

MARIA TEREZA BARBOSA DA SILVA

HERBICIDAS NA GERMINAÇÃO DE CEBOLA E CENOURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis

Coorientadora: Gabriella Daier Oliveira Pessoa

**RIO PARANAÍBA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade Federal
de Viçosa - Campus Rio Paranaíba**

T

S586h
2021 Silva, Maria Tereza Barbosa da, 1996-
Herbicidas na germinação de cebola e cenoura / Maria
Tereza Barbosa da Silva. – Rio Paranaíba, MG, 2021.
41 f.: il.

Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Instituto de Ciências Agrárias, 2021.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvcrp.2022.005>

Modo de acesso: <https://www.locus.ufv.br/>.

1. *Allium cepa* L.. 2. *Daucus carota* L.. 3. Efeito residual.
I. Reis, Marcelo Rodrigues dos. II. Universidade Federal de
Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia
(Produção Vegetal). III. Título.

632.954

Bibliotecário(a) responsável: Crislene Silva de Sousa 2539

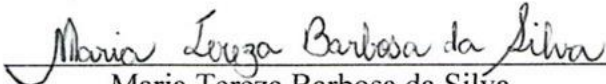
MARIA TEREZA BARBOSA DA SILVA

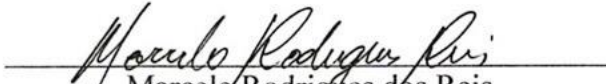
HERBICIDAS NA GERMINAÇÃO DE CEBOLA E CENOURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 06 de dezembro de 2021.

Assentimento:


Maria Tereza Barbosa da Silva
Autora


Marcelo Rodrigues dos Reis
Orientador

A Deus e aos meus pais por todo apoio e orações...
Ofereço e Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dá discernimento e força para batalhar por cada sonho, sem Ele eu nada seria.

Aos meus pais, Queile e Marcelo, por me permitirem alçar meus próprios voos, sempre estiveram ao meu lado, mesmo na distância, me apoiando e batalhando para que os meus objetivos se tornassem realidade.

Aos meus avôs Geraldo, Tereza e Vanilda que sempre se fizeram presentes na minha criação, preocupando e rezando sempre por mim.

A minha irmã Maria Rita e meu irmão de coração Jean Carlos, por torcerem por cada conquista minha.

Ao meu namorado Carlos Afonso pelo seu companheirismo e carinho.

Agradeço imensamente ao meu orientador professor Marcelo Reis pelo incentivo e confiança, que foi fundamental nesse processo. Agradeço por me acolher entre seus orientados. Tenho grande orgulho por ter sido orientada por uma pessoa tão grandiosa profissionalmente e pessoalmente.

À minha coorientadora e amiga Gabriella Daier, por ser muito mais que uma simples orientadora. Sempre me incentivando com o seu exemplo de ser uma mulher de fibra.

À Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba pela oportunidade em realizar este mestrado que tanto almejei e a todo seu corpo docente que auxiliaram muito para o meu crescimento e aprendizado.

Ao Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) por disponibilizar sua estrutura e funcionários para realização dos ensaios.

Aos meus amigos, estagiários e orientados do Laboratório de Sementes.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

E a todos, que direta ou indiretamente me ajudaram até aqui para a realização desse sonho. O meu muito obrigada!

“Se tiveres fé no Senhor, nada será impossível”
Santa Rita de Cássia

RESUMO

SILVA, Maria Tereza Barbosa da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2021. **Herbicidas na germinação de cebola e cenoura.** Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis. Coorientadora: Gabriella Daier Oliveira Pessoa.

O cultivo de hortaliças exige atenção à sensibilidade das sementes a resíduos de herbicidas na área de plantio, uma vez que esses podem influenciar o desenvolvimento e produtividade da cultura. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de herbicidas na germinação de cebola e cenoura. Os estudos foram conduzidos utilizando-se de sementes de cebola, cultivar Akamaru, e de cenoura, cultivar Verano. Foram utilizados nove herbicidas: atrazine ($4 \text{ L ha}^{-1} \text{ i.a.}$); clorimuron ($60 \text{ i.a. g ha}^{-1}$); diclosulam (40 g i.a.ha^{-1}); flumioxazina ($100 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$); imazetapir ($1 \text{ L ha}^{-1} \text{ i.a.}$); metribuzin ($1 \text{ L ha}^{-1} \text{ i.a.}$); saflufenacil ($100 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$); sulfentrazone ($0,6 \text{ L ha}^{-1} \text{ i.a.}$) e tembotrione ($300 \text{ mL ha}^{-1} \text{ i.a.}$). As concentrações utilizadas para todos os herbicidas foram de 0; 3,12; 6,25; 12,5; 25 e 50% à dose recomendada para as duas espécies. Foram avaliados a porcentagem de germinação aos seis dias para cebola e aos sete dias para cenoura após a instalação dos testes e aos 12 dias, foram avaliados a segunda contagem de germinação, porcentagem de injúrias, comprimento de raiz e peroxidação de lipídeos para ambas as espécies trabalhadas. Os resultados mostraram que, para as condições testadas, o sulfentrazone reduziu a germinação de ambas as culturas, sendo o herbicida mais prejudicial na fase de germinação. Os herbicidas clorimuron, diclosulam, atrazine, tembotrione e flumioxazina não influenciaram a germinação das sementes de cebola. Por outro lado, somente o imazetapir, tembotrione e flumioxazina não afetaram a germinação da cenoura. O sulfentrazone, reduziu a germinação de ambas as culturas, sendo o herbicida mais prejudicial na fase de germinação das hortaliças estudadas. Com base nestes estudos conclui-se que a cebola e cenoura são sensíveis a todas as concentrações dos herbicidas nas condições que foram avaliados, alertando ao risco de *carryover* nos casos de rotação de cultura.

Palavras-chaves: *Allium cepa* L. *Daucus carota* L. Efeito residual.

ABSTRACT

SILVA, Maria Tereza Barbosa da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December 2021. **Herbicides on onion and carrot germination.** Advisor: Marcelo Rodrigues dos Reis. Co-advisor: Gabriella Daier Oliveira Pessoa.

The cultivation of vegetables requires attention to the sensitivity of seeds to herbicide residues in the planting area, since these can influence the development and productivity of the crop. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the effect of herbicides on onion and carrot germination. The studies were conducted using onion seeds, cultivar Akamaru, and carrot, cultivar Verano. Nine herbicides were used: atrazine (4 L ha⁻¹ a.i.); chlorimuron (60 a.i.g ha⁻¹); diclosulam (40 g a.i.ha⁻¹); flumioxazin (100 g ha⁻¹ a.i.); imazethapyr (1 L ha⁻¹ a.i.); metribuzin (1 L ha⁻¹ i.a.); saflufenacil (100 g ha⁻¹ a.i.); sulfentrazone (0.6 L ha⁻¹ a.i.) and tembotrione (300 ml ha⁻¹ a.i.). The concentrations used for all herbicides were 0; 3.12; 6.25; 12.5; 25 and 50% at the recommended dose for both species. The percentage of germination at six days for onions and at seven days for carrots were evaluated after the installation of the tests and at 12 days, the second germination count, percentage of injuries, root length and lipid peroxidation were evaluated for both species. worked. The results showed that, for the tested conditions, sulfentrazone reduced the germination of both crops, being the most harmful herbicide in the germination phase. The herbicides clorimuron, diclosulam, atrazine, tembotrione and flumioxazin did not influence the germination of onion seeds. On the other hand, only imazethapyr, tembotrione and flumioxazin did not affect carrot germination. Sulfentrazone reduced the germination of both crops, being the most harmful herbicide in the germination phase of the vegetables studied. Based on these studies, it is concluded that onions and carrots are sensitive to all concentrations of herbicides under the conditions that were evaluated, warning of the risk of carryover in cases of crop rotation.

Keywords: *Allium cepa* L. *Daucus carota* L. Residual effect.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. 2 OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.2. Local do experimento	11
3.2. Espécies e variedades cultivadas	12
3.3. Soluções e tratamentos	12
3.4. Teste de envelhecimento acelerado.....	12
3.5. Teste de germinação	13
3.6. Avaliações	13
3.6.1. Contagem de germinação e de plântulas anormais.....	13
3.6.2. Comprimento de plântulas	14
3.6.3. Peroxidação de lipídios	14
3.7. Análise estatística	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1. Cebola.....	15
4.1.1. Efeito dos herbicidas inibidores da ALS	15
4.1.2. Herbicidas inibidores do FS II	16
4.1.3. Herbicidas inibidores da síntese de carotenoides	19
4.1.4. Herbicidas inibidores da PROTOX.....	21
4.2. Cenoura.....	23
4.2.1. Efeito dos herbicidas inibidores da ALS	23
4.2.2. Efeito dos herbicidas inibidores do FS II.....	25
4.2.3. Efeito dos herbicidas inibidores da síntese de carotenoides	27
4.2.4. Efeito dos herbicidas inibidores da PROTOX	29
4.2. Comparação entre as duas culturas	31
5. DISCUSSÃO.....	32
6. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

Com a expansão da produção agrícola, um dos setores que têm mais se destacado são os de cultivos de olerícolas, que constituem uma das principais fontes de alimentação por serem ricas em vitaminas, fibras, minerais e antioxidantes. A olerícolas possuem grande relevância no cenário econômico do Brasil onde destacam-se a produção das culturas de batata, tomate, alface, cebola e cenoura (EMBRAPA, 2020).

Das espécies de olerícolas que podem ser propagadas via sementes, cenoura (*Daucus carota*), tomate (*Solanum lycopersicum*), alface (*Lactuca sativa*) e cebola (*Allium cepa*) possuem grande consumo devido suas características nutritivas. A cenoura é uma hortaliça intensamente implantada em muitas regiões do país, possui alto valor agregado contribuindo assim para se tornar a principal fonte de renda em muitas propriedades agrícolas (GUIMARÃES et al., 2017). A cultura da cebola também é uma das hortaliças economicamente mais importantes.

O método de semeadura direta tornou-se uma prática comum, principalmente entre os médios e grandes produtores. Entretanto, as sementes de cebola, requerem atenção especial, por necessitarem de mais tempo para germinar do que outras espécies de hortaliças (LESZCZYNSKI et al., 2012).

A germinação das sementes é a fase mais crucial no estabelecimento e desenvolvimento das plântulas afetando diretamente a produtividade, todavia, diversos fatores bióticos – pragas e doenças, e abióticos, como temperatura, água, luz, profundidade de plantio, textura do solo, uso de pesticidas - fungicidas, inseticidas e herbicidas, podem influenciar neste processo (GOMES, 2009). Nesse sentido, a preocupação sobre os efeitos de práticas adotadas em culturas antecessoras à cenoura e cebola tem aumentado, a exemplo do controle químico de plantas daninhas (GUIMARÃES, 2017; RATHOD, 2014).

Herbicidas representam o método mais utilizado no controle de plantas daninhas, principalmente em cultivos mais tecnificados, por proporcionarem maior eficácia, facilidade de aplicação e custo reduzido (SAHOO et al., 2013). No entanto, alguns compostos, dependendo de sua estrutura química e das condições ambientais, podem não ser degradados completamente durante o ciclo da cultura anterior, deixando resíduos indesejáveis no solo, os quais podem afetar cultivos em sucessão e comprometer o ambiente, denominado de efeito *carryover* (MANCUSO et al., 2011).

Uma vez em contato com o solo, os herbicidas podem sofrer diversos processos como sorção, transformação e transporte, persistindo no solo por alguns meses ou até mesmos anos,

dependendo das características moleculares e das condições do ambiente em que se encontram (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011). Muitos produtores ainda desconhecem as consequências geradas pelo *carryover* dos herbicidas devido à complexidade do comportamento desses produtos no solo, que pode interferir no desenvolvimento, produtividade e qualidade das hortaliças (RIDDLE et al., 2013).

Os resíduos de herbicidas no solo podem afetar desde a germinação até ao crescimento da planta, com alterações antioxidantes enzimáticas e não enzimáticas, bioquímicas e fisiológicas (STEVENS et al., 2008). A intoxicação pode não ser visível, mas pode resultar em menor crescimento e produtividade das culturas, mesmo em situações de baixas concentrações dos herbicidas no solo (ROBINSON e MCNAUGHTON, 2012).

Vários outros efeitos secundários desses resíduos de herbicidas na fisiologia das culturas também foram identificados, afetando importantes funções nas plantas, como o enfraquecimento do endosperma das sementes, mobilização de reservas, proteção contra patógenos e como moléculas sinalizadoras de estímulos ambientais (FELIX, 2012; GOMES et al., 2016.). Além disso, os sistemas antioxidantes têm um papel central na germinação das sementes sob a presença de herbicidas. Sabe-se que as respostas de oxidação sob condições de estresse (tais como a presença de herbicida) diferem entre espécies, órgãos, tecidos e até mesmo entre variedades da mesma espécie (BETTIOL et al., 2015).

Com o aumento de áreas irrigadas no país vem se aumentando os cultivos de duas até três safras na mesma área. Entretanto nas bulas de herbicidas brasileiras não constam informações a respeito do intervalo de segurança para culturas sensíveis. A persistência dos herbicidas nos solos é variada, podendo durar dias até vários meses. Uma das formas de avaliar essa persistência é através do tempo de meia-vida, é definido como o intervalo para que 50% molécula do herbicida seja degradada (SILVA et al., 2007). Em solos de regiões de clima temperado, a meia-vida do tembotrione é estimada em 127 dias (ROJAS et al., 2015). Já o diclosulam apresenta meia-vida de 67 dias em áreas cultivadas em sistema de plantio direto e de 87 dias em solos cultivados convencionalmente (LAVORENTI et al., 2003). A Atrazina também é classificada como moderadamente persistente, com meia vida média no solo de 60 dias (WAUCHOPE et al., 1992)

Sintomas de intoxicação por herbicidas tornaram-se recorrentes em sistemas de rotação de cultura, principalmente para culturas de ciclo curto, como as olerícolas. Dessa forma, conhecer esses efeitos residuais em culturas sucessoras torna-se imprescindível. Assim, alguns estudos que avaliaram os resíduos de alguns herbicidas como em sementes de grão-de-bico cv LG-11 (*Cicer arietinum* L.), evidenciaram que o imazethapyr não influenciou na germinação

em condições de laboratório, todavia, reduziu a velocidade de germinação e os índices de tolerância e vigor e aumentou o tempo médio de germinação e intoxicação de plântulas, em que nas concentrações mais altas (5 e 10 ppm) o crescimento da radícula e plúmula foi severamente afetado (HOSEINY -RAD e JAGANNATH, 2011).

O glyphosate pouco interfere na germinação de alface, pepino (*C. sativus*), tomate (RODRIGUES et al., 2017), milho (*Z. mays*) (GOMES et al., 2019) e *Dimorphandra wilsonni* (GOMES et al., 2016). No entanto, aumentou o tempo médio de germinação e reduziu o comprimento de raízes e o número de raízes adventícias de milho (GOMES et al., 2019) e inibiu o desenvolvimento (RODRIGUES et al., 2017). Embora muitos trabalhos avaliem a dinâmica, persistência, o metabolismo de herbicidas nos solos e o potencial de translocação destes nas culturas (REIS et al., 2018; YADAV et al., 2019), são poucos os estudos no Brasil que avaliam a influência de herbicidas na germinação de sementes especialmente de hortaliças (FURLAN, 2017; GOMES et al., 2019a, 2019b; HURDLE et al., 2020). Assim, para minimizar esses problemas, é importante conhecer os efeitos de resíduos de herbicidas utilizados em culturas sucessoras sobre a germinação de sementes de olerícolas.

2.2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo

Avaliar o efeito de herbicidas na germinação das culturas de cebola e cenoura.

2.2. Objetivos específicos

Avaliar o efeito de herbicidas nas características morfológicas de plântulas de cebola e cenoura;

Avaliar o efeito dos herbicidas na peroxidação de lipídios das sementes de cebola e cenoura.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2. Local do experimento

O trabalho foi realizado durante os anos de 2020 e 2021 nos Laboratório Núcleo de Pesquisa e Análises de Sementes e Núcleo de Pesquisa em Fisiologia Vegetal e Estresse de Plantas situados no Centro Universitário de Patos de Minas-Unipam.

3.2. Espécies e variedades cultivadas

Os ensaios foram conduzidos utilizando sementes de cebola (*Allium cepa* L.), cultivar Akamaru e de cenoura (*Daucus carota* L.) cultivar Verano. As sementes de ambas as espécies foram obtidas com tratamento industrial, com a taxa germinação de 90% para cenoura e cebola, consideradas adequadas para os parâmetros de comercialização no Brasil (BRASIL, 2009).

3.3. Soluções e tratamentos

As soluções-estoque de nove herbicidas foram preparadas pela mistura das formulações comerciais com água destilada. As concentrações utilizadas de cada herbicida foram calculadas com base na dosagem média comercial proposta (recomendada), levando-se em consideração a área a ser aplicada (Tabela 1). Todos testados nas concentrações de 0; 3,12; 6,25; 12,5; 25 e 50% em relação a dose recomenda de bula para as duas espécies (cenoura e cebola), totalizando 108 tratamentos. Estes tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos que foram utilizados no experimento intitulado “EFEITO DE HERBICIDAS NA GERMINAÇÃO”. Patos de Minas, 2020.

Ingrediente	
Ativo	Dosagem
Atrazine	4 L ha ⁻¹
Clorimuron	60 g ha ⁻¹
Diclosulam	40 g ha ⁻¹
Flumioxazin	100 g ha ⁻¹
Imazethapyr	1 L ha ⁻¹
Metribuzin	1 L ha ⁻¹
Saflufenacil	100 g ha ⁻¹
Sulfentrazone	0,6 L ha ⁻¹
Tembotrione	300 mL ha ⁻¹

Fonte: Autoria Própria

3.4. Teste de envelhecimento acelerado

As sementes foram previamente submetidas ao envelhecimento acelerado. Este teste consiste em avaliar o comportamento das sementes, a partir de sua germinação, após terem sido submetidas à elevada temperatura e umidade relativa do ar, por determinado período de exposição (MARCOS FILHO, 1999). Sendo adotado para estimar o potencial de emergência de plântulas em campo.

As sementes foram desinfestadas por meio de imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1%, por três minutos. Em seguida, as mesmas foram enxaguadas com água destilada até a retirada completa do hipoclorito. Após secas, as sementes foram colocadas em gerboxes, que possuem em seu interior telas de alumínio, na qual serão distribuídas as sementes em camadas simples, sem haver sobreposição das mesmas,. em cada caixa foram adicionados 40,0 mL de solução saturada de NaCl. Essa solução foi obtida pela proporção de 40 g de NaCl/100 ml de água, estabelecendo assim um ambiente com umidade relativa do ar de 76% (JIANHUA e MCDONALD, 1996). Em seguida, as caixas foram tampadas e permaneceram no interior da câmara de envelhecimento, sob temperatura de 41 °C durante 72 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação. (MARCOS FILHO, 1999).

3.5. Teste de germinação

O teste de germinação foi realizado com base na metodologia proposta por Brasil (2009). Para isso, folhas de papel germitest foram cortadas nas dimensões 10,5 x 10,5 cm, foram esterilizadas em estufa a 120 °C durante duas horas. Em seguida, as folhas foram pesadas e posteriormente calculou-se três vezes o peso do papel para determinar a quantidade de água destilada a ser adicionada. Para o teste padrão foram utilizados três folhas de papel germitest para cada repetição.

Posteriormente, as caixas foram colocadas em sacos plásticos para conservação da umidade e mantidas em germinador tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.) ajustado à temperatura de 20 °C. Foram utilizadas, para cada repetição, 50 sementes de cada espécie, com um total de 200 sementes por cada teste, sendo as mesmas distribuídas de forma equidistantes nas caixas.

3.6. Avaliações

3.6.1. Contagem de germinação e de plântulas anormais

O teste de germinação foi encerrado com 12 dias e os resultados serão demonstrados em porcentagem de germinação para cenoura e cebola.

As avaliações das plântulas normais no teste de germinação foram conduzidas concomitantemente para ambos os testes. Na avaliação, as plântulas normais que se apresentarem sadias, sem defeitos e com cotilédone e sistema radicular bem desenvolvidos, foram classificadas como plântulas normais (NAKAGAWA, 1999). Durante a segunda avaliação, as plântulas foram. Os resultados dos testes foram expressos em porcentagem média de plântulas “normais”. Além disso, foi realizada avaliação visual sobre o estado das plântulas, sendo classificadas em “normais” e “anormais”, observando: necrose na raiz, presença de raízes laterais, plântula anormal e movimento gravitrópico alterado. As plantas foram consideradas normais ou anormais seguindo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). cada ensaio.

3.6.2. Comprimento de plântulas

O comprimento de raízes de plântulas foi realizado juntamente com o teste de germinação aos 12 DAS. As medições foram feitas utilizando-se de quatro subamostras de cinco plântulas normais escolhidas aleatoriamente de cada tratamento. Os resultados foram expressos em cm/plântula. (NAKAGAWA, 1999).

3.6.3. Peroxidação de lipídios

Para esta análise bioquímica, foram coletadas 25 sementes germinadas por repetição selecionadas em cada repetição as 12 DAS. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e embrulhadas em papel alumínio. Em seguida, foram congeladas em nitrogênio líquido, no intuito de paralisar todas as reações fisiológicas imediatamente. Em seguida elas foram armazenadas em ultra freezer a -20 °C para posterior determinação de peroxidação de lipídios (PL) (KAR e MISHRA, 1976).

A peroxidação de lipídios foi determinada com adaptação da técnica de Heath; Packer (1968) citados por Rama Devi; Prasad (1998). Para isto, foram utilizadas 25 sementes de cada amostra, homogeneizadas em ,0 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. Em seguida, o conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com rosca e papel filme, e incubados em banho maria a 90 °C por uma hora. Após resfriamento, o homogeneizado foi centrifugado a 10.000 x g por 15 minutos a temperatura ambiente, e, em

seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetido a leituras de absorvância em espectrofotômetro UV-visível a 560 e 600 nm. Os resultados foram expressos em nmol de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) por grama de matéria fresca.

3.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. As pressuposições foram avaliadas pelos testes de Tukey para a aditividade. O comportamento das doses foi avaliado por meio de análise de regressão, considerando-se a significância dos modelos e a não significância da falta de ajuste dos modelos. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SPEED stat, versão 2.4 (CARVALHO et al., 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

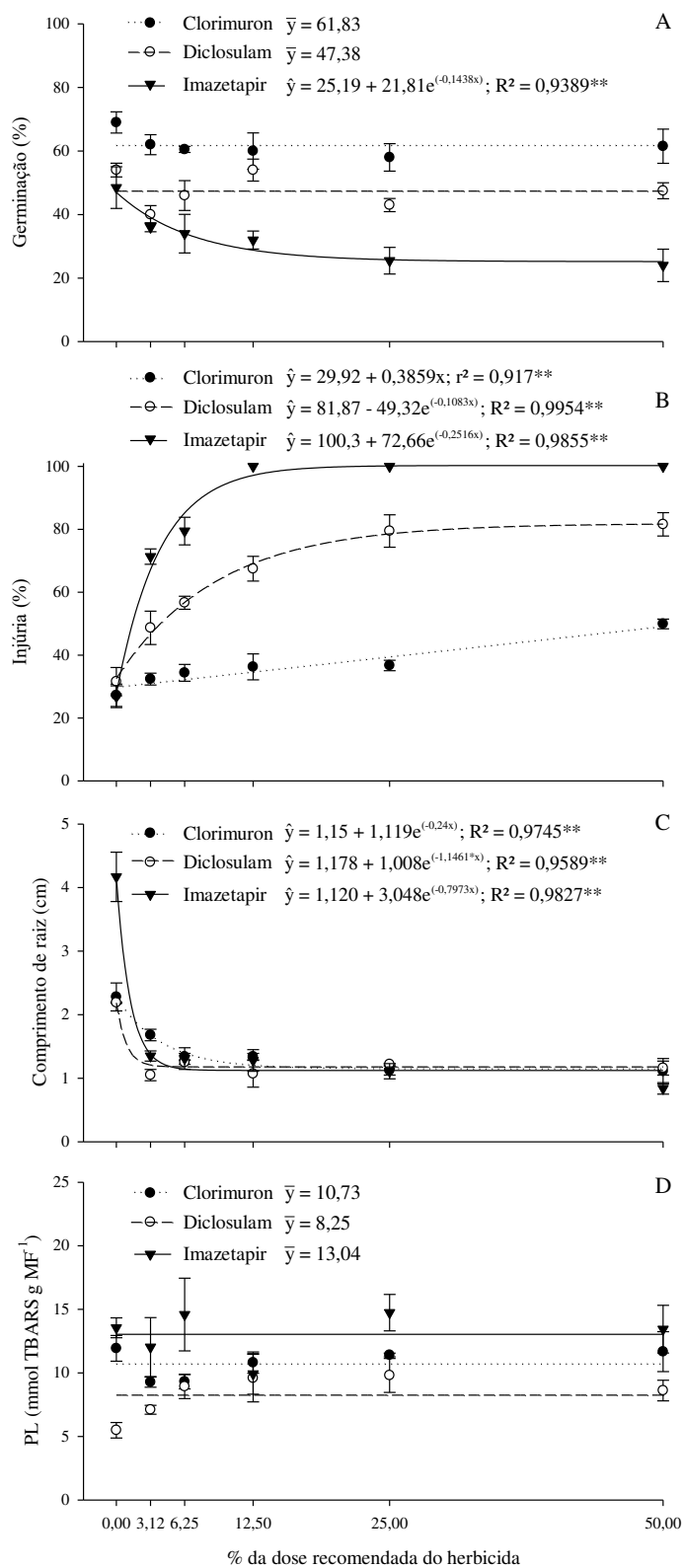
4.1. Cebola

4.1.1. Efeito dos herbicidas inibidores da ALS

Dentre os herbicidas inibidores da ALS, somente o imazetapir afetou a germinação das sementes de cebola (Figura 1A). Foi observado redução da germinação das sementes com o aumento da dose desse herbicida. Os herbicidas inibidores da ALS causaram intoxicação nas plântulas de cebola, especialmente nas maiores doses (Figura 1B). A porcentagem de injúria em plântulas de cebola aumentou linearmente com as doses de clorimuron, todavia, esse herbicida, mesmo na maior dose, casou sintomas mais leves que o diclosulam e o imazetapir. O diclosulam causou 100 % de injúria nas plântulas de cebola a partir da aplicação de 13 % da dose recomendada do herbicida, enquanto o imazetapir causou danos superiores a 60% nessa hortaliça com dose equivalente. Os herbicidas clorimuron, diclosulam e imazetapir reduziram o comprimento da raiz de plântulas de cebola (Figura 1C). A aplicação de apenas 3,16% da dose recomendada de diclosulam e imazetapir inibiu em mais de 50% o crescimento radicular de plântulas de cebola. Não houve efeito dos herbicidas inibidores da ALS, independente da dose, na peroxidação lipídica de sementes de cebola (Figura 1D).

Figura 1 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) de sementes de cebola submetidas a aplicação de doses de herbicidas inibidores da ALS: Clorimuron, Diclosulam e Imazetapir, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada

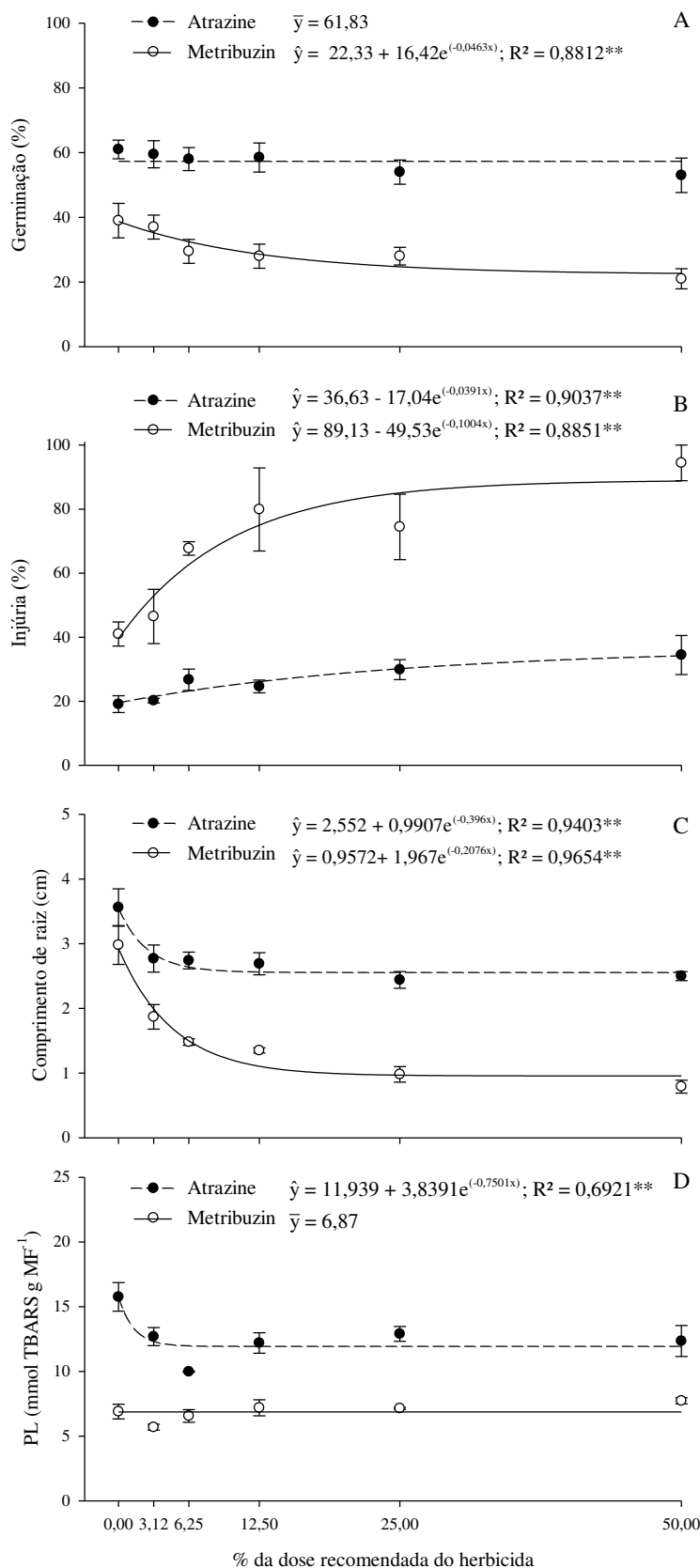
dos herbicidas foi de: 60 g ha⁻¹ de Clorimuron; 40 g ha⁻¹ de Diclosulam e 1 L ha⁻¹ de Imazetapir.



4.1.2. Herbicidas inibidores do FS II

O atrazine não influenciou a germinação das sementes de cebola (Figura 2A). Por outro lado, o aumento de dose de metribuzin reduziu a germinação das sementes dessa hortaliça. A maior dose de metribuzin levou a cerca de 50% de perda de germinação, em relação a testemunha. Ambos os herbicidas inibidores do FSII causaram injúrias nas plântulas de cebola, havendo aumento dos sintomas com incremento das doses dos mesmos (Figura 2B). Os sintomas de intoxicação foram mais brandos com o uso de atrazine, sendo que a maior dose desse herbicida causou cerca de 34% de injúria, dano 1,8 vezes maior que a testemunha. Em contrapartida, a maior dose de metribuzin causou injúria superior a 90% nas plântulas de cebola, dano 2,3 vezes maior que o tratamento controle. Doses de atrazine e metribuzin reduziram o comprimento de raiz das plântulas de cebola (Figura 2C). Esses efeitos foram mais pronunciados com o uso de metribuzin em que doses a partir de 6,25% da dose recomendada levaram a reduções superiores a 50% do crescimento da raiz da cebola. A aplicação de atrazine reduziu as concentrações de peroxidação lipídica em embriões de sementes de cebola (Figura 2D). O metribuzin não influenciou a peroxidação lipídica das sementes (Figura 2D).

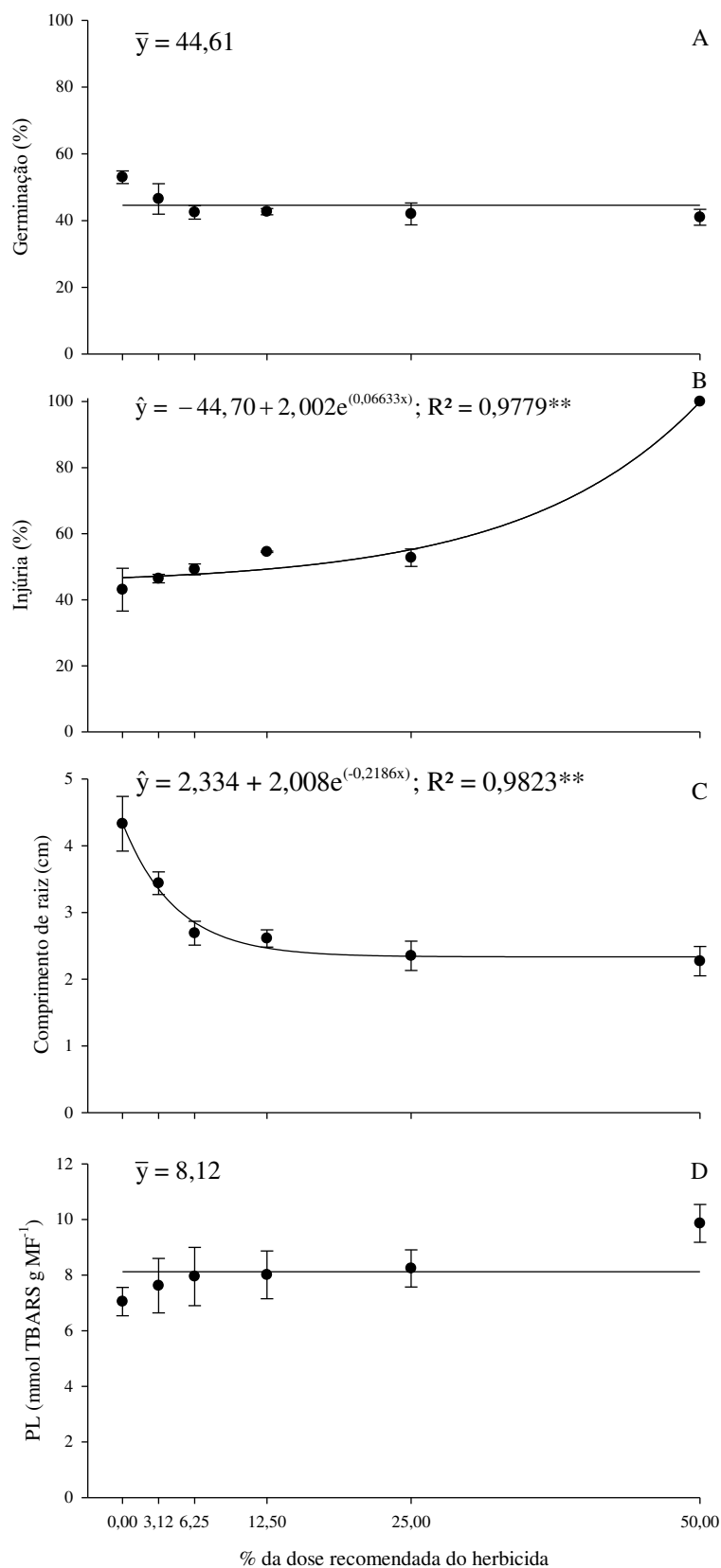
Figura 2 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) sementes de cebola submetidas a aplicação de doses de herbicidas inibidores do FSII: Atrazine e Metribuzin, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada dos herbicidas foi de: 4 L ha⁻¹ de Atrazine e 1 L ha⁻¹ de Metribuzin.



4.1.3. Herbicidas inibidores da síntese de carotenoides

As doses de tembotrione não influenciaram a germinação das sementes de cebola (Figura 3A). Todavia, a porcentagem de injúrias aumentou nas concentrações do herbicida, sendo observado 100% de plântulas anormais com o uso de 50% da dose recomendada desse herbicida (Figura 3B). O tembotrione reduziu o comprimento das raízes das plântulas de cebola, especialmente nas maiores doses (Figura 3C). Por outro lado, a atividade da peroxidação lipídica das sementes de cebola não foi afetada pelo tembotrione (Figura 3D).

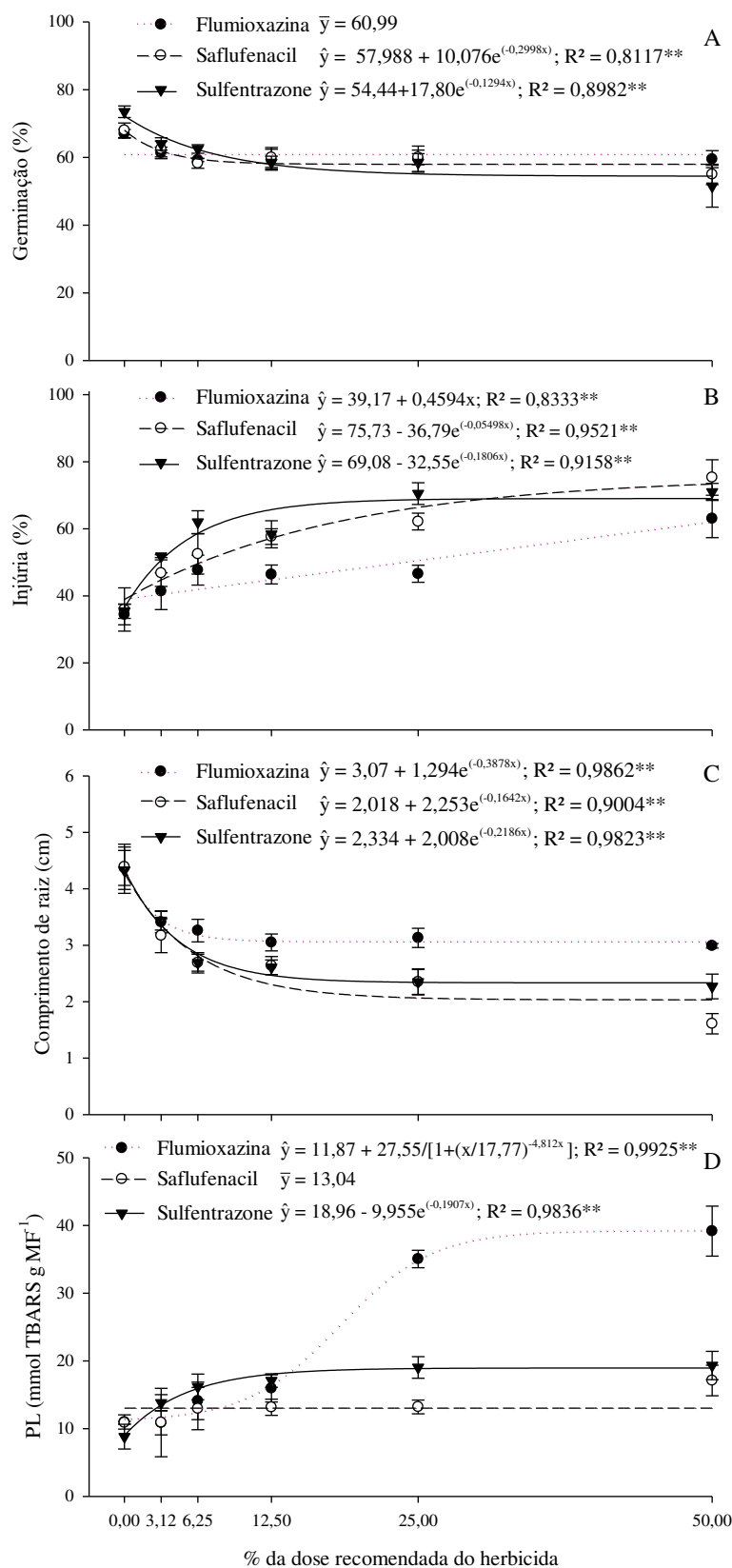
Figura 3 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) sementes de cebola submetidas a aplicação de doses do herbicida inibidor da síntese de carotenóide, Tembotrione, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada do herbicida foi de 300 mL ha⁻¹.



4.1.4. Herbicidas inibidores da PROTOX

Dentre os herbicidas inibidores da PROTOX, somente a flumioxazina não influenciou a germinação de sementes de cebola (Figura 4A). As doses de saflufenacil e sulfentrazone apresentaram comportamento semelhante sobre a germinação das sementes dessa hortaliça com maior inibição dessa variável com aumento das concentrações dos herbicidas. Foi observado redução de cerca de 19% e 30% da germinação de cebola com o uso de 50% da dose comercial dos herbicidas saflufenacil e sulfentrazone, respectivamente. A porcentagem de intoxicação de plântulas de cebola aumentou linearmente com as doses de flumioxazina e exponencialmente com as de saflufenacil e sulfentrazone (Figura 4B). Os herbicidas inibidores da PROTOX reduziram o comprimento de raiz das plântulas de cebola (Figura 4C). Maiores decréscimos do crescimento radicular foram observados em plântulas submetidas as doses de saflufenacil e sulfentrazone. O saflufenacil não influenciou a peroxidação de lipídeos das sementes de cebola (Figura 4D). Por outro lado, incremento das concentrações de flumioxazina e sulfentrazone aumentaram a peroxidação de lipídeos das sementes dessa hortaliça. Os maiores valores de peroxidação de lipídeos foram obtidos com a aplicação de flumioxazina a partir do uso de 25% da dose recomendada desse herbicida.

Figura 4 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) sementes de cebola submetidas a aplicação de doses de herbicidas inibidores da PROTOX: Flumioxazina, Saflufenacil e Sulfentrazone, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada dos herbicidas foi de: 100 g ha⁻¹ de Flumioxazin; 100 g ha⁻¹ de Saflufenacil e 0,6 L ha⁻¹ de Sulfentrazone.

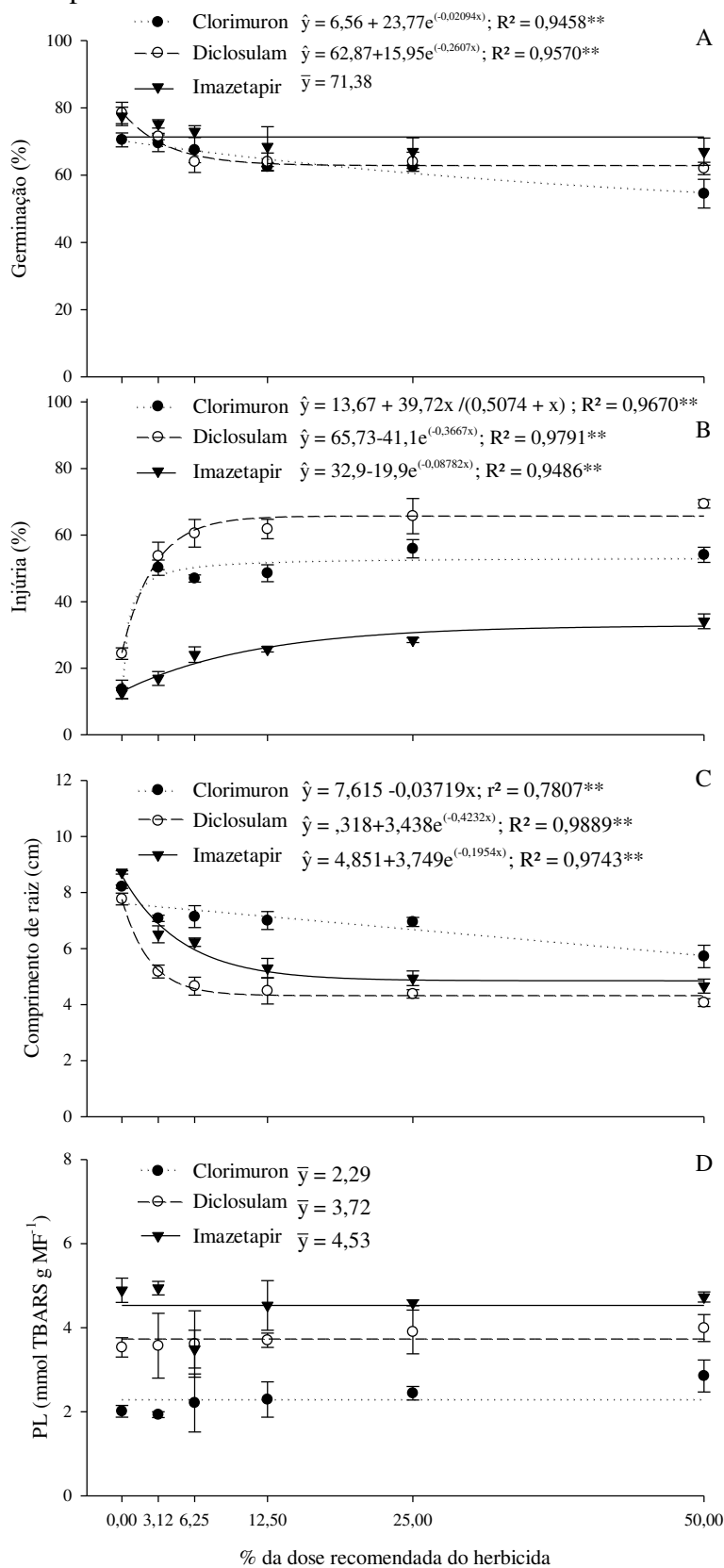


4.2. Cenoura

4.2.1. Efeito dos herbicidas inibidores da ALS

Os herbicidas clorimuron e diclosulam reduziram a germinação das sementes de cenoura (Figura 5A). A aplicação de 6,25% da dose recomendada de diclosulam reduziu a germinação dessa hortaliça em cerca de 18 %, enquanto que dose equivalente de clorimuron diminuiu somente em 4 % essa variável. Não houve efeitos de doses de imazetapir na germinação das sementes de cenoura (Figura 5A). Os três herbicidas inibidores da ALS causaram intoxicação em plântulas de cenoura, sendo observado aumento dos sintomas com as doses dos mesmos (Figura 5B). O imazetapir causou injúrias menores em plântulas de cenoura que o clorimuron e o diclosulam, independente da dose utilizada. A aplicação de 6,25% da dose recomendada de clorimuron e diclosulam aumentou em cerca de 3,5 e 2,5 vezes os sintomas de intoxicação em plântulas de cenoura, comparado a testemunha, respectivamente. Aumento das doses de clorimuron reduziram linearmente o comprimento de raiz das plântulas de cenoura (Figura 5C). Foi observado comportamento semelhante de diclosulam e imazetapir sobre o sistema radicular das plântulas de cenoura. Incremento das concentrações desses herbicidas reduziram o comprimento de raiz dessa hortaliça, sendo os maiores decréscimos observados a partir de 12,5 % da dose recomendada de diclosulam e imazetapir. Os inibidores da ALS não influenciaram a peroxidação de lipídeos da semente de cenoura (Figura 5D).

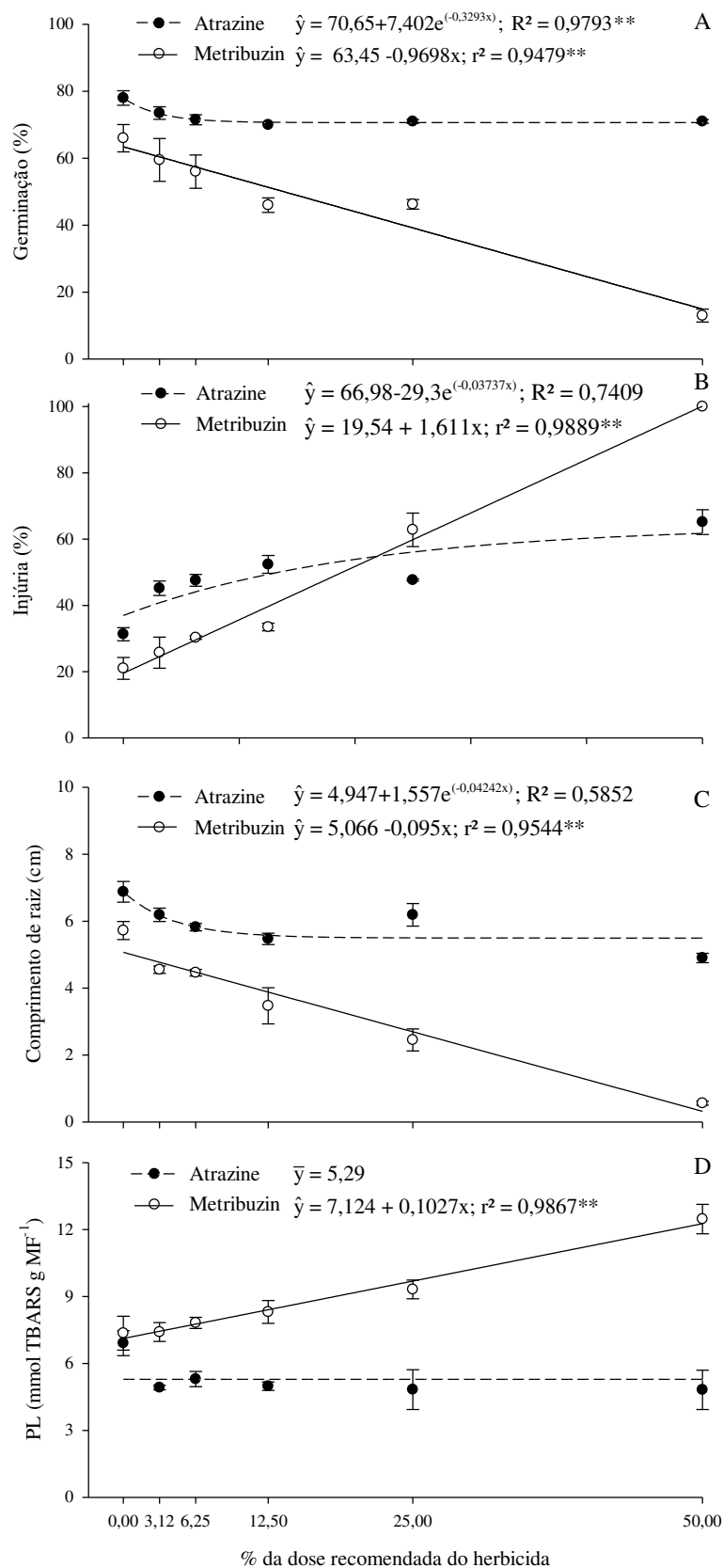
Figura 3 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) de sementes de cenoura submetidas a aplicação de doses de herbicidas inibidores da ALS: Clorimuron, Diclosulam e Imazetapir, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada dos herbicidas foi de: 60 g ha⁻¹ de Clorimuron; 40 g ha⁻¹ de Diclosulam e 1 L ha⁻¹ de Imazetapir.



4.2.2. Efeito dos herbicidas inibidores do FS II

Atrazine e metribuzin reduziram a germinação das sementes de cenoura (Figura 6A). A partir de 6,25% da dose recomendada de atrazine a perda de germinação das sementes de cenoura se manteve praticamente constante, cerca de 9% menor que a testemunha. Por outro lado, aumentos na dose de metribuzin reduziram linearmente a germinação das sementes dessa hortaliça. Foi observado que cada incremento na dose desse herbicida reduziu 0,97 % a germinação das sementes de cenoura, levando a mais de 80% de perda dessa variável, em relação a testemunha, na maior concentração de metribuizín utilizada (Figura 6A). Aumento nas doses de atrazine causaram maiores injúrias nas plântulas de cenoura. Foi observado elevação de sintomas de intoxicação de 31 % para 65 % do tratamento controle para a maior concentração desse herbicida, respectivamente (Figura 6B). Houve aumento linear de injúrias em plântulas de cenoura causadas pelo incremento das doses de metribuzin, sendo que a maior dose estudada levou a 100% de plântulas anormais (Figura 6B). Os herbicidas inibidores do FSII reduziram o crescimento radicular das plântulas de cenoura, sendo os maiores efeitos causados pelo metribuzin (Figura 6C). Aumentos da concentração de metribuzin reduziram linearmente o comprimento da raiz das plântulas dessa hortaliça, levando a inibição de cerca de 90% do crescimento radicular com o uso de 50% da dose recomenda desse herbicida. Não houve efeito da atrazine na peroxidação de lipídeos das sementes de cenoura (Figura 6D). Em contrapartida, aumentos das doses de metribuzin levaram a incrementos lineares dessa variável.

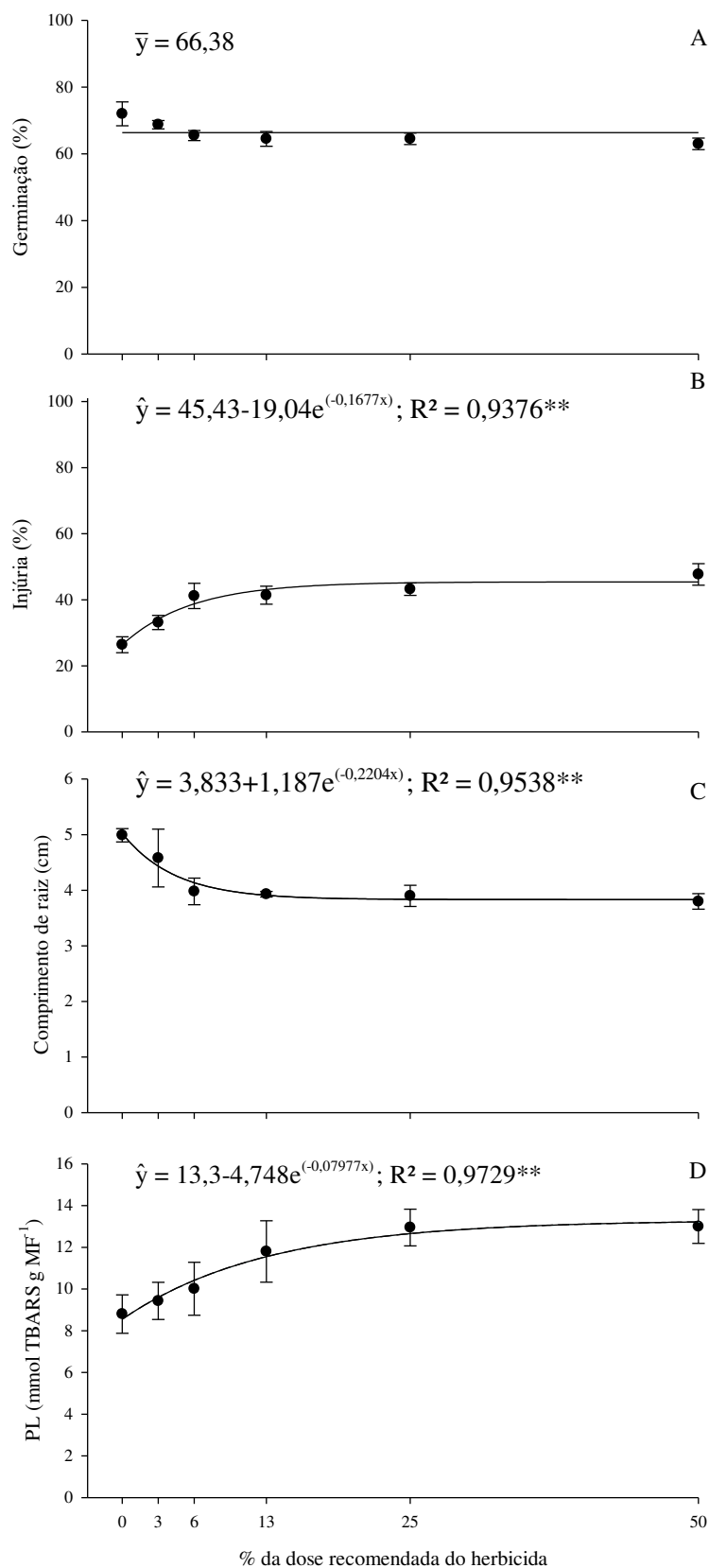
Figura 4 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) sementes de cenoura submetidas a aplicação de doses de herbicidas inibidores do FSII: Atrazine e Metribuzin, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada dos herbicidas foi de: 4 L ha⁻¹ de Atrazine e 1 L ha⁻¹ de Metribuzin.



4.2.3. Efeito dos herbicidas inibidores da síntese de carotenoides

Não houve efeito do tembotrione na germinação das sementes de cenoura (Figura 7A). No entanto, incremento da dose desse herbicida aumentou exponencialmente o número de plântulas com injúrias (Figura 7B). Efeito semelhante foi observado no comprimento de raiz das plântulas de cenoura, em que a maior dose do tembotrione reduziu em cerca de 24% essa variável em relação ao tratamento controle (Figura 7C). O tembotrione influenciou a peroxidação de lipídeos das sementes de cenoura (Figura 8D). Foi observado aumento exponencial da PL das sementes dessa hortaliça com o incremento da dose desse inibidor da síntese de carotenoides.

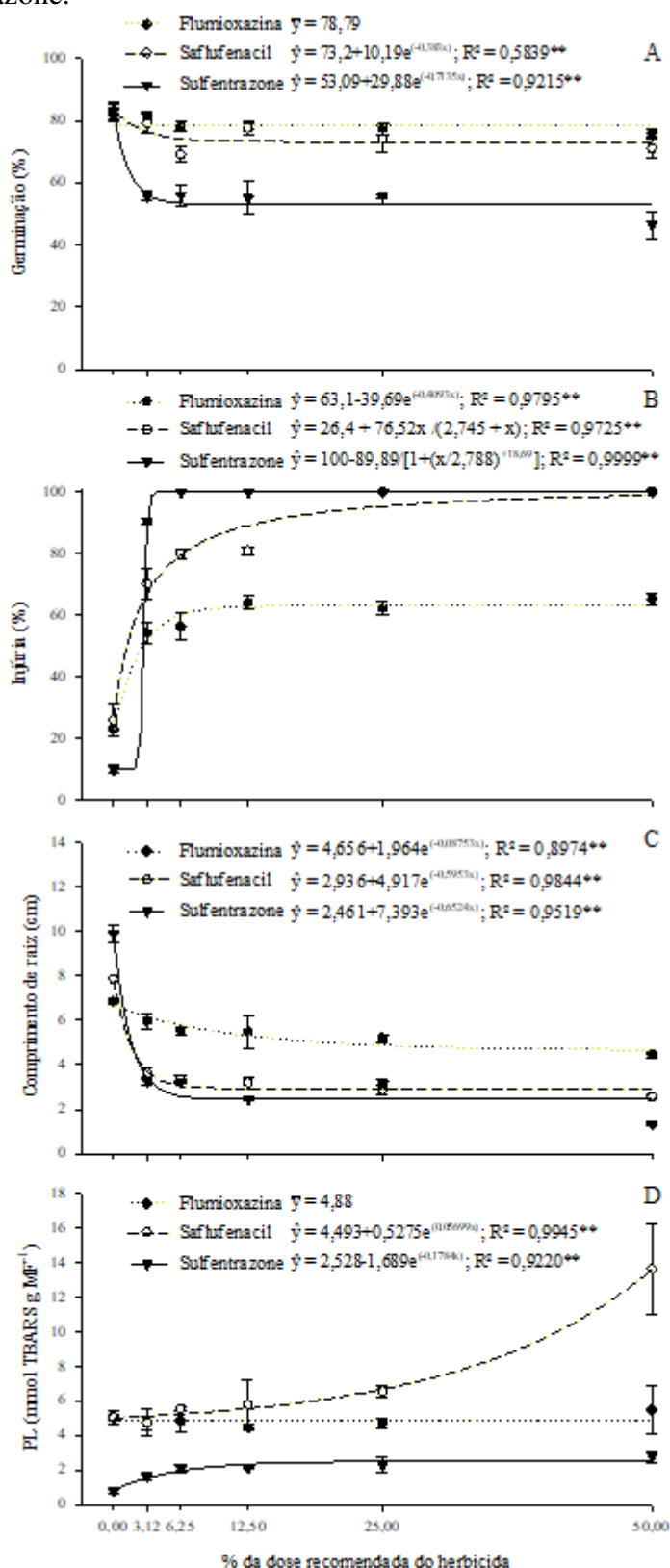
Figura 5 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) sementes de cenoura submetidas a aplicação de doses do herbicida inibidor da síntese de carotenóide, Tembotrione, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada do herbicida foi de 300 mL ha⁻¹.



4.2.4. Efeito dos herbicidas inibidores da PROTOX

Não houve efeito da flumioxazina na germinação das sementes de cenoura (Figura 8A). Por outro lado, saflufenacil e sulfentrazone reduziram a germinação das sementes dessa hortaliça. Foi observado que a partir do uso de 6,25% da dose recomenda desses herbicidas, a porcentagem de germinação das sementes de cenoura se manteve praticamente constante. O sulfentrazone foi o herbicida que causou as maiores perdas de germinação, em relação a testemunha, com inibição superior a 30%. Os inibidores da PROTOX estudados causaram injúrias nas plântulas de cenoura (Figura 8B). Os maiores efeitos foram observados com o uso de sulfentrazone, em que doses acima de 6,25% da recomenda para esse herbicida causaram 100% de plântulas anormais. Por outro lado, em concentração equivalente, a flumioxazina causou cerca de 54% de injúrias nas plântulas de cenoura, aumentando os sintomas para 65% na maior dose desse herbicida. Doses a partir de 6,25 % da recomendada para saflufenacil causaram injúrias superiores a 80% nas plântulas de cenoura. Os herbicidas inibidores da PROTOX apresentaram comportamento semelhante ao reduzirem exponencialmente o comprimento de raiz das plântulas de cenoura (Figura 8C). Todavia, a flumioxazina causou menores perdas de crescimento de raiz que o saflufenacil e o sulfentrazone. A flumioxazina não influenciou na peroxidação de lipídeos das sementes de cenoura (Figura 8D). Em contrapartida, incremento das doses de saflufenacil e sulfentrazone aumentaram a PL das sementes dessa hortaliça. A maior elevação da PL foi observada com o uso de sulfentrazone.

Figura 8 - Porcentagem de germinação (A), injúria (B), comprimento de raiz (C) e peroxidação lipídica (D) sementes de cenoura submetidas a aplicação de doses de herbicidas inibidores da PROTOX: Flumioxazina, Saflufenacil e Sulfentrazone, aos 12 dias após semeadura. A dose recomendada dos herbicidas foi de: 100 g ha⁻¹ de Flumioxazina; 100 g ha⁻¹ de Saflufenacil e 0,6 L ha⁻¹ de Sulfentrazone.



4.2. Comparação entre as duas culturas

Os herbicidas clorimuron, diclosulam, atrazine, tembotrione e flumioxazina não influenciaram a germinação das sementes de cebola. Por outro lado, somente o imazetapir, tembotrione e flumioxazina não afetaram a germinação da cenoura. O sulfentrazone, reduziu a germinação de ambas as culturas, sendo o herbicida mais prejudicial na fase de germinação das hortaliças estudadas.

As porcentagens de injúrias tiveram comportamentos análogos em todos os herbicidas testados, tanto para cebola quanto para a cenoura. Um nível mais elevado de injúrias foi observado nos herbicidas metribuzin, saflufenacil, sulfentrazone e tembotrione. O aumento de injúrias durante a germinação inicial das sementes pode estar relacionado ao crescimento do sistema radicular da planta, ao aumentar a capacidade de exploração das plântulas, consequentemente, aumenta-se também o contato com os resíduos dos herbicidas. Nesses experimentos ficou evidente que mesmo as menores concentrações dos herbicidas são capazes de afetar o desenvolvimento radicular de cenoura e cebola.

As sementes expostas aos herbicidas mostraram comportamentos distintos para cada uma das culturas na avaliação de peroxidação lipídica aos 12 DAS. Os herbicidas metribuzin e sulfentrazone aumentaram a atividade da peroxidação lipídica nas maiores dosagens (50 % da dose recomendada) em relação ao seu controle em ambas as culturas, além de flumioxazina para cultura da cebola e em saflufenacil na cenoura ($P < 0,05$; Figura 8D). Em contraste, a peroxidação lipídica de sementes tratadas com diclosulam, clorimuron, imazetapir e tembotrione não foi significativamente afetado pelo tratamento. O mesmo foi observado para atrazine na cultura da cenoura e saflufenacil na cebola. Apenas atrazine reduziu os teores de peroxidação lipídicas em cebola.

De modo geral, os valores em nmol de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) por grama de matéria fresca da peroxidação de lipídeos foram menores em cebola quando comparado aos resultados de cenoura. Esses resultados podem ter relação com a porcentagem de germinação e desenvolvimento radicular, que foi menor na cultura da cebola, logo, a cultura da cenoura, possivelmente é mais sensível ao estresse gerado pelos herbicidas. Os herbicidas avaliados nesse experimento do mecanismo de ação do ALS (clorimuron, diclosulam e imazetapir) tiveram comportamentos distintos para as duas culturas avaliadas, exceto o imazetapir que não teve diferença significativa.

5. DISCUSSÃO

A aplicação de herbicidas com residual é uma das alternativas mais utilizadas atualmente no manejo de plantas daninhas. No entanto, sua aplicação tem apresentado efeitos prejudiciais ao desenvolvimento de culturas sucessoras. Devido ao residual que pode persistir no solo por períodos prolongados. Mesmo em baixas concentrações podem interferir na germinação de sementes, especialmente em culturas mais sensíveis, como as hortaliças. Dessa forma, torna-se necessário compreender o comportamento desses residuais desde o primeiro contato da semente, uma vez que, são escassos os estudos que abordam efeito residual de herbicidas em culturas agrícolas, sobretudo em olerícolas.

Um dos muitos perigos que a semente em processo de germinação pode ter que superar é a possibilidade que os resíduos de herbicidas no solo possam interferir nos processos fisiológicos normais da germinação (YU, et al., 2015). Podendo assim, comprometer desde o desenvolvimento inicial da planta resultando na redução do crescimento, acarretando assim, em perdas de produtividade (DAN et al., 2010).

Nesse estudo, avaliamos os efeitos deletérios de herbicidas de diferentes mecanismos de ação sobre a germinação de sementes de cebola e cenoura. A germinação avaliada aos 12 dias após a semeadura, foi reduzida conforme se aumentou as doses testadas em relação aos tratamentos controle, acarretando na redução de até 80%. Essa é uma perda considerável, visto que, a germinação é a primeira fase da produção de uma lavoura.

O herbicida afeta o tecido da planta em diferentes maneiras, pode interferir diretamente na divisão celular, afetam a função de várias enzimas que estão envolvidas no crescimento de plantas ou modulando a função de vários tecidos como raiz, folhas e sistema vascular o qual depende o crescimento da planta. Pode bloquear a síntese de vários reguladores de crescimento que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta (Peterson et al., 2001).

Os herbicidas inibidores da ALS avaliados nesse estudo foram clorimuron, diclosulam e imazetapir. Os herbicidas inibidores da ALS atuam por meio da inibição da síntese de aminoácidos alifáticos de cadeia lateral (valina, leucina e isoleucina). Para que a síntese desses aminoácidos ocorra a enzima ALS (acetolactato sintase) precisa estar presente na fase inicial do processo metabólico a fim de catalisar a condensação do piruvato (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2017). Na presença do herbicida ocorre inibição não competitiva pelo herbicida com o substrato, de maneira que não acontece a condensação do piruvato, paralisando a síntese dos três aminoácidos; o que reduz a divisão celular e paralisa o crescimento da planta (VIDAL; MEROTTO JUNIOR, 2001).

Isto porque logo após serem absorvidos os herbicidas são rapidamente translocados para as áreas de crescimento ativo da planta, os meristemas e o ápice, e inibem o seu crescimento devido a incapacidade de metabolizar os aminoácidos (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011). Possivelmente por não produzirem diretamente radicais livres durante o mecanismo de ação e exercer efeito nas plântulas após dar início a metabolização dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina, não influenciaram os parâmetros de germinação e peroxidação lipídica.

O que possivelmente explica o efeito desses herbicidas na germinação já que, mesmo tendo sofrido o estresse do envelhecimento, as sementes continham reservas suficientes dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina para completarem o processo. Porém, após a germinação as plântulas ficaram mais vulneráveis aos efeitos residuais dos herbicidas e as variáveis de intoxicação das plântulas e o comprimento da raiz foram mais afetadas, possivelmente por serem mais dependentes da divisão celular.

Avaliando o cultivo de girassol com o residual de diclosulam ($0,035\text{kg ha}^{-1}$) demonstrou que pode afetar a cultura. O diclosulam tem meia-vida no solo variando de 16 a 87 dias, de acordo com as condições edafoclimáticas. Resultado semelhante foi constatado em cultivo de algodão em sucessão a aplicação de diclosulam em pré-emergência na soja, a mesma concentração foi capaz de causar de 5 a 110% de injúrias na cultura. Considerando que a meia vida é o tempo necessário para que o herbicida atinja metade da concentração inicial no solo, o diclosulam, mesmo em baixas concentrações residuais, causou efeitos negativos a culturas sensíveis (DAN, et al., 2012).

Em estudos avaliando a produtividade do milho cultivado em sucessão a soja, Dan e colaboradores (2010) constataram redução da matéria seca causada por chlorimuron-ethyl e imazethapyr. O mesmo foi observado quando se avaliou o efeito do imazethapyr ($0,100\text{ kg ha}^{-1}$) em plantas de girassol, que provocou a maior redução de massa da matéria seca nas plantas, com bioatividade até 170 dias. Gonçalves et al. (2001), observaram que o imazapyr, diminuiu a produtividade do feijoeiro em até 98 dias após sua aplicação, até a menor dose avaliada de 375 g ha^{-1} . O imazethapyr um herbicida pertencente ao grupo das imidazolinonas, pode ser ativo no sistema de transporte de elétrons do cloroplasto em locais redutores durante a germinação. WEI et al., 2010 avaliando a sensibilidade de beterraba ao herbicida clorimuron, relataram redução significativa da atividade da enzima glutathione S-transferase quando comparado com beterrabas tolerantes. Essa enzima presente no citosol das células ativa o tripeptídeo glutathione, responsáveis pela conjugação de substratos tóxicos como herbicidas, inativando o produto químico.

Atrazine e metribuzin, são herbicidas pertencentes ao grupo dos inibidores do fotossistema II, eles atuam nas plantas inibindo a fotossíntese. Isso acontece por se ligarem ao sítio de ligação da QB (plastoquinona), na proteína D1 do fotossistema II, que fica nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos. Isso faz com que o transporte de elétrons de QA para QB seja interrompido e impede a fixação do CO₂ e a produção de ATP e NADPH₂, que são essenciais para as plantas (POWLES; YU, 2010).

Esse processo leva a peroxidação de lipídeos que acontece por ser gerado um estado energético elevado na clorofila formando oxigênio singlet (¹O₂), a espécie reativa de oxigênio mais reagente que as plantas produzem, devido a interrupção do transporte de elétrons, que sobrecarrega a atenuação de energia feito pelos carotenóides. O excesso de oxigênio singlet inicia o processo de peroxidação das membranas lipídicas presentes nas células, podendo progredir para morte dos tecidos e em seguida morte da planta (MITTLER, 2017).

Embora as plantas atingidas por esse herbicida morram por não fazerem a fotossíntese, antes de emergirem as plântulas podem ser afetadas com a interrupção do fluxo de elétrons, formando radicais livres. Esses efeitos podem ser intensificados com o desenvolvimento radicular (FRANÇA et al., 2016).

Os resultados encontrados nesse estudo vão de encontro com os resultados de Walperes e colaboradores (2015) ao avaliarem o efeito residual de doses crescentes de metribuzin no solo, constataram que seus resíduos podem inviabilizar a sucessão de culturas como alho, cebola e feijão. Em cebola, o herbicida em solo, causou intoxicação de até 84,17% aos sete dias após e a emergência e causou a morte das plantas em concentrações acima de 192 ppb. Atuam inibindo o fluxo de elétrons do fotossistema II, causando a peroxidação de lipídeos, destruindo membranas e a clorofila (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011)

Dentro do grupo dos inibidores da biossíntese de carotenoides, o herbicida tembotrione pertence ao subgrupo dos inibidores da HPPD (4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase), que é a enzima responsável pela conversão do 4-hidroxifenil-piruvato em homogentisato (SENSEMAN, 2007). A inibição da enzima interrompe a biossíntese de pigmentos de carotenoides nas plantas suscetíveis, o que leva ao branqueamento das folhas atingidas.

O tembotrione inibe a síntese de carotenóides ao inibir a ação da enzima HPPD que é responsável por converter 4-hidroxifenilpiruvato em homogentisato. Essa é a reação chave para a síntese das plastoquinonas que ao serem inibidas dá início ao sintoma clássico de ação desse herbicida, o branqueamento das folhas (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016). Devido à redução de carotenoides, reduz-se também a proteção da clorofila contra a luz, resultando na morte do tecido vegetal por estresse oxidativo (CHAHAL; JHALA, 2018). Mesmo albinas o

crescimento das plantas continua por um tempo até que as reservas enérgicas cessem e sem a produção de tecidos fotossintéticos verdes começam a surgir sintomas de necrose que levam o tecido atingido à morte (SENSEMAN, 2007).

Os efeitos sobre as avaliações de injúria das plantas e comprimento das raízes eram esperados, devido ao mecanismo de ação do herbicida. Assim como o resultado sobre a germinação, uma vez que ele impede a produção de carotenoides, mas não impede a planta de crescer mesmo após a absorção do produto (OLIVEIRA JUNIOR, 2011), provavelmente, por isso as plantas germinaram, mas sofreram os efeitos posteriormente. Na peroxidação de lipídeos a ausência de diferença pode estar associada ao período de realização da análise, uma vez que o herbicida tem ação lenta, o processo de peroxidação dos lipídeos pode não ter sido intensificado, mesmo para as doses mais elevadas.

De acordo com a bula brasileira de tembotrione, o intervalo de semeadura superior a 30 dias após a aplicação é recomendado antes do plantio de culturas como girassol, algodão e feijão, mas não há restrições de semeadura semelhantes listadas para hortaliças (MAPA, 2019). De acordo com Carneiro et al., 2019 os resíduos de tembotrione podem afetar negativamente o rendimento da beterraba sacarina quando aplicado ao milho 8 meses antes do plantio beterraba sacarina.

Flumioxazina e saflufenacil são herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase, quando aplicados em pré-emergência, o tecido da planta susceptível é danificado por contato com o herbicida, no momento em que a plântula emerge. O acúmulo do protoporfirinogênio IX no cloroplasto e seu posterior deslocamento para o citoplasma das células, ocasiona necroses nos tecidos foliares provocadas pela peroxidação dos lipídios das membranas celulares (WELLER, 2003).

O mecanismo de ação desses herbicidas está associado a inibição da enzima protoporfirrogênio oxidase que atua oxidando protoporfirrogênio em protoporfirina IX, que é precursora da clorofila. Ao parar essa reação ocorre acúmulo de protoporfirrogênio que difunde para o citoplasma e então é oxidado em protoporfirina IX, porém não se liga ao Mg-quelatase, processo natural, mas sim a molécula de oxigênio que na presença de luz produzem espécies reativas de oxigênio que iniciam o processo de peroxidação de lipídeos das membranas da célula (BANERJEE et al., 2018). Logo os resultados superiores de injúrias das plantas e a redução no comprimento das raízes podem ser atribuídos ao mecanismo de ação dos herbicidas.

O sulfentrazone, pertence ao grupo das aril-triazolinonas. Por ser um herbicida com o modo de ação que inibi a protox, acarreta a desestruturação do tecido vegetal a partir do momento que a raiz é emitida, logo no início da germinação, o que pode levar a sua morte

CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016). Embora o mecanismo de ação seja o mesmo em todos os herbicidas que fazem parte desse grupo, as sementes de cenoura envelhecidas se mostraram mais sensíveis a aplicação sulfentrazone, reduziu a germinação e o tamanho das raízes e aumentou as injúrias e o teor de peroxidação lipídica. A sensibilidade da cenoura ao efeito residual do sulfentrazone já foi relatado na literatura, dose de 224 g de ingrediente ativo por hectare causou injúria nas plântulas nove meses após a aplicação (RACHUY; FENNIMORE, 2021).

Embora esses efeitos não ficaram evidentes para o teste de germinação, mesmo para sementes que passaram pelo estresse do envelhecimento acelerado, ao analisar os parâmetros de intoxicação, comprimento de raiz e no teor de PL eles ficam mais claros. Muito provavelmente pelo início da atividade fotossintética com a formação da plântula que leva a atividade da enzima Prottox e pela presença de luz, essencial para que ocorra ação dos herbicidas (CARVALHO, 2013).

Os resultados encontrados nesse trabalho indicam que as sementes de cebola e cenoura absorveram os herbicidas entre a germinação e a emergência das plântulas, quando estas ainda apresentam tecidos desprovidos de cera e cutícula pouco desenvolvida nos pêlos radiculares. Sendo provável que as plântulas tenham sido afetadas devido a toxicidade das moléculas químicas de cada herbicida, ocasionando a menor germinação principalmente nas maiores dosagens. Portanto, as respostas das sementes podem ser consideradas específicas da espécie a cada herbicida.

Dessa forma, buscamos compreender as respostas fisiológicas das sementes analisamos uma possível interação entre as espécies reativas de oxigênio (EROs). O aumento da peroxidação lipídica nas sementes identificado pela maioria herbicidas nas duas culturas, pode ser devido ao acúmulo de H_2O_2 que pode ocasionar reações oxidativas. O que explica a menor porcentagem de germinação das sementes em contato com os residuais. Uma vez que, considerada uma das causas de deterioração das sementes ocasionando o declínio de viabilidade e de vigor. Gomes et al. 2019 ao avaliarem a germinação de sementes de sorgo expostas ao glifosato, sendo reduzida devido a menor produção e energia (ATP), necessária para o processo germinativo, e não em relação ao acúmulo de EROs.

6. CONCLUSÕES

Com base nestes estudos conclui-se que a cebola e cenoura são sensíveis a todas as concentrações dos herbicidas nas condições que foram avaliados, alertando ao risco de

carryover nos casos de rotação de cultura. Conclui-se também que os herbicidas causaram sintomas visuais de intoxicação, gerando redução do crescimento das raízes para as doses estudadas no neste trabalho.

Resultados encontrados neste trabalho são fundamentais para evitar o risco de *carryover* na rotação de culturas. Entretanto é fundamental o desenvolvimento de pesquisas de campo e acompanhamento de todo ciclo das culturas na presença de resíduos de tais herbicidas no solo, com o objetivo de inferir sobre a produtividade da das olerícolas na presença destes resíduos.

REFERÊNCIAS

BANERJEE, P. ECKERT, A.O.; SCHREY, A.K.; PREISSNER, R. Protox-II: a webserver for the prediction of toxicity of chemicals. **Nucleic Acids Research**, v. 46, p. 257-263, 2018.

BETTIOL, C.; De VETTORI, S., MINERVINI, G.; ZUCCON, E.; MARCHETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; ARGESSE, E. Assessment of phenolic herbicide toxicity and mode of action by different assays. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 398-408, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CARNEIRO, G.D. O. P.; BONTEMPO, A. F.; GUIMARÃES, F.A. R.; REIS, M. R.; SILVA, D. V. S.; SOUZA, M. F.; LINS, H. A. 2019. *Carryover* of tembotrione and atrazine in sugar beet. **Cien. Inv. Agr.**v. 46, n. 3, p. 319-324.

CARVALHO, L.B. **Herbicidas**. 1ª ed. Lages: Edição do autor, 2013. 72 p.

CARVALHO, A.M.X.; MENDES, F.Q.; MENDES, F.Q.; TAVARES, L.F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20(3): e327420312, 2020.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000, p. 588.

CHAHAL, P.S.; JHALA, A.J. Interaction of PS II and HPPD Inhibiting Herbicides for Control of Palmer Amaranth Resistant to Both Herbicide Sites of Action. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 6, p. 2496-2506, 2018.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; NICOLAI, M. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4ª ed., Paulínia: HRAC-BR, 2016, 262p.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JR, R. S.; ASSIS, R. L.; SILVA, A. G.; LIMA, M. D. B.; FELDKIRCHER, C. Residual activity of

herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. **Planta Daninha**, v. 28, n. spe, p. 1087-1095, 2010.

DAN, H.A. et al. Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Ciência Rural**, v.42, n.11, nov, 2012.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Frutas e hortaliças, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FELIX, J. Response of alfalfa, green onion, dry bulb onion, sugar beet, head lettuce, and carrot to imazosulfuron soil residues 2 years after application. **Weed Technology**, v. 26, p.769-776. 2012.

FRANÇA NETO, J. de B; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82p.

FURLAN, F. F.; FREIRIA, G. F.; BERTONCELLI, D. J.; OMURA, M. S.; PELLIZZARO, V.; LUCIA SADAYO TAKAHASHI, S. L. A. Residual effect of pre-emergent herbicides on the initial development and biochemical composition of snap bean seedlings. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.3, p.173-182, 2017.

GOMES, D, P. **Interação de fatores bióticos e abióticos na ocorrência de “damping-off” em milho e feijoeiro**. 2009. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP, 2009.

GOMES, M. P.; BICALHO, M. E.; CRUZ, S. V. F; CRUZ, F. V. S.; SOUZA, A. M.; SILVA, B. M. R.; GONÇALVES, C. A.; SANTOS, T. R. S.; GARCIA, S. Q. Does integrative effects of glyphosate, gibberellin and hydrogen peroxide ameliorate the deleterious effects of the herbicide on sorghum seed through its germination?. **Chemosphere**, v. 233, p. 905-912, 2019.

GOMES, M. P.; CRUZ, S. V. F; BICALHO, M. E.; BORGES, V. F.; FONSECA, B. M.; JUNEAU, P.; GARCIA, S. Q Effects of glyphosate acid and the glyphosate-commercial formulation (roundup) on *Dimorphandra wilsonii* seed germination: interference of seed respiratory metabolism. **Environ. Pollut**, v. 220; p. 452–459, 2016.

GOMES, M. P.; RICHARDI, S. V.; BICALHO, M. E.; ROCHA, C. D.; NAVARRO-SILVA, A. M.; SOFFIATTI, P.; GARCIA, S. Q.; SANT'ANNA-SANTOS, F. B. Effects of Ciprofloxacin and Roundup on seed germination and root development of maize. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2671–2678, 2019.

GONÇALVES, A. H.; SILVA, J. B.; LUNKES, J. A. Controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) e efeito residual sobre a cultura do feijão do herbicida imazapyr. **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 435-443, 2001.

GUIMARÃES, F. A. R. **Efeito residual de herbicidas no cultivo de hortaliças**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). 2017. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

HOSEINY-RAD, M.; JAGANNATH, S. Effect of herbicide Imazethapyr (pursuit™) on chickpea seed germination. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 44, p. 224–230, 2011.

HURDLE N. L., TIMOTHY L.; PILON, G. C.; MONFORT, W. S.; PROSTKO, E. P. Peanut Seed Germination and Radicle Development Response to Direct Exposure of Flumioxazin Across Multiple Temperatures. **Peanut Science**, v. 47, n. 2, p. 89-93, 2020.

JIANHUA, Z.; McDONALD, M.B. The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. **Seed Science and Technology**, v.25, n.1, p.123-131, 1996.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.

LAVORENTI, A.; ROCHA, A. A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V. L.; PINTO, O. B.. Comportamento do diclosulam em amostras de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Classificação de Solo*, v. 27, n. 2, p. 183-190, 2003.

LESZCZYNSKI, R. E BRACCINI, L. A; ALBRECHT, P. L.; SCAPIM, A. C.; PICCININ, G. G.; DAN, M.G. L. Influence of bio-regulators on the seed germination and seedling growth of onion cultivars. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 2, p. 187-192, 2012.

LIMA, E.S.; ABDALLA, D.S.P. Peroxidação lipídica: mecanismos e avaliação em amostras biológicas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 37, p. 293-303, 2001.

MAPA. Ministério da Agricultura e do abastecimento. Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/ap_produto_form_lista_cons

MANCUSO, M.A.C. NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“*Carryover*”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151-164, 2011.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-21.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 1, p. 11-19, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: OMNIPAX, 2011. 348p.

PETERSON, D. E.; THOMPSON, C.R; REGEHR, D. L.; AL- KHATIB, K. **Herbicide mode of action**. Topeka: Kansas State University, 2001. 24 p.

POWLES, S.B.; YU, Q. Evolution in action: plant resistant to herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, n. 1, p. 317-347, 2010.

RACHUY, J.S.; FENNIMORE, S.A. Vegetable response to sulfentrazone soil residues at four planting intervals. **Weed Techonology**, v. 35, p. 216-222, 2021.

RAMA DEVI, S.; PRASAD, M.N.V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidantS. **Plant Science**, v. 138, p. 157-165, 1998.

REIS, M. R.; AQUINO, L. A.; MELO, C. A. D.; SILVA, D. V.; DIAS, R. C. Carryover of tembotrione and atrazine affects yield and quality of potato tubers. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 40, p. 1-6, 2018.

RIDDLE, R. N.; O'SULLIVAN, J.; SWANTON, C. J.; RENE C. VAN ACKER, R. C. V. Crop Response to Carryover of Mesotrione Residues in the Field. **Weed Technology**, v. 27, n. 1, p. 92-100. 2013.

ROBINSON, D. E; MCNAUGHTON, K. E. Saflufenacil Carryover Injury Varies among Rotational Crops. **Weed Technology**, v. 26, p. 177–182, 2012.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6ª ed. Londrina: Edição dos Autores, 2011. 697 p.

RODRIGUES, L. B. OLIVEIRA, R.; ABE, R. F.; BRITO, B. L.; MOURA, S. D.; VALADARES, C. M.; GRISOLIA, K. C; OLIVEIRA, P. D.; OLIVEIRA, R. A.G. Ecotoxicological assessment of glyphosate-based herbicides: Effects on different organisms. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.36, p.1755–1763, 2017.

ROJAS, R., MORILLO, J., USERO, J., VANDERLINDEN, E., BAKOURI, H. E. Adsorption study of low-cost and locally available organic substances and a soil to remove pesticides from aqueous solutions. **Journal of Hydrology**, v. 520, n. 1, p. 461-472. 2015.

SAHOO, S. K.; MANDAL, K.; SINGH, G; KUMAR, R.; CHAHIL, G. S.; BATTU, R. S.; SINGH, B. Residual behavior of quizalofop ethyl on onion (*Allium cepa* L.). **Environ Monit Assess**, v. 185, p. 1711–1718, 2013.

SENSEMAN, S.A. **Herbicide handbook**. 9ª ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2007. 458p.

SILVA, A.A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR., R.S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. Ed. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa: Ed. UFV, 2007, p.189-248.

SONG K., CHOI G. **Phytochrome Regulation of Seed Germination**. In: HILTBRUNNER A. (eds) *Phytochromes. Methods in Molecular Biology, Humana*, New York. v. 2026, p. 149-156, 2019.

STEVENS, M. M.; REINKE, F. R.; COOMBES, N.; HELLIWELL, S.; MO, J. Influence of imidacloprid seed treatments on rice germination and early seedling growth. **Pest management Science**, v. 64, p. 215-222, 2008.

VIDAL, R.A.; MEROTTO JUNIOR, A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: EMBRAPA. 2001. 152p.

YADAV, H.L.; GUPTA, A.K.; KUMAR, S.; GUPTA, S. Comparative Efficacy of Herbicides Applied in Wheat and their Residual Effect on the Succeeding Crops. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 1866-1874, 2019.

YU, L.; EERD, L. L. V.; O'HALLORAN, I.; PETER H. SIKKEMA, P. H.; ROBINSON, D. E. Response of four fall-seeded cover crops to residues of selected herbicides. **Crop Protection**, v. 75, p. 11-17, 2015.

WAUCHOPE, R. D. et al. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 123, p.1–155, 1992.