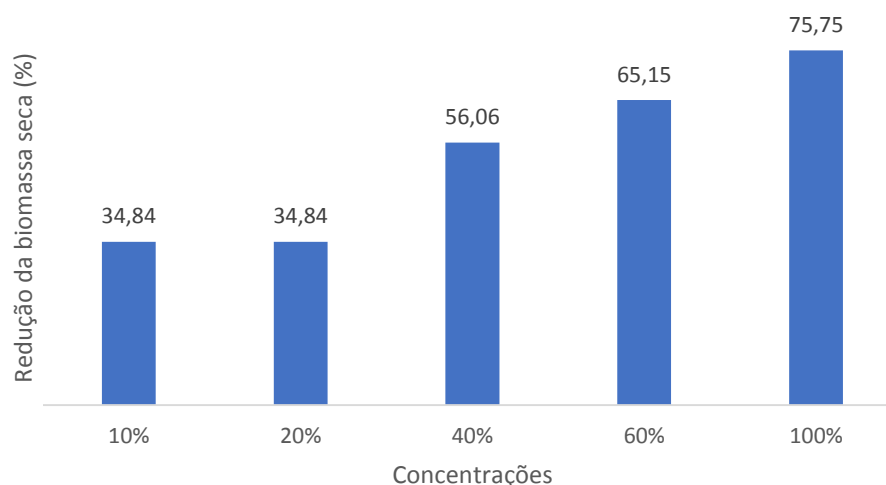


\*\* Modelo significativo pela regressão na análise de variância ao nível de 1%

**FIGURA 8** - Análise de regressão linear da produção de biomassa do feijão-caupi sob o efeito dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

Os tratamentos com concentrações a partir de 40% causaram uma redução significativa de mais de 50% do acúmulo de biomassa seca. Esses resultados são observados na **FIGURA 9**, na qual observamos que a concentração de 100% inibiu a produção de biomassa seca

em 75,75%, em relação ao tratamento que recebeu apenas água destilada.



**FIGURA 9** – Dados sobre a produção de biomassa seca do feijão-caupi sob o efeito das diferentes concentrações dos tratamentos obtidos de *Amaranthus hybridus*.

Os carurus (*Amaranthus* spp.) são plantas daninhas que possuem via de fixação de carbono do tipo C4. Esse mecanismo fotossintético confere diversas características vantajosas em relação às plantas C3, que o caso do feijão-caupi, principalmente, em ambientes quentes e úmidos<sup>41</sup>, o que contribui para a presença de

espécies de *Amaranthus* em áreas de produção agrícola e, dessa forma, o feijão-caupi por ser uma planta de metabolismo C3<sup>42</sup> tende a ter desvantagens em uma eventual comparação com o *A. hybridus* (TABELA 3).

**TABELA 3 - Diferenças entre plantas C3 E C4.**

Feijão-caupi (C3)	<i>Amaranthus hybridus</i> (C4)
Satura a fotossíntese com 1/3 da luz solar máxima	Não atinge a saturação com o aumento da intensidade luminosa
Temperatura de 25°C para atingir a fotossíntese	Temperatura de 35°C
Alto consumo de água para produção de massa seca	Baixo consumo de água
Baixa taxa de fotossíntese líquida	Alta taxa de fotossíntese líquida
Alto conteúdo de N na folha para atingir a fotossíntese máxima	Baixo conteúdo de N na folha

Fonte: Dourado Neto e Fancelli (2000)<sup>38</sup>.

Isso em campo significa que, em diversas situações tais como estresse hídrico e altas temperaturas, o *A. hybridus* teria vantagens em relação ao feijão-caupi e, também, em relação à presença de aleloquímicos liberados pelos caules, folhas, raízes, inflorescências e flores, frutos e sementes<sup>2</sup>, acarretando uma diminuição do IVG e por consequência deficiência no crescimento normal da raiz diminuindo a capacidade da mesma em

buscar água e nutrientes em profundidades maiores afetando diretamente na produtividade final da leguminosa<sup>41</sup>.

Corroboram os dados apresentados neste artigo, a avaliação do efeito de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. A *Mucuna aterrima* foi a espécie mais eficiente na redução da germinação de *Ipomoea grandifolia* em todos os manejos utilizados. Para a

espécie *Euphorbia heterophylla*, destacaram-se os tratamentos com *Pennisetum glaucum* e *M. aterrima*, principalmente quando se utilizaram 80 t ha<sup>-1</sup> de biomassa, independentemente da forma de manejo. Para *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* as espécies *P. glaucum* e *Crotalaria juncea* foram as mais eficientes na redução da germinação<sup>46</sup>.

Outro estudo avaliou a alelopatia de extratos aquosos de capim-amargoso sobre a germinação e crescimento inicial de plantas cultivadas e plantas daninhas. Entre as culturas, houve redução na germinação apenas na cultura do feijão (-12,5%), em resposta ao extrato aquoso radicular 50%. Entre as plantas daninhas, a espécie mais sensível foi o picão-preto, com reduções na germinação (-41%) e comprimento da parte aérea (-59%) e radicular (-84%) quando as sementes foram expostas ao extrato da parte aérea. Portanto, o efeito alelopático exercido pelo capim-amargoso pode estar relacionado à sua grande competitividade com os cultivos, assim como ao seu caráter dominante em áreas após a sua introdução<sup>47</sup>.

Pesquisadores avaliaram o potencial alelopático do extrato aquoso da parte aérea de *Sorghum bicolor*, em diferentes fases fenológicas, sobre a germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*), que é considerada uma espécie bioindicadora. O efeito inibitório é maior quando utilizados extratos mais concentrados provenientes de plantas em pré-florescimento, que corresponde a 60 dias após emergência<sup>48</sup>. Portanto, essa fase é a que deve ser recomendada na utilização da palhada de *S. bicolor* para auxiliar no controle de plantas daninhas.

Em trabalho de campo esses resultados levam a refletir sobre a ação dos metabólitos secundários, uma vez que interferem no desenvolvimento da planta tornando-a menos vigorosa e produtiva e vulnerável a pragas e doenças.

## Conclusões

Os tratamentos obtidos da fração aquosa nas concentrações testadas não apresentaram estatisticamente

fitotoxicidade sobre a inibição da germinação das sementes de feijão-caupi.

As concentrações a partir de 60% dos tratamentos demonstraram fitotoxicidade efetivas sobre o IVG e crescimento da radícula, demonstrando dose/dependência.

Na verificação de produção de biomassa seca todos os tratamentos foram efetivos, diminuindo a produção de biomassa pelas plântulas de feijão-caupi.

## Declaração de conflitos de interesses

Os autores do artigo afirmam que não houve nenhuma situação de conflito de interesse, tais como propostas de financiamento, emissão de pareceres, promoções ou participação em comitês consultivos ou diretivos, entre outras, que pudessem influenciar no desenvolvimento do trabalho.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA pelo suporte financeiro.

## Referências

- SHIRGAPURE, K. H.; GHOSH, P. Allelopathy a tool for sustainable weed management. **Archives of Current Research International**, v. 20, n. 3, p.17-25, 2020.
- BORGES, L. P.; AMORIM, V. A. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p. 54-67, 2020.
- NOGUEIRA, P.; SEGATTO, C.; BORTOLOTTI, F. L.; RESCHKE LAJÚS, C.; LOPES DA LUZ, G. Intervalos de pré-semeadura da cultura do milho (*Zea mays* L.) após o cultivo do azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), sobre a emergência e o crescimento inicial. **Revista científica eletrônica de agronomia**, n. 28, p. 59-70 2015.
- INDERJIT. The e stem and evolutionary contexts of allelopathy. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 12, p. 655-662, 2011.

5. COELHO, F. B.; MAIA, S. S.; OLIVEIRA, K.; DIÓGENES, E.P. Atividade alelopática de extrato de sementes de juazeiro. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n.1, p. 108-111, 2011.
6. FRIEDMAN, J. Allelopathy, autotoxicity, and germination. In: ZIGEL, J.; GALILI, G. (Eds.) **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995.
7. TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed., Porto Alegre-RS: Artmed, 2004.
8. SALOMÃO, P. E. A.; FERRO, A. M. S.; RUAS, W. F. Herbicidas no Brasil: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. 1-22, 2020.
9. RIGON, C. A. G.; PELEGRIN, A. J. D.; GAVIRAGHI, R.; SANTORI, G.; VOSS, H. M. G.; SALAMONI, A. T. Potencial alelopático de extratos foliares de mamona sobre a germinação e o desenvolvimento de picão preto e soja. **Tecnologia e Ciências Agropecuárias**, v. 8, n. 2, p. 33-39, 2014.
10. RICKLI, H. C.; FORTES, A. M. T.; SILVA, P. S. S.; PILATTI, D. M.; HUTT, D. R. Efeito alelopático de extrato aquoso de folhas de *Azadirachta indica* A. Juss. em alface, soja, milho, feijão e picão preto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 461-472, 2011.
11. ARRUDA, L.A.M.; XAVIER, A.S.; BARROS, A.P.O.; ALMEIDA, A.P.A.; ALVES, A. O.; GALDINO, R.M.N. Atividade hormonal do extrato de tiririca na rizogênese de estacas de sapoti. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFRPE. **Anais...** CD JEPEX 2009.
12. BACH, F.T.; SILVA, C.A.T. Efeito alelopático de extrato aquoso de boldo e picão preto sobre a germinação e desenvolvimento de plântulas de alface. **Cultivando o Saber**, v. 3, n. 2, p. 190-198, 2010.
13. BEDIN, C.; MENDES, L.B.; TRECENTE, V.C.: SILVA J.M.S. Efeito alelopático de extrato de *Eucalyptus citriodora* na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.). **Revista científica eletônica de agronomia**, v. 21, n. 10, 2006.
14. SALES, S. C. M.; SANTOS, G. C.; SOUZA, P. R. S. Efeito Alelopático de boldo, capim cidreira e hortelã sobre germinação e crescimento de plântulas de alface. In: IV Congresso de ecologia do Brasil. Anais... **Congresso de ecologia do Brasil - Caxambu**. 2005.
15. CREMONEZ, F.E.; CAMARGO, M. P.; FEINDEN, A. Principais plantas com potencial alelopático encontradas nos sistemas agrícolas brasileiros. **Acta Iguazu**, v. 2, suplemento, p. 70-88, 2013.
16. DALMOLIN, S. F.; PERSEL, C.; SILVA, C. T. A. C. Alelopatia de capim-limão e sálvia sobre a germinação de picão preto. **Revista Cultivando o saber**, v. 5, n. 3, p. 176-189, 2012.
17. SOLANO, J. P. L. Diversidad genética em algumas especies de amaranto (*Amaranthus* spp.). **Revista de Fitotecnia do México**, v. 33, n. 2, p. 89-95, 2010.
18. HORAK M. J.; LOUGHIN T. M. Growth analysis of four *Amaranthus* species. **Weed Science**, v. 48, n. 3, p. 347-355, 2000.
19. SAUSEN, D.; MARQUES, L. P.; BEZERRA, L.de O.; SILVA, E. dos S.; CANDIDO, D. Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23150-23169, 2020.
20. KNEZEVIC, S. Z.; HORAK, M. J.; VANDERLIP, R. L. Relative time of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) emergence is critical in pigweed-sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] competition. **Weed Science**, v. 45, n. 4, p. 502-508, 1997.
21. SCHNEIDER, T.; RIZZARDI, M. A.; NUNES, A. L.; BIANCHI, M. A.; BRAMMER, S. P. ROCKENBACH, A. P. Biologia molecular aplicada à ciência das plantas daninhas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 12-24, 2018.
22. FERREIRA, D. T.; SILVA, I. C. da; SILVA, V. M. da; ENDRES, L.; SOUZA, R. C. de; FERREIRA, V. M. Análise de crescimento de espécies daninhas do

- gênero Euphorbia. **Revista Agro@ambiente Online**, v. 11, n. 2, p. 145-152, 2017.
23. KLINGAMAN, T. E.; OLIVER, L. R. Palmer amaranth (*Amaranthus palmerii*) interference in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v. 42, n. 4, p. 523-527, 1994.
24. ROWLAND, M. W.; MURRAY, D. S.; VERHALEN, L. M. Full-season palmer amaranth (*Amaranthus palmerii*) interference with cotton (*Gossypium hirsutum*). **Weed Science**, v. 47, n. 3, p. 305-309, 1999.
25. ARAÚJO, J. P. P. de; SANTOS, A. A. dos; CARDOSO, M. J.; WATT, E. E. Nota sobre a ocorrência de uma inflorescência ramificada em caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Subsp. unguiculata no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.12, n.1/2, p.187-193, 1981.
26. CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.396-404, 2009.
27. ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA/Embrapa, 1988. p. 99-136.
28. CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B. da; ROCHA, de M. R. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**. v.5, n.2, p.110-116, 2000.
29. LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas, Tóxicas e Medicinais**. 2 ed. Nova Odessa, SP: Plantarum, 2008.
30. SILVA F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2006.
31. CENTENARO. Contribuição ao estudo alelopático de *Erythrina velutina* Willd., Fabaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 1b, 2009.
32. RASERA, G. B.; CASTRO, R. J. S. de. Germinação de grãos: Uma revisão sistemática de como os processos bioquímicos envolvidos afetam o conteúdo e o perfil de compostos fenólicos e suas propriedades antioxidantes. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, v. 3, n. 1, p. 287-300, 2020.
33. FERREIRA, A. G.; ÁQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1(Edição Especial), p.175-204, 2000.
34. MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
35. NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P. de; MARTINS, G. I.; MENEGHETTI, A. M. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max* L. Merrill) sob cobertura vegetal. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 461-465, 2009.
36. ZANUNCIO, A.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORREA, C. C. G.; OLIVEIRA, M.; TORRES, F. E. Alelopatia de adubos verdes sobre *Cyperus rotundus*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 441-446, 2013.
37. CARVALHO, M. S. S.; VIEIRA, L. F. A.; SANTOS, F. E. dos; CORREA, F. F.; CARDOSO, M. das G.; VILELA, L. R. Allelopathic potential and phytochemical screening of ethanolic extracts from five species of *Amaranthus spp.* in the plant model *Lactuca sativa*. **Scientia Horticultura**, v. 245, p. 90-98, 2019.
38. BORGES, C. Z.; CUCHIARA, C. C.; SILVA, S. D. A. Efeitos citotóxicos e alelopáticos de extratos aquosos de *Ricinus communis* utilizando diferentes bioindicadores. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, n. 3, p. 15-20, 2011.
39. ALVES, R. M.; SILVA, M. A. D. da; SILVA, J. N. da; COSTA, R. S.; SANTOS, B. K. de L.; LIMA, E. da S. Efeito alelopático de *Libidibia ferrea* Mart. sobre o vigor das sementes de feijão-caupi. **Revista Verde**, v. 14, n. 3, p. 476-479, 2019.

40. KRAUS, J.; SCATENA, V. Morfologia externa e interna de quatro espécies de *Paepalanthus kunth* (Eriocaulaceae) em desenvolvimento pós-seminal. **Boletim De Botânica Da Universidade De São Paulo**, vol. 15, p. 45–53. *JSTOR*, JSTOR, [www.jstor.org/stable/42871874](http://www.jstor.org/stable/42871874); 1996.
41. PAUL, R. Weeds and the C4 syndrome. **Weeds Today**, v. 15, n. 1, p. 3-4, 1984.
42. DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. Produção de feijão. **Guaíba: agropecuária**, v. 2, p. 19-20, 2000.
43. RICE, E.L. Allelopathy. 2 ed. New York: Academic Press, 1984.
44. SANTOS, C. C.; SILVA, L. G.; SILVA, G. C.; FERRAZ JUNIOR, A. S. de L. Alelopatia entre leguminosas arbóreas e feijão-caupi. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 3, p. 187-192, 2010.
45. PRICHOA, F. C.; LEYSER, G.; OLIVEIRA, J. V.; CASIAN, R. L. Comparative allelopathic effects of *Cryptoconya moschata* and *ocotea odorífera* aqueous extracts on *Lactuca sativa*. **Acta scientiarum. Agronomy**. v. 35, n. 2, p.: 197-202, 2013.
46. MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; INÁCIO, E. M.; BRUNHARA, J. P.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 85-95, 2009.
47. IBANHES NETO, H. F.; MARCATO, M. H. F.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; TAKAHASHI, L. S. A.; DALAZEN, G. Germination and initial growth of crops and weeds in response to *Digitaria insularis* aqueous extracts. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 1, p. 14-22, 2020.
48. ZUCARELI, V.; COELHO, E. M. P.; FERNANDES, W. V.; PERES, E. M.; STRACIERI, J. Allelopathic potential of *Sorghum bicolor* at different phenological stages. **Planta Daninha**, v. 37, p. 2-8, 2019.