**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Residual de herbicidas aplicados no manejo outonal de *Conyza* spp. sobre
a cultura da soja e do milho**

Fernando Poltronieri

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2021**

Fernando Poltronieri
Engenheiro Agrônomo

Residual de herbicidas aplicados no manejo outonal de *Conyza* spp. sobre a cultura da soja e do milho

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RICARDO VICTORIA FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Poltronieri, Fernando

Residual de herbicidas aplicados no manejo outonal de *Conyza* spp. sobre a cultura da soja e do milho / Fernando Poltronieri. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2021.

66 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Herbicidas com atividade residual 2. Buva 3. *Glycine max* L 4. *Zea mays* L I.
Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Arcélio Poltronieri e Terezinha Beatriz Poltronieri, dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais Arcélio Poltronieri e Terezinha Beatriz Poltronieri que sempre me apoiaram durante o período de graduação e me incentivaram na busca pelo crescimento pessoal e intelectual.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP) e aos professores, técnicos e funcionários que me auxiliaram durante a pós-graduação, na execução deste trabalho.

Aos membros do grupo de pesquisa e extensão PRO-HORT pelo apoio nas atividades correspondentes a este trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Victoria Filho, pelas orientações e ensinamentos passados.

Ao Dr. Sidnei Douglas Cavalieri e a Dra. Fernanda Satie Ikeda pelas orientações e pelos incentivos que me deram com relação a minha carreira acadêmica.

Aos pós-graduandos Luís Rodolfo Rodrigues e Beatriz Ribeiro da Cunha pela ajuda na condução dos trabalhos.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NO MANEJO OUTONAL DE <i>Conyza</i> spp. SOBRE A CULTURA DA SOJA.....	9
RESUMO	9
ABSTRACT	9
1.1 INTRODUÇÃO	10
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	12
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
1.4 CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	24
2. RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NO MANEJO OUTONAL DE <i>Conyza</i> spp. SOBRE A CULTURA DO MILHO	33
RESUMO	33
ABSTRACT	33
2.1 INTRODUÇÃO	34
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	36
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
2.4 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	53

RESUMO

Residual de herbicidas aplicados no manejo outonal de *Conyza* spp. sobre a cultura da soja e do milho

Dentre as principais plantas daninhas problemáticas nos sistemas de produção agrícola no Brasil e no mundo, encontram-se as espécies de buva (*Conyza* spp.), em decorrência de diversos relatos de biótipos com resistência a vários herbicidas de diferentes mecanismos de ação, além de tolerarem condições climáticas adversas e se adaptarem a sistemas de cultivo mínimo. Nas Regiões Centro-Sul e Sul do país, plantas de buva conseguem se desenvolver no período de entressafra (Julho a Outubro) e, no momento de dessecação de pré-semeadura da cultura subsequente, se tornam um problema para o agricultor, devido à eficácia de alguns herbicidas ser dependente da densidade e do estágio de desenvolvimento das plantas. Uma das ferramentas para manejar plantas de buva no período de entressafra é a utilização de herbicidas com atividade residual no solo no manejo outonal, contudo, algumas moléculas não são seletivas para a cultura do milho e da soja. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de herbicidas residuais aplicados no manejo outonal de buva sobre a cultura da soja e do milho em solos com texturas contrastantes. Foram conduzidos quatro ensaios, dois em solo com textura argilosa e dois em solo com textura franco-arenosa, com o delineamento em blocos casualizados e quatro repetições. Para a cultura da soja, os tratamentos constituíram-se da aplicação do herbicida amicarbazone (420 g ha^{-1}), isoxaflutole (50 g ha^{-1}), metsulfurom-methyl ($3,6 \text{ g ha}^{-1}$), metribuzin (480 g ha^{-1}) e uma testemunha (sem aplicação de herbicida) e, para a cultura do milho, os tratamentos constituíram-se da aplicação do herbicida metsulfurom-methyl ($3,6 \text{ g ha}^{-1}$), metribuzin (480 g ha^{-1}), diclosulam (33 g ha^{-1}), chlorimuron-ethyl (20 g ha^{-1}), imazethapyr (100 g ha^{-1}), flumioxazin (125 g ha^{-1}) e uma testemunha (sem aplicação de herbicida). A semeadura do cultivar de soja Monsoy 5917 IPRO e do híbrido de milho cv. Syngenta Feroz Viptera[®] 3 ocorreu aos 90 dias após a aplicação dos herbicidas residuais. Os herbicidas causaram sintomas leves de intoxicação na cultura da soja e do milho nos estádios fenológicos iniciais, com total recuperação das plantas ao longo do desenvolvimento vegetativo, sem efeito sobre o rendimento de grãos e demais variáveis. Para ambas as culturas, não houve interação entre a textura do solo e o efeito de resíduos dos herbicidas testados, embora a cultura do milho tenha apresentado menor estande e maior intoxicação quando cultivada em solo com textura argilosa e menor altura de inserção da espiga, número de espiga por planta, grãos por fileira e maior massa de 100 grãos quando cultivada em solo com textura franco-arenosa, independentemente do herbicida utilizado. Conclui-se que uma precipitação acumulada de 300 mm e um intervalo de 90 dias da aplicação de amicarbazone, isoxaflutole, metsulfurom-methyl e metribuzin sobre a cultura da soja e do metsulfurom-methyl, metribuzin, diclosulam, chlorimuron-ethyl, imazethapyr, flumioxazin sobre a cultura do milho causa apenas sintomas leves de intoxicação, sem interferir no rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Glycine max* L., *Zea mays* L., Buva, Resíduo

ABSTRACT

Residue of herbicides applied in autumn management of *Conyza* spp. on the cultivation of soybeans and corn

Among the main problematic weeds in agricultural production systems in Brazil and in the world, there are the species of horseweed (*Conyza* spp.), as a result of several reports of biotypes with resistance to several herbicides of different mechanisms of action, in addition to tolerate adverse climatic conditions and adapt to minimal cropping systems. In the Center-South and South regions of the country, horseweed plants are able to develop in the off-season period (July to October) and, at the time of pre-sowing desiccation of the subsequent crop, they become a problem for the farmer, due to their efficiency. of some herbicides to be dependent on plant density and developmental stage. One of the tools to manage horseweed plants in the off-season is the use of herbicides with residual activity in the soil in autumn management, however, some molecules are not selective for the cultivation of corn and soybean. Thus, the objective was to evaluate the effect of residual herbicides applied in autumn management of horseweed on soybean and corn crops in soils with contrasting textures. Four trials were carried out, two in clayey soil and two in sandy loam soil, with a randomized block design and four replications. For soybean crop, the treatments consisted of the application of the herbicide amicarbazone (420 g ha^{-1}), isoxaflutole (50 g ha^{-1}), metsulfuron-methyl (3.6 g ha^{-1}), metribuzin (480 g ha^{-1}) and a control (without herbicide application) and, for the corn crop, the treatments consisted of the application of the herbicide metsulfuron-methyl (3.6 g ha^{-1}), metribuzin (480 g ha^{-1}), diclosulam (33 g ha^{-1}), chlorimuron-ethyl (20 g ha^{-1}), imazethapyr (100 g ha^{-1}), flumioxazin (125 g ha^{-1}) and a control (without herbicide application). The sowing of the soybean cultivar Monsoy 5917 IPRO and the corn hybrid cv. Syngenta Feroz Viptera[®] 3 occurred 90 days after the application of residual herbicides. The herbicides caused mild symptoms of intoxication in soybean and corn crops in the early phenological stages, with full recovery of plants throughout vegetative development, with no effect on grain yield and other variables. For both crops, there was no interaction between soil texture and the effect of residues of the tested herbicides, although the corn crop has shown lower stand and greater intoxication when grown in soil with clayey texture and lower ear insertion height, number of ear per plant, grains per row and greater mass of 100 grains when grown in soil with loam texture. sandy, regardless of the herbicide used. It is concluded that an accumulated precipitation of 300 mm and an interval of 90 days of application of amicarbazone, isoxaflutole, metsulfuron-methyl and metribuzin on soybean crops and metsulfuron-methyl, metribuzin, diclosulam, chlorimuron-ethyl, imazethapyr, flumioxazin on the corn crop, it only causes mild symptoms of intoxication, without interfering with the grain yield. fleabane

Palavras-chave: *Glycine max* L., *Zea mays* L., Fleabane, Residue

1. RESIDUAL DE HERBICIDAS APLICADOS NO MANEJO OUTONAL DE *Conyza* spp. SOBRE A CULTURA DA SOJA

RESUMO

Espécies de buva estão entre as principais plantas daninhas nos sistemas de produção agrícola no Brasil e no mundo, em decorrência da seleção de muitos de seus biótipos resistentes a vários herbicidas de diferentes mecanismos de ação, tolerarem condições climáticas adversas e se adaptarem a sistemas de cultivo mínimo. Nas Regiões Centro Sul e Sul do país, plantas de buva se desenvolvem no período de entressafra (Julho a Outubro) e, no momento da dessecação de pré-semeadura da cultura subsequente, se tornam um problema para o agricultor, devido à eficácia de alguns herbicidas ser dependente da densidade e do estágio de desenvolvimento das plantas. Uma das ferramentas para manejar plantas de buva no período de entressafra é a utilização de herbicidas com atividade residual no solo, contudo, algumas moléculas não são seletivas à cultura da soja. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de herbicidas residuais aplicados no manejo outonal de buva sobre a cultura da soja em solos com texturas contrastantes. Dois ensaios foram conduzidos, um em solo com textura argilosa e outro em solo com textura franco-arenosa, com o delineamento em blocos casualizados e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se da aplicação dos herbicidas amicarbazone (420 g ha^{-1}), isoxaflutole (50 g ha^{-1}), metsulfurom-methyl ($3,6 \text{ g ha}^{-1}$), metribuzin (480 g ha^{-1}) e uma testemunha (sem aplicação de herbicida). A semeadura do cultivar de soja Monsoy 5917 IPRO ocorreu aos 90 dias após a aplicação dos herbicidas residuais. Os herbicidas causaram sintomas muito leves de intoxicação na cultura da soja nos estádios fenológicos iniciais, com total recuperação das plantas ao longo do desenvolvimento vegetativo, sem efeito sobre o rendimento de grãos e demais variáveis. Não houve diferença entre as texturas do solo. Conclui-se que com uma precipitação acumulada de 300 mm e um intervalo de 90 dias entre a aplicação de amicarbazone, isoxaflutole, metsulfurom-methyl e metribuzin e a semeadura da cultura da soja causa apenas sintomas muito leves de intoxicação, sem interferir no rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Glycine max* L., Buva, Resíduo

ABSTRACT

Horseweed species are among the main weeds in agricultural production systems in Brazil and in the world, as a result of the selection of many of their biotypes resistant to various herbicides with different mechanisms of action, tolerate adverse climatic conditions and adapt to cropping systems Minimum. In the Center-South and South regions of the country, horseweed plants develop in the off-season period (July to October) and, at the time of pre-sowing desiccation of the subsequent crop, they become a problem for the farmer, due to the effectiveness of some herbicides are dependent on plant density and developmental stage. One of the tools to manage horseweed plants in the off-season is the use of herbicides with residual activity in the soil, however, some molecules are not selective for the soybean crop. Thus, the objective was to evaluate the effect of residual herbicides applied in autumn management of horseweed on soybean crop in soils with contrasting textures. Two trials were carried out, one in clayey textured soil and the other in sandy loam soil, with a randomized block design and four replications. The treatments consisted of the application of the herbicides amicarbazone (420 g ha^{-1}), isoxaflutole (50 g ha^{-1}), metsulfuron-methyl (3.6 g ha^{-1}) and metribuzin (480 g ha^{-1}) and a control (without herbicide application). The soybean cultivar Monsoy 5917 IPRO was sown 90 days after the application of the residual herbicides. The herbicides caused very light symptoms of intoxication in the soybean crop in the initial phenological stages, with full recovery of the plants throughout the vegetative development, without effect on grain yield and other variables. There was no difference between the soil textures. It is concluded that with an accumulated precipitation of 300 mm and an interval of 90 days between the application of amicarbazone, isoxaflutole, metsulfuron-methyl and metribuzin and the sowing of the soybean crop causes only very light symptoms of intoxication, without interfering with grain yield.

¹), metribuzin (480 g ha⁻¹) and one witness (no herbicide application). Sowing of the soybean cultivar Monsoy 5917 IPRO occurred 90 days after the application of residual herbicides. The herbicides caused very mild symptoms of intoxication in soybean crop in the early phenological stages, with full plant recovery throughout vegetative development, with no effect on grain yield and other variables. There was no difference between soil textures. It is concluded that with an accumulated precipitation of 300 mm and an interval of 90 days between the application of amicarbazone, isoxaflutole, metsulfuron-methyl and metribuzin and the sowing of the soybean crop causes only very mild symptoms of intoxication, without interfering with the grain yield.

Keywords: *Glycine max* L., Fleabane, Residue

1.1 INTRODUÇÃO

Dentre as diversas espécies de plantas daninhas que ocorrem em sistemas agrícolas, as espécies do gênero *Conyza* têm grande importância, como *Conyza bonariensis*, *Conyza canadensis* e *Conyza sumatrensis* (THEBUAD & ABBOTT, 1995). Isso se deve às características de agressividade dessas espécies, como produção de grande quantidade de sementes que são dispersadas pelo vento (BHOWMIK & BEKECH, 1993), adaptação a sistemas conservacionistas (ANDERSEN, 1993; VIDAL et al., 2007), tolerância ao déficit hídrico (SANTOS et al., 2013) e, principalmente, por apresentarem biótipos com diversos casos de resistência no mundo (HEAP, 2019abc).

No Brasil, há registros de resistência de biótipos de *C. bonariensis* e *C. canadensis* ao herbicida glyphosate (HEAP, 2019ab) e *C. sumatrensis* é a espécie com o maior número de casos de resistência, com biótipos que apresentam casos de resistência isolada aos herbicidas glyphosate, chlorimuron-ethyl, paraquat, saflufenacil e biótipos que apresentam resistência múltipla aos herbicidas chlorimuron-ethyl e glyphosate; chlorimuron-ethyl, glyphosate e ao paraquat e, em 2017, houve relato de biótipo com resistência aos herbicidas 2,4-D, diuron, glyphosate, paraquat e saflufenacil (HEAP, 2019c).

Outro problema relacionado às espécies de buva, além da resistência, é que a eficácia de controle de herbicidas com ação em pós-emergência é dependente do estágio de desenvolvimento das plantas, que varia conforme o herbicida, podendo ser aplicado com tamanho máximo de 16 a 20 cm quando se trata do glyphosate (BLAINSKI et al., 2009). Com isso, as espécies de buva, por germinarem em temperaturas mais amenas e tolerarem baixa disponibilidade de água, germinam e se desenvolvem no período de entressafra (Julho a Outubro) em algumas regiões e, no momento de dessecação de pré-semeadura da cultura de

verão, as plantas encontram-se num tamanho maior que o ideal para um controle satisfatório (CONSTANTIN et al., 2013).

Uma das alternativas para o manejo de espécies de buva na entressafra, visando diminuir a densidade populacional, bem como suprimir o crescimento das plantas que germinam nesse período, é a utilização de herbicidas com atividade residual no solo, como é o caso do herbicida amicarbazone, isoxaflutole, metribuzin e metsulfurom-methyl, conforme demonstra estudo realizado por Oliveira Neto (2011) e Oliveira Neto et al. (2019).

O amicarbazone, pertencente ao grupo químico das triazolinonas, e o metribuzin, do grupo químico das triazinonas, têm o mesmo mecanismo de ação (HRAC, 2020). Ambos inibem o transporte de elétrons no fotossistema II (BALKE, 1985); tendo, como consequência, a paralisação da fixação de CO₂ e a produção de ATP e NADPH₂; contudo, a morte das plantas ocorre, principalmente, pelo processo de peroxidação de lipídeos, ocasionada pelo excesso de clorofila *triplet* (DAN HESS, 1994).

Pertencente ao grupo químico dos isoxazoles, o isoxaflutole tem como mecanismo de ação a inibição da enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase, conhecida como HPPD, responsável pela conversão do 4-hidroxifenil-piruvato a homogentisato na rota de síntese de carotenos (HRAC, 2020). É absorvido, predominantemente, pelas raízes, colo e meristema apical das plântulas e transloca-se pelo xilema (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

O metsulfurom-methyl, herbicida do grupo químico das sulfoniluréias, atua nas plantas inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), que é chave na rota de síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (BEYER et al., 1988; BLAIR, 1988; SCHLOSS, 1990; DURNER et al., 1991; STIDHAM, 1991). Nas plantas, é absorvido pelas folhas e raízes, transloca-se tanto pelo xilema quanto pelo floema e acumula-se nos meristemas da planta (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018; UC IPM, 2020c)

Contudo, esses herbicidas apresentam um potencial de causar fitotoxicidade a determinadas culturas implantadas pós-período de entressafra, como é o caso da cultura da soja, conforme observaram Alonso et al., (2011, 2013) em estudo com intervalos entre a aplicação desses herbicidas e a semeadura da cultura da soja em casa de vegetação. No entanto, devido à dinâmica de um herbicida ser influenciada pelas condições edafoclimáticas, há uma lacuna de informações quanto à dinâmica desses herbicidas residuais utilizados no manejo de buva no período de entressafra em condições de campo sobre a cultura da soja.

Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar o residual de herbicidas aplicados no manejo outonal de buva sobre a cultura da soja em solos com texturas contrastantes.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois ensaios na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP, situada no município de Piracicaba-SP, Brasil, no período de 20 agosto de 2019 a 10 março de 2020. O clima da região é classificado, segundo Koppen-Geiger, como Cwa, sendo, relativamente seco no inverno, com chuvas no verão. As precipitações pluviais e as temperaturas ocorridas durante todo o estudo são descritas na Figura 1.1.

Figura 1.1: Temperatura média, máxima e mínima (°C) e pluviosidade ocorrida no período entre 20/08/2019 a 10/03/2020. Fonte: Base de dados da Estação Meteorológica Automática - LEB - ESALQ - USP - Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Os ensaios foram implantados em áreas com solos com texturas contrastantes. Um ensaio instalado em um solo com textura franco-arenosa (Área I: areia: 79,9 %; silte: 2,7 %; argila: 17,4 %), com as seguintes características químicas na profundidade de 0 a 0,2 m: pH em CaCl_2 : 4,9; Ca: $1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al: $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $2,2 \text{ cmol}_c$

dm^{-3} ; K (resina): $0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P (resina): 7 mg dm^{-3} ; CTC: $4,71 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; MO: 1,9 %, e outro ensaio foi instalado em um solo com textura argilosa (Área II: areia: 42,6 %; silte: 4,7 %; argila: 52,7 %), com as seguintes características químicas na profundidade de 0 a 0,2 m: pH em CaCl_2 : 5,7; Ca: $2,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al: $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K (resina): $0,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P (resina): 25 mg dm^{-3} ; CTC: $4,53 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; MO: 1,6 %. As amostragens para caracterização física e química das áreas ocorreram em 15 de agosto de 2019.

Ambas as áreas se encontravam em pousio com resíduos vegetais de milho (*Zea mays* L.) cultivado na safra anterior (primavera-verão) e de plantas daninhas. Antes da aplicação dos herbicidas residuais, foi realizada a estimativa da quantidade de palhada presente em cada ensaio, utilizando-se uma armação em madeira de $0,25 \text{ m}^2$, a qual foi lançada aleatoriamente 6 vezes em cada área e toda palhada presente na área de $0,25 \text{ m}^2$ foi coletada e armazenada em sacos de papel. Em seguida, foram colocadas em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir massa constante. Área I possuía $1.669,57 \text{ Kg ha}^{-1}$ de matéria seca de palhada e a Área II $2.522,87 \text{ Kg ha}^{-1}$.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos herbicidas estudados foram: amicarbazone (420 g ha^{-1}), isoxaflutole (50 g ha^{-1}), metsulfurom-methyl ($3,6 \text{ g ha}^{-1}$), metribuzin (480 g ha^{-1}) e uma testemunha (sem aplicação de herbicida). Esses tratamentos (herbicidas residuais), bem como suas respectivas doses, foram selecionados a partir de estudos realizados por Oliveira Neto (2011, 2019) e Alonso (2011, 2013).

As parcelas foram constituídas por sete linhas de semeadura de soja no espaçamento de 0,45 m entre linhas e 6 m de comprimento. A área útil da parcela constituiu-se de $5,4 \text{ m}^2$, sendo consideradas apenas as três linhas centrais da cultura, desconsiderando-se 1 m de cada extremidade da parcela.

Quatro dias antes da instalação dos ensaios, as duas áreas foram roçadas a 0,1 m do nível do solo e, em seguida, delimitou-se as unidades experimentais e, em 20 de agosto de 2019, foi realizada a aplicação dos tratamentos com auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO_2 , munido de barra contendo seis pontas de pulverização do tipo leque XR 110.02, com espaçamento entre bicos de 0,5 m, posicionadas a 0,5 m da superfície do solo e o volume de aplicação foi de 200 L ha^{-1} . Entre os dias 20 de agosto (aplicação dos tratamentos) a 18 de novembro de 2019 (semeadura da cultura da soja), foram realizadas aplicações do herbicida glyphosate ($1.080 \text{ g e.a. ha}^{-1}$) nas parcelas para o controle dos rebrotes

e dos novos fluxos de emergência de plantas daninhas.

A semeadura do cultivar de soja Monsoy 5917 IPRO ocorreu de forma mecanizada no dia 18 de novembro de 2019, no espaçamento de 0,45 m entre linhas com ajuste para se obter uma população final de 250 mil plantas ha^{-1} . A adubação de semeadura foi realizada com 250 kg ha^{-1} do formulado 04-20-20 no sulco de semeadura. As sementes foram tratadas com o fungicida piraclostrobina + tiofanato metílico (0,025 + 0,225 g kg^{-1} de semente) e com o inseticida fipronil (0,250 g kg^{-1} de semente). Além do tratamento das sementes, realizou-se a inoculação com bactérias fixadores de nitrogênio (*Bradyrhizobium* 7×10^9 UFC mL^{-1}) em formulação líquida, na dose de 7 mL kg^{-1} de sementes. Durante todo o ciclo da cultura, o controle das plantas daninhas foi realizado com capina manual, e os demais tratos culturais foram realizados conforme recomendações técnicas da Embrapa (2013).

Aos quatorze dias após a semeadura (DAS) foi realizada a avaliação de estande, por meio da contagem do número de plantas emergidas em duas linhas de dois metros cada, totalizando quatro metros, na área útil da parcela. As avaliações de fitointoxicação foram realizadas aos 14, 21, 28 e 35 dias após a semeadura (DAS), por meio de notas visuais de 0 a 100 %, onde 0 (zero) representou a ausência de injúrias e 100 (cem) a morte das plantas, de acordo com a escala adaptada da SBPCPD (Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBPCPD, 1995), apresentada na Tabela 1.1.

Por ocasião da colheita, ocorrida em 10 de março de 2020 (114 DAS), foi realizado novamente o levantamento do estande em duas linhas de dois metros cada, assim como a mensuração da altura de dez plantas escolhidas aleatoriamente na área útil da parcela (nível do solo até a inserção da última vagem) e, posteriormente, foram coletadas dez plantas por parcela de forma aleatória para posterior avaliação do número de nós e de vagens por planta e número de grãos por vagem. Para a estimativa da massa de 100 grãos e da produtividade, foram colhidas todas as plantas presentes em 8 m de linha de semeadura na área útil da parcela, tanto a produtividade quanto a massa de 100 grãos foram corrigidas para a umidade de 13 %, conforme Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Os resultados de cada ensaio foram submetidos à análise de variância, pelo teste F ($p < 0,05$). Então, para as variáveis que a diferença dos quadrados médios dos resíduos dos ensaios foi menor que sete, foi realizada a análise conjunta dos ensaios, conforme Pimentel-Gomes & Garcia (2002). Quando os fatores foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (1949) ($p < 0,05$). As médias contidas nas tabelas referem-se aos dados originais, sendo os dados transformados, quando necessário, somente utilizados para realização da

análise de variância e comparação de médias. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SAS/STAT v. 9.1 ($p < 0,05$).

Tabela 1.1: Escala de notas utilizada para avaliação visual de fitotoxicidade de herbicidas com atividade residual aplicados no manejo outonal de *Conyza* spp. (buva) sobre a cultura da soja. Adaptada de SBCPD (1995).

Conceito	Nota (%)	Observação
Muito leve	0 - 5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6 - 10	Sintomas nítidos de baixa intensidade.
Moderada	11 - 20	Sintomas nítidos mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21 - 35	Sintomas pronunciados, porém, totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36 - 45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46 - 60	Danos irreversíveis com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61 - 100	Danos irreversíveis muito severos com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para morte de toda a planta.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aos 14 dias após a semeadura (DAS) não foi constatado efeito do residual dos herbicidas sobre o estande da cultura da soja, tendo, como média geral, 12,69 plantas m^{-1} , o que totalizou 282 mil plantas ha^{-1} (Tabela 1.2). Essa população de plantas está dentro da faixa recomendada para o cultivar Monsoy 5917 IPRO (MONSOY, 2020) para a região de Piracicaba-SP. Com relação às avaliações de fitotoxicidade, constatou-se, nas duas primeiras avaliações, realizadas aos 14 e 21 DAS, leves injúrias nas plantas sob exposição aos herbicidas, sendo, ainda mais leves, com total recuperação das plantas, nas duas avaliações seguintes, realizadas aos 28 e 35 DAS (Tabela 1.2).

Como sintomas, em espécies sensíveis, os herbicidas inibidores do fotossistema II causam redução da taxa da fixação de CO_2 poucas horas após o tratamento com o herbicida e declina totalmente em 1 ou 2 dias, sem ocorrer recuperação; já, em espécies tolerantes, a taxa de fixação não decai tão severamente a ponto de causar sintomas graves (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Para os herbicidas que são aplicados na modalidade de pré-emergência, como o amicarbazone e o metribuzin, o efeito herbicida só se inicia após a emergência, ou seja, com o início da fotossíntese (UC IPM, 2020a). No caso de espécies de folhas largas, os sintomas se expressam com clorose internerval e necrose nas margens das folhas, podendo

evoluir para o centro do limbo foliar (UC IPM, 2020a). Nesse caso, tanto para o amicarbazone quanto para o metribuzin, os sintomas apresentados pelas plantas de soja que receberam esses tratamentos foram muito leves, em que algumas poucas plantas apresentaram folhas com leve clorose, sem, no entanto, resultar em necrose.

Em estudo realizado por Alonso et al. (2011) em casa de vegetação, utilizando-se um solo de textura argilosa (72% de argila), pH H₂O 5,6 e 0,84% de matéria orgânica e outro de textura média (32% de argila), pH H₂O 5,8 e 1,34% de matéria orgânica como substrato, com uma lâmina de água acumulada de 262,5 mm, observaram, após 90 dias de aplicação de amicarbazone (420 g ha⁻¹), clorose internerval, seguida por necrose intensa nas folhas unifolioladas de plântulas de soja do cultivar BMX Titan RR. Nesse mesmo estudo, o metribuzin (480 g ha⁻¹) reduziu a massa de matéria seca de plantas da cultura quando semeada 90 dias após aplicação no solo argiloso.

Como resultado da paralização da síntese de carotenos ocasionada pelo isoxaflutole, os sintomas, em espécies sensíveis, caracterizam-se pelo branqueamento das folhas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Já em espécies tolerantes, cerca de três a quatro semanas após a exposição ao herbicida são suficientes para a recuperação total dos sintomas (UC IPM, 2020b). Fato observado no presente estudo, pois apenas algumas poucas plantas apresentaram sintomas de branqueamento; porém, considerados muito leves; sendo que, poucas semanas após a emergência, as plantas se recuperaram completamente.

Como consequência de sua ação herbicida, o metsulfurom-methyl, inicialmente, causa a paralisação do crescimento, desenvolvimento de clorose internerval e arroxamento foliar e, por fim, evolui para necrose dos meristemas, levando a planta à morte (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018; UC IPM, 2020c). No presente estudo, os sintomas iniciais da cultura da soja caracterizaram-se por leve clorose e redução do crescimento de algumas poucas plantas, porém considerados muito leves, com total recuperação dessas ao decorrer do seu crescimento. Guerra et al. (2020) também observaram, 30 dias após a emergência, sintomas leves de intoxicação da cultura da soja quando semeada 17 a 75 dias após aplicação de metsulfurom-methyl (1,98 e 3,96 g ha⁻¹) na região de Campo Mourão-PR e Curitiba-SC, respectivamente.

Tabela 1.2: Estande (plantas m⁻¹) aos 14 dias após a semeadura (DAS) e intoxicação de plantas de soja cv. Monsoy 5917 IPRO aos 14, 21, 28 e 35 DAS, semeada aos 90 dias (entressafra) da aplicação de herbicidas com atividade residual no manejo outonal de *Conyza* spp. (buva). Piracicaba-SP, 2020.

Herbicida	Estande - 14 DAS (plantas m ⁻¹)	Intoxicação			
		14 DAS	21 DAS	28 DAS	35 DAS
Isoxaflutole	12,13	5,92	5,08	4,24	4,19
Amicarbazone	12,69	5,22	5,49	3,73	3,94
Metribuzin	13,50	4,94	3,86	4,15	3,55
Metsulfurom-methyl	12,94	5,40	4,39	4,85	5,15
Testemunha	12,19	-	-	-	-
F Bloco	0,17 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,06 ^{ns}
F Herbicida	0,57 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,38 ^{ns}
F Textura	0,08 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,55 ^{ns}
F Herbicida x Textura	0,20 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,43 ^{ns}
CV (%)	7,75	24,33	26,98	21,92	21,65

DAS: dias após semeadura; CV: coeficiente de variação; ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Os dados de estande e de intoxicação (14, 21, 28 e 35 DAS) foram transformados pela função $\sqrt{x}$.

Os baixos níveis de fitointoxicação observados nos estádios iniciais de crescimento da cultura causados pelos herbicidas residuais se expressaram na ausência de interferência no estande avaliado na colheita (plantas m⁻¹), bem como na altura das plantas (m), nós planta⁻¹, vagens planta⁻¹, grãos vagem⁻¹, massa de 100 grãos (g) e no rendimento da cultura (Kg ha⁻¹) (Tabela 1.3).

Os resultados obtidos neste estudo mostram que um período de 90 dias de entressafra, intervalo de tempo entre a aplicação dos herbicidas residuais e a semeadura da cultura da soja, deve ter sido suficiente para a degradação dos herbicidas de modo que a concentração desses no solo não chegasse a causar fitointoxicação severa, bem como a reduzir o rendimento da cultura. Contudo, vários fatores podem interferir na degradação dos herbicidas no solo, os quais podem levar a resultados diferentes dos obtidos neste estudo, como os obtidos por Alonso (2011, 2013). Entre eles, pode-se citar as características físico-químicas do solo e do herbicida, a atividade microbiana, a presença de palhada na superfície do solo, a temperatura

e a precipitação pluvial (RICE et al., 2004; STENRØD et al., 2006; BENDING & RODRIGUEZ-CRUZ, 2007).

Tabela 1.3: Estande (plantas m⁻¹), altura de plantas (m) e número de nós por planta na colheita, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos (g) e rendimento de soja cv. Monsoy 5917 IPRO (kg ha⁻¹), semeada aos 90 dias (entressafra) da aplicação de herbicidas com atividade residual no manejo outonal de *Conyza* spp. (buva). Piracicaba-SP, 2020.

Herbicida	Estande colheita (plantas m ⁻¹)	Altura (m)	Nós planta ⁻¹	Vagens planta ⁻¹	Grãos vagem ⁻¹	Massa de 100 grãos (g)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Isoxaflutole	11,89	0,84	18,12	46,40	2,68	18,80	4.669,84
Amicarbazone	11,09	0,82	17,82	43,11	2,78	18,04	4.570,81
Metribuzin	11,39	0,85	17,99	45,80	2,96	18,84	4.992,64
Metsulfurom-methyl	11,38	0,83	17,61	43,05	2,81	18,15	4.554,88
Testemunha	11,81	0,86	18,19	44,72	2,79	18,71	5.158,01
F Bloco	0,24 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,10 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,72 ^{ns}
F Herbicida	0,84 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,77 ^{ns}
F Textura	0,06 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,69 ^{ns}
F Herbicida x Textura	0,69 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,93 ^{ns}
CV (%)	6,81	6,47	6,43	16,18	8,90	7,43	12,27

DAS: dias após aplicação; CV: coeficiente de variação; ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). ^{**} significativo pelo teste F ($p < 0,01$). Os dados de estande realizado na colheita e do rendimento foram transformados pela função $\sqrt{x}$.

O herbicida quando interceptado pela palhada fica vulnerável ao processo de fotodecomposição, volatilização ou ser sorvido pelo material vegetal (APPLEBY & DAWSON, 1994; LOCKE & BRYSON, 1997). No caso do amicarbazone, a quantidade de palhada presente nas áreas experimentais (Área I = 1.669,57 Kg ha⁻¹ e Área II = 2.522,87 Kg ha⁻¹), talvez, não foi suficiente para retê-lo. Isso se deve, provavelmente, à sua alta solubilidade em água (4.600 ppm) (DEUBER, 1992) e sua lipofilicidade mediana (Kow = 1,23 a pH 7,0) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Com isso, o amicarbazone tem facilidade em transpor camadas significativas de palha, fato observado neste estudo e nos realizados por Cavenaghi et al. (2007) e Negrisoli et al. (2007). Perdas por volatilização (pressão de vapor de

3×10^{-6} Pa (25 °C) e fotodegradação (no solo, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) = 54 dias) não são tão significativas para o amicarbazone, além do pH não influenciar no seu estado de ionização (pKa zero) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

Outra característica do herbicida amicarbazone, decorrente de sua alta solubilidade, é a sua capacidade de lixiviar no perfil do solo. Apenas 106 mm de precipitação acumulada foi suficiente para lixiviá-lo ($1.050 \text{ g i. a. ha}^{-1}$) a uma profundidade de 0,35 m em um latossolo vermelho-amarelo com 27 g Kg^{-1} de argila e 13 g dm^{-3} de matéria orgânica (BACHEGA et al., 2009). Já 60 mm de lâmina de água foram suficientes para causar elevada lixiviação do amicarbazone (1.050 g ha^{-1}) em um neossolo quartzarênico (60 g Kg^{-1} de argila e $25,6 \text{ g dm}^{-3}$ de matéria orgânica). Porém, em um latossolo vermelho (438 g Kg^{-1} de argila e $74,1 \text{ g dm}^{-3}$ de matéria orgânica), 100 mm de lâmina de água lixiviou o amicarbazone (1.400 g ha^{-1}) apenas 0,15 m de profundidade (POSSAMAI et al., 2013), atribuído ao alto teor de matéria orgânica presente nesse solo pelos autores.

Acredita-se que o acúmulo de 300 mm de precipitação nos 90 dias entre a aplicação do amicarbazone e a semeadura da cultura da soja, somado ao baixo teor de matéria orgânica em ambos os solos fizeram com que o herbicida fosse lixiviado no perfil do solo, além de ficar exposto à degradação microbiana (aeróbica $T_{1/2} = 50$ dias) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Tais efeitos teriam ocorrido ao ponto que sua concentração no solo diminuísse o suficiente para causar apenas sintomas leves de intoxicação na cultura, sem afetar o seu rendimento. Campos (2018) também não observou intoxicação e redução do rendimento do cultivar de soja Nidera 5909 com concentrações de amicarbazone menores que $463,9 \text{ } \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ na camada de 0 – 0,25 m, embora uma concentração de $559,9 \text{ } \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ do herbicida tenha reduzido em 51% o rendimento da cultura, enquanto uma concentração de $1.510,7 \text{ } \mu\text{g Kg solo}^{-1}$ reduziu em 83%.

Quanto ao metsulfurom-methyl, embora a hidrólise seja um processo significativo (BERGER & WOLFE, 1996), a degradação microbiana é o principal processo de sua dissipação no solo (SARMAH & SABADIE, 2002; ZANARDINI et al., 2002; BOSCHIN et al., 2003; YU et al., 2005; BERGER & WOLFE, 1996; HE et al., 2006; BROWN, 1990). As perdas de metsulfurom-methyl por volatilização (pressão de vapor de $2,5 \times 10^{-12} \text{ mm Hg}$) e fotodegradação são consideradas insignificantes (BROWN, 1990; BRASCHI et al., 2000; ANDERSEN et al., 2001; SI et al., 2005).

No solo, o teor de matéria orgânica e o pH da solução são os dois principais fatores que influenciam na dinâmica do metsulfurom-methyl (TAHIR et al., 2008; WANG et al., 2009).

O pH da solução influencia em seu estado de ionização, tendo, como resultado efeito direto sobre a sua sorção, degradação e seu tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) (BROWN, 1990; PONS & BARRIUSO, 1998; WANG et al., 2001; SARMAH & SABADIE, 2002). Por ser um ácido fraco (pK_a 3,75 a 25 °C) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018), em solos com valores de pH maiores que seu pK_a , onde se enquadram quase a totalidade dos solos agrícolas do Brasil, a forma aniônica prevalece nesses solos. Tal forma do herbicida é considerada menos suscetível a sofrer hidrólise e com maior potencial de persistência no solo do que a forma molecular (WANG et al., 2009). Sua sorção no solo aumenta com o aumento do teor de matéria orgânica (WALKER et al., 1989; GUERRA et al., 2020), devido à forte interação desse herbicida com o colóide (ABDULLAH et al., 2001; SINGH & SINGH, 2012; AZCARATE et al., 2015; DUTTA et al., 2015). Assim, em condições de alta umidade e baixa quantidade de matéria orgânica, o metsulfurom-methyl tende a ficar na solução do solo do que sorvido nos colóides (PONS & BARRIUSO, 1998), ficando predisposto a sofrer lixiviação (solubilidade em água de 270 mg L⁻¹) (BEYER et al., 1988) (SARMAH et al., 2000; HOLLAWAY et al., 2006; WANG et al., 2009; DELGADO-MORENO et al., 2007) ou ser degradado por atividade microbiana ou hidrólise (PONS & BARRIUSO, 1998; KAH & BROWN, 2007), diminuindo, assim, o risco de causar intoxicação nas culturas implantadas em sucessão ou rotação.

Em ambas as áreas, os valores de pH (4,9 e 5,7) se encontravam acima do valor de pK_a do metsulfurom-methyl (pK_a 3,75), com isso, a forma aniônica provavelmente prevaleceu na solução do solo durante o período de entressafra (90 dias) para ser degradada ou ser lixiviada para camadas mais profundas do solo, pois, durante esse período, houve um acumulado de 300 mm de precipitação. Assim, os 3,6 g i. a. ha⁻¹ aplicados do herbicida foram degradados ou lixiviados de forma a reduzir a concentração de seus resíduos no solo o suficiente para não causar intoxicação nas plantas do cultivar Monsoy 5917 IPRO.

No Brasil, recomenda-se, no mínimo, um intervalo de 60 dias entre a aplicação do metsulfurom-methyl e a semeadura da cultura da soja (FMC, 2020a). Já, nos Estados Unidos da América, o intervalo de tempo varia de estado para estado, sistema de produção, pH do solo, dose e precipitação acumulada (380 a 860 mm), com isso, recomenda-se um intervalo mínimo de 4 a 34 meses (FMC, 2020b). Guerra et al. (2020) estudaram intervalos de tempo entre a aplicação de metsulfurom-methyl (1,98 e 3,96 g ha⁻¹) e a semeadura da cultura da soja na região de Campo Mourão-PR e de Curitiba-SC e observaram que um intervalo mínimo de 40 e 17 dias é o suficiente para a semeadura da cultura após a aplicação do herbicida nas duas regiões, respectivamente. Os autores atribuíram esses resultados às variações existentes

entre as duas regiões quanto ao teor de matéria orgânica, pH do solo e a precipitação ocorrida durante a condução dos ensaios.

Com relação ao isoxaflutole, tanto as propriedades do solo quanto as condições climáticas podem influenciar na sua dinâmica no ambiente bem como dos seus metabólitos (RICE et al., 2004). No solo, por ser um “pro-herbicida”, o isoxaflutole é rapidamente convertido, por hidrólise, ao metabólito diquetonitrila (2-cyclopropyl-3-(2-mesyl-4-trifluorom-ethylphenyl)-3-oxopropanenitrile) que é a molécula biologicamente ativa do herbicida (PALLET et al., 1997; ROBERTS et al., 1998). Esse processo é influenciado pela umidade, pH do solo e pela temperatura (RICE et al., 2004). Já o diquetonitrila é degradado por atividade microbiana (BELTRAN et al., 2001; BELTRAN et al., 2003; RICE et al., 2004).

Contudo, o isoxaflutole difere de seu metabólito (diquetonitrila) quanto às características físico-químicas. A solubilidade do isoxaflutole, em água, é de 6,2 mg L⁻¹ a 20 °C, enquanto que o diquetonitrila é muito mais solúvel (326 mg L⁻¹ a 20 °C) (MITRA et al., 2000; RICE et al., 2004). Com isso, o diquetonitrila tem maior mobilidade no perfil do solo, estabilidade, persistência e maior taxa de absorção pelas plantas do que o isoxaflutole (MITRA et al., 2000; TAYLOR-LOVELL et al., 2000, 2002; PALLET et al., 2001; LIN et al., 2002).

O T_{1/2} do isoxaflutole, em condições de laboratório, varia de 12 horas a 14 dias, o qual é influenciado pelo tipo de solo, teor de umidade, pH e temperatura (PALLET et al., 2001; TAYLOR-LOVELL et al., 2002). Rouchaud et al. (1998) constataram um T_{1/2} de 14,4 dias num solo com pH 5,5 e 12,1 dias num solo com pH 7,2. Já Rice et al. (2004) verificaram um T_{1/2} de 13,7, 17,3 e 16,3 nos valores de pH de 7,42, 6,46 e 6,56, respectivamente. No solo, sob condições de fotólise, o isoxaflutole apresentou um T_{1/2} de 40 horas, enquanto que o diquetonitrila apresentou T_{1/2} de 30 dias (MITRA et al., 2000).

A textura e o teor de matéria orgânica do solo também influenciam no T_{1/2}, sorção e lixiviação do isoxaflutole. A sua sorção diminui com a diminuição do teor de carbono orgânico (MITRA et al., 2000; RICE et al., 2004; OLIVEIRA JR. et al., 2006;). O T_{1/2} aumenta em solos com textura mais argilosa, pois, em um solo com 12,3% de argila, o herbicida apresentou um T_{1/2} de 13,7 dias, 16,3 dias num solo com 24,2% de argila e 17,3 dias num solo com 25,4% de argila (RICE et al., 2004). Quanto à lixiviação, Inoue et al. (2007) e Melo et al. (2010) verificaram maior lixiviação do herbicida em solo com textura arenosa do que num solo com textura argilosa e Monquero et al. (2008) constataram maior lixiviação de

isoxaflutole em solo com 22 g dm^{-3} de matéria orgânica comparado a um solo com 36 g dm^{-3} de matéria orgânica. Contudo, o potencial de lixiviação desse herbicida, no perfil do solo, independe da dose aplicada (INOUE et al., 2007).

Assim, como os demais herbicidas, um período de entressafra de 90 dias, somado ao baixo teor de matéria orgânica nos dois solos (1,9 % e 1,6 %) e valores de pH (4,9 e 5,7) muito superiores aos valores do pKa do isoxaflutole (pKa 4,3) e do diquetonitrila (pKa 1,1) (CHRISTOFFOLETI et al., 2008), provavelmente, fizeram com que o herbicida e seu metabólito tivessem baixa sorção nos colóides do solo ficando disponível na solução do solo para serem degradados ou lixiviados. Considerando-se uma precipitação acumulada de 300 mm, lâmina mais do que o suficiente para lixiviá-los para camadas mais profundas do solo, já que 40 a 80 mm são suficientes para lixiviar o isoxaflutole no perfil do solo (INOUE et al., 2007; MONQUERO et al., 2008; MELO et al., 2010).

No Brasil, não há recomendações de um intervalo mínimo entre a aplicação do isoxaflutole e a semeadura da cultura da soja (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Contudo, em outros países, as recomendações são de que se respeite, no mínimo, um intervalo de sete meses e um acumulado de 250 mm de precipitação para se realizar a semeadura da soja; porém, esse período poderá ser estendido caso ocorram períodos de frio ou de seca, mesmo tendo ocorrido a quantidade de precipitação requerida (250 mm) (BAYER, 2020).

Por fim, o metribuzin possui registro, no Brasil, para o controle, principalmente, de plantas daninhas dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas na cultura da soja (AGROFIT, 2020), o qual é aplicado na modalidade de pré-emergência da cultura e das plantas daninhas, tanto no sistema convencional de produção quanto no sistema de plantio direto (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Embora seja registrado para a cultura da soja, há restrição do seu uso, por baixa tolerância ao herbicida, em alguns cultivares, como o FT-21 (Siriema), FT Cometa, Coodetec 206, BRS 132, UFV-19, UFV-20, Campos Gerais, FT-1, FT11 (Alvorada), Embrapa 132 (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018) e BMX Titan RR (ALONSO et al., 2011). O cultivar Monsoy 5917 IPRO, utilizado no presente estudo, não apresenta restrição quanto ao uso do metribuzin (MONSOY, 2020). Contudo, recomenda-se a realização de testes quanto à tolerância a esse herbicida ao se utilizar novos cultivares (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). O principal mecanismo que confere seletividade do metribuzin para alguns cultivares de soja é o incremento da atividade das enzimas superóxido dismutase e da ascorbato peroxidase (TUTIA et al., 2015), que agem contra o estresse oxidativo causado pelo herbicida (DHINDSA et al., 1981; ARORA et al., 2002;

YAMAMOTO et al., 2003; GUO et al., 2004).

O metribuzin também é altamente solúvel em água (1.050 mg L^{-1}) (KJÆR et al., 2005; MALOSCHIK et al., 2007). No solo, a degradação química e a degradação microbiana são os dois processos mais importantes na sua dissipação, sendo, a degradação microbiana o processo mais importante (MAQUEDA et al., 2009). Possui maior afinidade pela matéria orgânica em relação à argila. Com isso, sua sorção no solo aumenta e sua lixiviação diminui com o aumento do teor de matéria orgânica, pois apresenta um valor de K_{ow} de 44,7 e um K_{oc} médio de 60 mL g^{-1} (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Assim, por apresentar características físico-químicas que facilitam a sua degradação e/ou lixiviação no perfil do solo, além da tolerância do cultivar Monsoy 5917 IPRO, o metribuzin causou baixa intoxicação à cultura da soja após 90 dias de sua aplicação.

Assim como o amicarbazone, a quantidade de palhada presente na superfície do solo (Área I = $1.669,57 \text{ Kg ha}^{-1}$, Área II = $2.522,87 \text{ Kg ha}^{-1}$) não interferiu na dinâmica do metsulfurom-methyl, isoxaflutole (diquetonitrila) e do metribuzin. Estudos demonstram que o isoxaflutole (MONQUERO et al., 2008b; RODRIGUES et al., 2000) e o metribuzin (ROSSI et al., 2013) são capazes de transpor camadas de palha presentes na superfície do solo. Além da quantidade de palha presente na superfície do solo ser pequena, o metsulfurom-methyl possui uma solubilidade em água de 270 mg L^{-1} (BEYER et al., 1988) e valor de K_{ow} de 1,0 (pH 5) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018), o diquetonitrila apresenta $326,0 \text{ mg L}^{-1}$ (MITRA et al., 2000; RICE et al., 2004) e $\text{Log } K_{ow}$ de 2,5 (CHRISTOFFOLETI et al., 2008), enquanto o metribuzin possui alta solubilidade (1050 mg L^{-1}) (KJÆR et al., 2005; MALOSCHIK et al., 2007) e um valor de K_{ow} de 44,7 (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). As características físico-químicas como maior solubilidade em água e menor coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), permitem que esses herbicidas transponham camadas de palhada sem sofrerem perdas significativas de moléculas, embora o diquetonitrila seja muito lipofílico (VIDAL, 2002).

Diante do exposto, acredita-se que um período de 90 dias e um acumulado de 300 mm de precipitação teria sido suficiente para degradar os resíduos dos herbicidas amicarbazone, isoxaflutole, metsulfurom-methyl e do metribuzin, independentemente da textura do solo, ao ponto de não causarem redução no rendimento de grãos do cultivar de soja Monsoy 5917 IPRO e somente sintomas muito leves de fitointoxicação nos períodos iniciais após a emergência.

1.4 CONCLUSÃO

A aplicação do amicarbazone (420 g ha^{-1}), isoxaflutole (50 g ha^{-1}), metsulfurom-methyl ($3,6 \text{ g ha}^{-1}$), metribuzin (480 g ha^{-1}) com um intervalo de 90 dias da semeadura da cultura da soja e uma precipitação acumulada de 300 mm causa apenas sintomas muito leves de fitointoxicação nos estádios fenológicos iniciais da cultura sem reduzir o seu rendimento.

Não há efeito da textura do solo sobre os resíduos dos herbicidas residuais utilizados no manejo outonal de buva.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, A. R.; SINNAKAKANI, S.; TAHIR, N. M. Adsorption, desorption and mobility of metsulfuron-methyl in Malaysian agricultural soils. **Bulletim of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 66, p. 762-769, 2001.

AGROFIT – SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIOS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2020. Disponível em:

<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 18 |Nov. 2020.

ALONSO, D. G.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; KOSKINEN, W. C.; OLIVEIRA NETO, A. M.; DAN, H. A. & GUERRA, N. *Carryover* potencial of herbicides used for *Conyza* sp. control. In: Proceedings of 2011 Weed Science Society of America Annual Meeting. Portland, USA: **Weed Science Society of America**, p. s.p., 2011.

ALONSO, D, G.; OLIVEIRA JR.; R. S. de; CONSTANTIN, J. Potencial de *Carryover* de Herbicidas com Atividade Residual Usados em Manejo Outonal. 2013. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR.; R. S. de. OLIVEIRA NETO, A. M. de. **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba, PR: Omnipax, 2013.

ANDERSEN, M. C. Diaspore morphology and seed dispersal in several wind-dispersed Asteraceae. **American Journal of Botany**, v.80, p.487-492, 1993.

ANDERSEN, S. M.; HERTZ, P. B.; HOLST, T.; BOSSI, R.; JACOBSEN.; C. S. Mineralisation studies of ^{14}C -labelled metsulfuron-methyl, tribenuron-methyl, chlorsulfuron and thifensulfuron-methyl in one Danish soil and groundwater sediment profile. **Chemosphere**, v. 45, p. 775–782, 2001.

APPLEBY, A. P.; DAWSON, J. H. Microbial and non-microbial breakdown of herbicides in soil. In: **Intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soils**. West Lafayette, USA: Purdue University, Departments of Horticulture, Agronomy, Botany and Plant Pathology, and Forestry and Natural Resources, 1994.

ARORA, A.; SAIRAM, R. K.; SRIVASTAVA, G. C. Oxidative stress and anti-oxidative system in plants. **Current Science**, v. 82, p. 1227-1238, 2002.

AZCARATE, M. P.; MONTOYA, J. C.; KOSKINEN, W. C. Sorption, desorption and leaching potential of sulfonylurea herbicides in Argentinean soils. **Journal of Environmental Science and Health**, Part B, v. 50, p. 229-237, 2015.

BALKE, N. E. Herbicide effects on membrane functions. In: Duke, S. O. **Weed Physiology**. Boca Raton, EUA: CRC Press, v. 2, p. 113-139, 1985.

BACHEGA, T. F.; PAVANI, M. C. M. D.; ALVES, P. L. C.; SAES, L. P.; BOSCHIERO, M. Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazona em colunas de solo com adição de óleo mineral. **Planta Daninha**, v. 27, p. 363-370, 2009,

BAYER CROPSCIENCE, **Balancer Flexx herbicide**. 2011. Disponível em: <http://www.bayercropsience.us.com>>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

BAYER. Balance[®] 750 WG. 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/root/Documents/Downloads/Balance%20750%20WG%20Herbicide%20Product%20Label.pdf#page=2&zoom=100,72,444>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

BELTRAN, E.; FENET, H.; COOPER, J. F.; COSTE, C. M. Fate of isoxaflutole in soil under controlled conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 146-151, 2003.

BELTRAN, E.; FENET, H.; COOPER, J. F.; COSTE, C. M. Kinetics of chemical degradation of isoxaflutole: influence of the nature of aqueous buffers (alkanoic acid/sodium salt vs phosphate). **Pest Management Science**, v. 57, p. 366-371, 2001.

BENDING, G. D.; RODRIGUEZ-CRUZ, M. S. Microbial aspects of the interaction between soil depth and biodegradation of the herbicide isoproturon. **Chemosphere**, v. 66, p. 664-671, 2007.

BERGLÖF, T.; KOSKINEN, W. C.; DUFFY, J. M.; NORBERG, K. A.; KYLIN, H. Metsulfuron methyl sorption-desorption in field-moist soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51: p. 3598-3603, 2003.

BERGER, B. M.; WOLFE, N. L. Hydrolysis and biodegradation of sulfonylurea herbicides in aqueous buffers and anaerobic water-sediment systems: assessing fate pathways using molecular descriptors. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 15, p. 1500-1507, 1996.

BEYER, E. M.; DUFFY, M. J.; HAY, J. V.; SCHLUETER, D. D. Sulfonylureas. In: KEARNEY, P. C.; KAUFMAN, D. D. **Herbicide chemistry degradation and mode of action**. Dekker, New York, p 118-183, 1988.

BHOWMIK, P. C.; BEKECH, M. M. Horseweed (*Conyza canadensis*) seed production, emergence, and distribution in no-tillage and conventional tillage corn (*Zea mays*). **Agronomy**, v.1, p.67-71, 1993.

BLAIR, A. M.; MARTIN, T. D. A review of the activity, fate and mode of action of sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, v. 22, p. 195–218, 1988.

BLAINSKI, E.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; BIFFE, D. F.; RAIMONDI, M. A.; BUCKER, E. G.; GHENO, E., Eficácia de alternativas herbicidas para o controle de buva (*Conyza bonariensis*). In: **Resumos do 5o Congresso Brasileiro de Soja**. Goiânia, GO: FUNEP, p. 54, 2009.

BOSCHIN, G.; AGOSTINA, A. D.; ARNOLDI, A.; MAROTTA, E.; ZANARDINI, E.; NEGRI, M.; VALLE, A.; SORLINI, C. Biodegradation of chlorsulfuron and metsulfuron-methyl by *Aspergillus niger* in laboratory conditions. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 38, p. 737–746, 2003.

BRASCHI, I.; PUSINO, A.; GESSA, C.; BOLLAG, J. M. Degradation of primisulfuron by a combination of chemical and microbiological process. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 2565–2571, 2000.

BROWN, H. M. Modes of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, v. 29, p. :263–281, 1990.

CAMPOS, L. H. F. DE. **Resíduos de herbicidas aplicados em cana-de-açúcar afetando adubos verdes e a cultura da soja em rotação**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. 2018

CAVENAGHI, A. L.; ROSSI, C. V. S.; NEGRISOLI E.; COSTA, E. A. D.; VELINI, E. D.; TOLEDO, R. E. B. Dinâmica do herbicida amicarbazona (dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 25, p. 831-837, 2007.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S. de.; OLIVEIRA NETO, A. M. de; BLAINSKI, E.; GUERRA, N. Manejo da buva na entressafra. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR.; R. S. de. NETO, A. M. de O. **Buva: fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba, PR: Omnipax, 2013.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP, 2, 72 p. 2009.

DAN HESS, F., Mode of action of photosynthesis inhibitors. In: PURDUE UNIVERSITY, **Herbicide Action Course**. West Lafayette, EUA: CRC Press, p. 85-102, 1994.

DELGADO-MORENO, L. SÁNCHEZ, L.; CASTILLO, A.; POT, V.; PEÑA, A. Behavior of bensulfuron-methyl in an agricultural alkaline soil. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 42, p. 241–248, 2007.

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

DHINDSA, R. S.; PLUMB-DHINDSA, P.; THORPE, T. A. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. **Journal of Experimental Botany**, v. 32, p. 93-101, 1981.

DURNER, J.; GAILUS, V.; BÖGER, P. New aspects on inhibition of plant acetolactate synthase depend on flavin adenine dinucleotide. **Plant Physiology**, v. 95, p. 1144-1149, 1991.

DUTTA, A.; MANDAL, A.; MANNA, S.; SINGHS. B.; BERNES, A. E.; SINGH, N. Effect of organic carbon chemistry on sorption of atrazine and metsulfuron-methyl as determined by ¹³C-NMR and IR spectroscopy. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, p. 1-12, 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

FMC QUÍMICA DO BRASIL LTDA. **ALLY®**. 2020a. Disponível em: <<https://www.fmcagricola.com.br/Content/Fotos/Bula%20-%20Ally.pdf>>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

FMC CORPORATION. **ALLY®. XP HERBICIDE**. 2020b. Disponível em: <<https://ag.fmc.com/us/en/herbicides/ally-xp-herbicide>>. Acesso em: 07 Jan.. 2021.

FRANS, R., CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: southern weed science society. **Research Methods in Weed Science**. v.3, p.29- 45, 1986.

GUO, T.; ZHANG, G.; ZHOU, M.; WU, F.; CHEN, J. Effects of aluminium and cadmium toxicity on growth and antioxidant enzymes activities of two barley genotypes with different Al resistance. **Plant Soil**, v. 258, p. 241 248, 2004.

GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M. DE.; SCHMITT, J.; CARNEIRO, A. L.; KOPKO, L B.; JOCHEM, W. Intervalo entre a aplicação de metsulfuron-methyl e semeadura da soja em diferentes ambientes de produção. **Revista Ciência Agronômica**., v. 51, 2020.

HEAP I. **Herbicide Resistant Hairy Fleabane Globally (*Conyza bonariensis*)**. Disponível em: < <http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>>. Acesso em: 18 Nov. 2020a.

HEAP I. **Herbicide Resistant Horseweed Globally (*Conyza canadensis*)**. Disponível em: < <http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>>. Acesso em: 18 Nov. 2020b.

HEAP I. **Herbicide resistant sumatran fleabane globally (*Conyza sumatrensis*)**. Disponível em: < <http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>>. Acesso em: 18 Nov. 2020c.

HE, Y. H.; SHEN, D. S.; FANG, C. R.; ZHU, Y. M. Rapid biodegradation of metsulfuron-methyl by a soil fungus in pure cultures and soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 22, p. 1095–1104, 2006.

HOLLAWAY, K. L.; KOOKANA, R. S.; NOY, D. M.; SMITH, J. G.; WIHELM, N. Persistence and leaching of sulfonylurea herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, 1069–1076, 2006.

HRAC. **Mode of Action Classification.** 2020. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Pages/HRACHerbicidePoster2020.pdf>>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G. Potencial de lixiviação de imazapic e isoxaflutole em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 25, p. 547-555, 2007.

KAH, M.; BROWN, C. D. Changes in pesticide adsorption with time at high soil to solution ratios. **Chemosphere**, v. 68, p. 1335–1343, 2007.

KJÆR, J.; OLSEN, P.; HENRIKSEN, J.; ULLUM, M. Leaching of metribuzim metabolites and the associated contamination of a sandy Danish aquifer. **Environmental Science & Technology**, v. 39, p. 8374– 8381, 2005.

LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v. 45, p. 307-20, 1997.

LIN, C. H. **Bioremediation Capacity of Five Forage Grasses for Atrazine, Balance (isoxaflutole) and Nitrate Removal.** Ph.D. Dissertation, University of Missouri, 2002.

MAQUEDA, C.; VILLAYERDE, J.; SOPEN~A, F.; UNDABEYTIA, T.; MORILLO, E. Effects of Soil Characteristics on Metribuzin Dissipation Using Clay-Gel-Based Formulations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, 2009.

MALOSCHIK, E.; ERNST, A.; HEGEDUSS, G.; DARVAS, B.; SZEKACS, A. Monitoring water-polluting pesticides in Hungary. **Microchemical Journal**, v. 85, p. 88–97, 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** Brasília, 2009. 318 p.

MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI, L. D. S.; FERREIRA, F. A.; TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, L. R. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v. 28, p. 385-392, 2010.

MITRA, S.; BHOWMIK, P. C.; XING, B. Sorption and desorption of the diketonitrile metabolite of isoxaflutole in soils. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 183-190, 2000.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; AMARAL, L. R.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C.; INACIO, E. M. Lixiviação de clomazone + ametryn, diuron + hexazinone e isoxaflutole em dois tipos de solo. **Planta Daninha**, v. 26, p. 685-691, 2008.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; INÁCIO, E. M.; DA SILVA, P. V.; DO AMARAL, L. R. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, p. 286-293, 2011.

MONQUERO, P. A.; SILVA, A. C.; BINHA, D. P.; AMARAL, L. R.; SILVA, P. V.; INACIO, E. M. Mobilidade e persistência de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. **Planta Daninha**, v.26, p.411-417, 2008.

MONSOY. **Semeadura e população: época de semeadura e população de plantas.** 2020. Disponível em: <<https://www.monsoy.com.br/pt-br/variedades/epocadesemeaduraepopulacaodeplantas.html>>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

NEGRISOLI, E.; ROSSI, C. V. S.; VELINI, E. D.; CAVENAGHI, A. L.I; COSTA, E. A. D.; TOLEDO, R. E.B. Controle de plantas daninhas pelo amicarbazona aplicado na presença de palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, p. 603-611, 2007.

OLIVEIRA JR., R. S.; MARCHIORI JR., O.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. Influência do período de restrição hídrica na atividade residual de isoxaflutole no solo. **Planta Daninha**, v. 24, p. 733-740, 2006.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011.

OLIVEIRA NETO, A. M. DE. **Manejo outonal de *Conyza* spp. baseado em glifosato + 2,4-D, MSMA e amônio-glufosinato aplicados isoladamente ou em mistura com herbicidas residuais.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR. 2011.

OLIVEIRA NETO, A. M. DE; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. DE; GUERRA, N.; BLAINSKI, E.; ALMEIDA, H. DE A. Management of Sumatran fleabane after maize harvest in the fallow period shorter than 60 days. **Communications in Plant Sciences**, v. 9, p. 53-58, 2019.

OLIVEIRA JR. R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. **Weed Research**, v. 41, p. 97–110, 2001.

PIMENTEL-GOMES F.; GARCIA C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos.** FEALQ, Piracicaba, SP, Brasil, 2002

PONS, N.; BARRIUSO, E. Fate of metsulfuron-methyl in soils in relation to pedo-climatic conditions. **Pesticide Science**, v. 53, p. 311–323, 1998.

PALLET, K. E.; CRAMP, S. M.; LITTLE, J. P.; VEERASEKARAN, P.; CRUDACE A. J.; SLATER, A. E. Isoxaflutole: the background to its discovery and the basis of its herbicidal properties. **Pest Management Science**, v. 57, p. 133-142, 2001.

PALLET, K. E.; CRAMP, S. M.; LITTLE, J. P.; VEERASEKARAN, P.; CRUDACE A. J.; SLATER, A. E. Isoxaflutole: the background to its discovery and the basis of its herbicidal properties. **Pest Management Science**, v. 57, p. 133-142, 2001.

PALLET, K. E.; LITTLE, J. P.; VEERASEKARAN, P.; VIVIANI, F. Inhibition of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase: the mode of action of the herbicide RPA 201772 (isoxaflutole). **Pest Management Science**, v. 50, p. 83-84, 1997.

POSSAMAI, A. C. S.; INOUE, N. H.; MENDES, K. F.; SANTANA, D. C. DE. BEN, R.; SANTOS, E. G. DOS. Potencial de lixiviação e efeito residual de amicarbazona em solos de texturas contrastantes. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, p. 2203-2210, 2013.

RICE, P.; KOSKINEN, W. C.; CARRIZOSA, M. J. Effect of soil properties on the degradation of isoxaflutole and the sorption, desorption of isoxaflutole and its diketone nitrile degradate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, V. 52, p. 7621–7627, 2004.

ROUCHAUD, J.; NEUS, O.; CALLENS, D.; BULCKE, R. Isoxaflutole herbicide soil persistence and mobility in summer corn and winter wheat crops. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 60, p. 577- 584, 1998.

ROBERTS, T. R.; HUTSON, D. H.; LEE, P. W.; NICHOLLS, P. H.; PLIMMER, J. R.; EDS. *Metabolic Pathways of Agrochemicals*. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, p 379-381, 1998.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. DE. **Guia de Herbicidas**. 7. ed. 2018.

RODRIGUES, B. N.; LIMA, J. DE; YADA, I. F. U. Retenção pela palhada, de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura do milho, em plantio direto. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 1, 2000.

ROSSI, C. V. S.; VELINI, E. D.; LUCHINI, L. C.; NEGRISOLI, E.; CORREA, M. R.; PIVETTA, J. P.; COSTA, A. G. F.; SILVA, F. M. L. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Planta Daninha*, v. 31, p. 223-230, 2013.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A. C.; BLAINSKI, É.; GEMELLI, A.; MACHADO, M. DE F. P. S. Aspectos da Biologia e da Germinação da Buva. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR.; R. S. de. OLIVEIRA NETO, A. M. de. **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba, PR: Omnipax, 2013.

SARMAH, A. K.; KOOKANA, R. S.; ALSTON, A. M. Leaching and degradation of triasulfuron, metsulfuron-methyl and chlorsulfuron in alkaline soil profiles under field conditions. *Australian Journal of Soil Research*, v. 38, p. 617–631, 2000.

SARMAH, A. K.; SABADIE, J. Hydrolysis of sulfonylurea herbicides in soils and aqueous solutions: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, p. 6253–6265, 2002.

SCHLOSS, J. V., Acetolactate synthase, mechanism of action and its herbicide binding site. *Pesticide Science*, v. 29, p. 283-292, 1990.

SI, Y.; WANG, S.; ZHOU, J.; HUA, R.; ZHOU, D. Leaching and degradation of ethametsulfuron-methyl in soil. *Chemosphere*, v. 60, p. 601–609, 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995.

STIDHAM, M. A. Herbicides that inhibit acetohydroxyacid synthase. **Weed Science**, [V. 39, p. 428, 1991.

STENROD, M.; CHARNAY, M. P.; BENOIT, P.; EKLO, O. M. Spatial variability of glifosato mineralization and soil microbial characteristics in two Norwegian sandy loam soils as affected by surface topographical features. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 962-971, 2006.

SINGH, N.; SINGH, S. B. Sorption-desorption behavior of metsulfuron-methyl and sulfosulfuron in soils. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 47, p. 168- 174, 2012.

TAHIR, N.M.; HUI, T. J.; ARIFFIN, M. M.; SURATMAN, S.; KHOON, T. S. Adsorption of chlorimuron-ethyl and metsulfuron-methyl on selected Selangor agricultural soils. **The Malaysian Journal of Analytical Sciences**, v. 2, p. 341-347, 2008.

TAYLOR-LOVELL, S.; SIMS, G. K.; WAX, L. M.; HASSETT, J. J. Hydrolysis and soil adsorption of the labile herbicide isoxaflutole. **Environmental Science & Technology**, v. 34, p. 3186-3190, 2000.

TAYLOR-LOVELL, S.; SIMS, G. K.; WAX, L. M. Effects of moisture, temperature, and biological activity on the degradation of isoxaflutole in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 5626-5633, 2002.

THEBAUD, C.; ABBOTT, R. J. Characterization of invasive *Conyza* species (Asteraceae) in Europe: quantitative trait and isozyme analysis. **American Journal of Botany**, v.82, n.3, p.360-368, 1995.

TUTIA, M. D.; DASB, T. K.; SAIRAMC, R. K.; ANNAPURNAD, K.; SING, S. B. Effect of sequential application of metribuzin on selectivity and weed control in soybean. **International Journal of Pest Management**, v. 61, p. 17-25, 2015.

TAYLOR-LOVELL, S.; SIMS, G. K.; WAX, L. M. Effects of moisture, temperature, and biological activity on the degradation of isoxaflutole in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 5626-5633, 2002.

UC IPM - UNIVERSITY OF CALIFORNIA - INTEGRATED PEST MANAGEMENT PROGRAM. **Photosystem II Inhibitors**. 2020a. Disponível em: <http://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/MOA/Photosystem_II_Inhibitors/>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

UC IPM - UNIVERSITY OF CALIFORNIA - INTEGRATED PEST MANAGEMENT PROGRAM. **Carotenoid Biosynthesis Inhibitors**. 2020b. Disponível em: <http://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/MOA/Carotenoid_biosynthesis_inhibitors/>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

UC IPM - UNIVERSITY OF CALIFORNIA - INTEGRATED PEST MANAGEMENT PROGRAM. **Acetolactate Synthase (ALS) or Acetohydroxy Acid Synthase (AHAS) Inhibitors.** 2020c. Disponível em: <http://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/MOA/ALS_or_AHAS_inhibitors/>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

VIDAL, R. A. **Ação dos herbicidas: absorção, translocação e metabolização.** Edição do autor: Porto Alegre, 2002.

VIDAL, R. A.; KALSING, A.; GOULART, I. C. G. R.; LAMEGO, F. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Impacto da temperatura, irradiância e profundidade das sementes na emergência e germinação de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, p. 309-315, 2007.

WALKER, A.; COTTERILL, E. G.; WELCH, S. J. Adsorption and degradation of chlorsulfuron and metsulfuron-methyl in soils from different depths. **Weed Research**, v. 29, p. 281- 287, 1989.

WANG, H. Z.; XU, J. M.; XIE, Z. M.; YE, Q. F. Dynamics and forms of ¹⁴C-metsulfuron-methyl residual in soils. **Acta Pedologica Sinica**, v. 38, p. 547–557, 2001.

WANG, H. Z.; GAN, J.; ZHANG, J. B.; XU, J. M.; YATES, S. R.; WU, J. J.; YE, Q. F. Kinetic distribution of ¹⁴C-metsulfuron-methyl residues in paddy soils under different moisture conditions. **Journal of Environmental Quality**, v. 38, p. 164–170, 2009.

YU, Y. L.; X. WANG, Y. M.; LUO, J. F.; YANG, YU, J. Q.; FAN, D. F. Fungal degradation of metsulfuron-methyl in pure cultures and soil. **Chemosphere**, v. 60, p. 460–466, 2005.

YAMAMOTO, Y.; KOBAYASHI, Y.; RAMADEVI, S.; RIKIISHI, S.; MATSUMOTO, H. Oxidative stress triggered by aluminium in plant roots. **Plant Soil**, v. 255, p. 239—243, 2003.

ZANARDINI, E.; ARNOLDI, A.; BOSCHIN, G.; D'AGOSTINA, A.; NEGRI, M.; SORLINI, C. Degradation pathways of chlorsulfuron and metsulfuron-methyl by a *Pseudomonas fluorescens* strain. **Annals of Microbiology**, v. 52, p. 25–37, 2002.

ZANINI, G. P.; MANEIRO, C.; WAIMAN, C. GALANTINI, J. A.; ROSELL, R. A. Adsorption of metsulfuron-methyl on soils under no-till system in semiarid Pampean region Argentina. **Geoderma**, v. 149, p. 110-115, 2009.

2. RESIDUAIS DE HERBICIDAS APLICADOS NO MANEJO OUTONAL DE *Conyza* spp. SOBRE A CULTURA DO MILHO

RESUMO

As espécies de buva (*Conyza* spp.) estão entre as principais plantas daninhas nos sistemas de produção agrícola no Brasil e no mundo, em decorrência de diversos relatos de biótipos com resistência a vários herbicidas de diferentes mecanismos de ação, além de tolerarem condições climáticas adversas e se adaptarem a sistemas de cultivo mínimo. Nas Regiões Centro-Sul e Sul do país, plantas de buva conseguem se desenvolver no período de entressafra (Julho a Outubro) e, no momento de dessecação em pré-semeadura da cultura subsequente, se tornam um problema para o agricultor, devido à eficácia de alguns herbicidas ser dependente da densidade e do estágio de desenvolvimento das plantas. Uma das ferramentas para manejar plantas de buva no período de entressafra é a utilização de herbicidas com atividade residual no solo no manejo outonal, contudo, algumas moléculas não são seletivas para a cultura do milho. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de herbicidas residuais aplicados no manejo outonal de buva sobre a cultura do milho em solos com texturas contrastantes. Foram conduzidos dois ensaios, um em solo com textura argilosa e outro em solo com textura franco-arenosa, ambos com o delineamento em blocos casualizados e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se da aplicação do herbicida metsulfurom-methyl ($3,6 \text{ g ha}^{-1}$), metribuzin (480 g ha^{-1}), diclosulam (33 g ha^{-1}), chlorimuron-ethyl (20 g ha^{-1}), imazethapyr (100 g ha^{-1}), flumioxazin (125 g ha^{-1}) e uma testemunha (sem aplicação de herbicida). A semeadura do milho ocorreu aos 90 dias após a aplicação dos herbicidas residuais. Os herbicidas avaliados causaram sintomas leves de intoxicação na cultura do milho nos estádios fenológicos iniciais, com total recuperação das plantas ao longo do desenvolvimento vegetativo, sem efeito sobre o rendimento de grãos. Não houve interação entre a textura do solo e o efeito de resíduos dos herbicidas avaliados, embora a cultura tenha apresentado menor estande e maior intoxicação quando cultivada em solo com textura argilosa e menor altura de inserção da espiga, número de espiga por planta, grãos por fileira e maior massa de 100 grãos quando cultivada em solo com textura franco-arenosa, independentemente do herbicida utilizado. Conclui-se que com uma precipitação acumulada de 300 mm e um intervalo de 90 dias da aplicação de metsulfurom-methyl, metribuzin, diclosulam, chlorimuron-ethyl, imazethapyr e flumioxazin e a semeadura da cultura do milho causa apenas sintomas leves de intoxicação, sem interferir no rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Zea mays* L., Buva, Resíduo

ABSTRACT

Horseweed species (*Conyza* spp.) are among the main weeds in agricultural production systems in Brazil and in the world, as a result of several reports of biotypes with resistance to several herbicides of different mechanisms of action, in addition to tolerating adverse climatic conditions and adapt to minimal cropping systems. In the Center-South and South regions of the country, horseweed plants are able to develop in the off-season period (July to October) and, at the time of desiccation in pre-sowing of the subsequent crop, they become a problem for the farmer, due to their efficiency. of some herbicides to be dependent on plant density and developmental stage. One of the tools to manage horseweed plants in the off-season is the use of herbicides with residual activity in the soil in autumn management, however, some molecules are not selective for the corn crop. Thus, the objective was to evaluate the effect of residual herbicides applied in autumn management of horseweed on

corn crop in soils with contrasting textures. Two trials were conducted, one in clayey textured soil and the other in sandy loam soil, both with a randomized block design and four replications. The treatments consisted of the application of the herbicide metsulfuron-methyl (3.6 g ha^{-1}), metribuzin (480 g ha^{-1}), diclosulam (33 g ha^{-1}), chlorimuron-ethyl (20 g ha^{-1}), imazethapyr (100 g ha^{-1}), flumioxazin (125 g ha^{-1}) and a control (without herbicide application). Corn sowing took place 90 days after the application of residual herbicides. The evaluated herbicides caused mild symptoms of poisoning in the corn crop in the initial phenological stages, with full recovery of the plants throughout vegetative development, with no effect on grain yield. There was no interaction between soil texture and the effect of residues of the evaluated herbicides, although the crop has shown lower stand and greater intoxication when grown in soil with clayey texture and lower ear insertion height, number of ear per plant, grains per row and greater mass of 100 grains when grown in soil with sandy loam texture, regardless of the herbicide used. It is concluded that with an accumulated precipitation of 300 mm and an interval of 90 days of application of metsulfuron-methyl, metribuzin, diclosulam, chlorimuron-ethyl, imazethapyr and flumioxazin and the sowing of corn crop causes only mild symptoms of intoxication, without interfere with grain yield.

Keywords: *Zea mays* L., Fleabane, Residue

2.1 INTRODUÇÃO

As espécies de buva (*Conyza bonariensis*, *Conyza canadensis* e *Conyza sumatrensis*) estão entre as principais plantas daninhas no Brasil e no mundo (THEBUAD & ABBOTT, 1995). Isso se deve às características de agressividade dessas espécies como produção de grande quantidade de sementes amplamente dispersas pelo vento (BHOWMIK & BEKECH, 1993), adaptação a sistemas conservacionistas (ANDERSEN, 1993; VIDAL et al., 2007), tolerância ao déficit hídrico (SANTOS et al., 2013) e, principalmente, por apresentarem diversos casos de biótipos com resistência a herbicidas no mundo (HEAP, 2019abc).

No Brasil, há relatos de biótipos de *C. bonariensis* e *C. canadensis* com resistência ao herbicida glyphosate (HEAP, 2019ab), sendo que *C. sumatrensis* apresenta o maior número de casos de resistência, incluindo-se a resistência isolada aos herbicidas glyphosate, chlorimuron-ethyl, paraquat, saflufenacil, além de biótipos com resistência múltipla aos herbicidas chlorimuron-ethyl e glyphosate; chlorimuron-ethyl, glyphosate e ao paraquat e, em 2017, foi relatada a resistência de um biótipo aos herbicidas 2,4-D, diuron, glyphosate, paraquat e saflufenacil (HEAP, 2019c).

Além da perda da eficácia de controle de alguns herbicidas advinda da resistência de determinados biótipos, a eficácia de controle de herbicidas de aplicação em pós-emergência é dependente do estágio de desenvolvimento das plantas dessa espécie, pois há uma redução no

controle quando as plantas se encontram com tamanho maior que 20 cm de altura (BLAINSKI et al., 2009).

Nas Regiões Centro-Sul e Sul do país, por apresentarem temperaturas mais amenas e ocorrerem precipitações no período de entressafra (Julho a Outubro), as plantas de buva, por requererem temperaturas mais baixas para germinar e tolerarem baixa disponibilidade de água, germinam e se desenvolvem nesse período e, no momento de dessecação de pré-semeadura da cultura de verão, as plantas estão, geralmente, com um tamanho maior que o ideal para se ter um controle satisfatório, ou seja, maiores que 20 cm (CONSTANTIN et al., 2013).

Assim, torna-se necessário o manejo de plantas de buva na entressafra, conhecido na prática como manejo outonal (CONSTANTIN et al., 2013), o qual visa diminuir a densidade populacional, bem como suprimir o crescimento das plantas que germinam nesse período, a fim de facilitar o manejo de plantas daninhas na pré-semeadura da cultura subsequente. Uma das ferramentas utilizadas no manejo outonal de buva é a utilização de herbicidas com atividade residual no solo como é o caso dos herbicidas metsulfurom-methyl, metribuzin, diclosulam, chlorimuron-ethyl, imazethapyr e flumioxazin (OLIVEIRA NETO, 2011; OLIVEIRA NETO et al., 2019).

Os herbicidas metsulfurom-methyl e chlorimuron-ethyl pertencem ao grupo químico das sulfoniluréias, enquanto o diclosulam pertence ao grupo das triazolopirimidinas e o imazethapyr é classificado como imidazolinona, sendo que todos apresentam o mesmo mecanismo de ação, a inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), enzima chave na rota de síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (BEYER et al., 1988; BLAIR, 1988; SCHLOSS, 1990; DURNER et al., 1991; STIDHAM, 1991).

O metribuzin pertence ao grupo químico das triazinonas (HRAC, 2020) e tem como mecanismo de ação a inibição do transporte de elétrons no fotossistema II (BALKE, 1985), que, ao atingir o seu sítio de ação, paralisa a fixação de CO₂ e a produção de ATP e NADPH₂. Contudo, a morte das plantas ocorre, principalmente, pelo processo de peroxidação de lipídeos, em decorrência do excesso de clorofila *triplet* e a formação de espécies reativas de oxigênio (DAN HESS, 1994).

Pertencente ao grupo das N-feniltalimidas, o herbicida flumioxazin tem como mecanismo de ação a inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) (HRAC, 2020). Na aplicação em pré-emergência, é absorvido pelas plântulas já nos estádios iniciais de

crecimento, porém a morte da planta ocorre somente após a emergência, pois necessita da luz para exercer seu efeito herbicida (HESS, 1993; LEE & DUKE, 1994; LABONNE & CAPOU, 1998; BHOWMIK, 2000).

Contudo, esses herbicidas apresentam um potencial de causar fitotoxicidade a determinadas culturas implantadas após o período de entressafra devido ao residual no solo, como à cultura do milho, conforme observaram Alonso et al. (2011, 2013) em estudo realizado em casa de vegetação. No entanto, as características físico-químicas do solo e do herbicida, a atividade microbiana, a presença de palhada na superfície do solo, a temperatura e a precipitação pluvial são os fatores que podem interferir na dinâmica de herbicidas aplicados ao solo (RICE et al., 2004; STENRØD et al., 2006; BENDING & RODRIGUEZ-CRUZ, 2007). Com isso, há uma lacuna de informações quanto à dinâmica desses herbicidas residuais aplicados no manejo de buva no período de entressafra sobre a cultura do milho em condições de campo. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de herbicidas residuais aplicados no manejo outonal de buva sobre a cultura do milho em solos com texturas contrastantes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois ensaios foram conduzidos na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP, situada no município de Piracicaba-SP, Brasil, no período de 20 agosto de 2019 a 20 março de 2020. O clima da região é classificado, segundo Köppen-Geiger, como Cwa, sendo, relativamente seco no inverno, com chuvas no verão. As precipitações pluviais e as temperaturas ocorridas durante todo o estudo são descritas na Figura 2,1.

O ensaio foi implantado em duas áreas com texturas de solo contrastantes. Um ensaio foi instalado em um solo (Área I) com textura franco-arenosa (areia: 79,9%; silte: 2,7%; argila: 17,4%) e as seguintes características químicas na profundidade de 0 a 0,2 m: pH em CaCl_2 : 4,9; Ca: $1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al: $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $2,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K (resina): $0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P (resina): 7 mg dm^{-3} ; CTC: $4,71 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; MO: 1,9 %, e outro ensaio foi instalado em um solo (Área II) com textura argilosa (areia: 42,6%; silte: 4,7%; argila: 52,7%) e as seguintes características químicas na profundidade de 0 a 0,2 m: pH em CaCl_2 : 5,7; Ca: $2,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al: $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K (resina): $0,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P (resina): 25 mg dm^{-3} ; CTC: $4,53 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; MO: 1,6%.

As amostragens para caracterização física e química das áreas ocorreram em 15 de agosto de 2019.

Figura 2,1: Temperatura média, máxima e mínima (°C) e pluviosidade ocorrida no período entre 20/08/2019 a 10/03/2020. Fonte: Base de dados da Estação Meteorológica Automática - LEB - ESALQ - USP - Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Ambas as áreas se encontravam em pousio com resíduos vegetais de milho (*Zea mays* L.) que foi cultivado na safra anterior (Primavera-Verão) e de plantas daninhas. A Área I possuía 2.457,5 Kg ha⁻¹ de massa de matéria seca e a Área II 3.217,0 Kg ha⁻¹. Quatro dias antes da instalação dos ensaios, foi realizada uma roçagem da vegetação presente nas duas áreas a 0,1 m do nível do solo, utilizando-se uma roçadeira hidráulica acoplada a um trator de 75 CV.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos herbicidas utilizados foram: metsulfurom-methyl (3,6 g ha⁻¹), metribuzin (480 g ha⁻¹), diclosulam (33 g ha⁻¹), chlorimuron-ethyl (20 g ha⁻¹), imazethapyr (100 g ha⁻¹), flumioxazin (125 g ha⁻¹) e uma testemunha (sem aplicação de herbicida). Esses tratamentos (herbicidas residuais), bem como suas respectivas doses, foram obtidos de estudos realizados previamente por Oliveira Neto (2011, 2019) e Alonso (2011, 2013).

As parcelas foram constituídas por sete linhas de semeadura de milho no espaçamento de 0,45 m entrelinhas e 6,0 m de comprimento. A área útil da parcela constituiu-se de 7,2 m², sendo consideradas apenas as quatro linhas centrais e desconsiderando-se 1,0 m de cada extremidade da parcela.

A aplicação dos tratamentos herbicidas foi realizada em 20 de agosto de 2019 com auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, munido de barra contendo seis pontas de pulverização do tipo leque XR 110.02, com espaçamento entre bicos de 0,5 m, posicionadas a 0,5 m da superfície do solo e volume de aplicação de 200 L ha⁻¹.

A primeira etapa do estudo correspondeu entre a aplicação dos herbicidas com atividade residual (tratamentos) e a semeadura da cultura do milho, correspondente ao “período de entressafra”, que teve um período de 90 dias. Durante esse período, foram realizadas aplicações do herbicida glyphosate (1.080 g e. a. ha⁻¹) para o controle dos rebrotes e dos fluxos de emergência de plantas daninhas.

A semeadura do milho cv. Syngenta Feroz Viptera[®] 3 ocorreu de forma mecanizada no dia 18 de novembro de 2019, no espaçamento de 0,45 m entre linhas, sendo a semeadura ajustada para obter uma população final de 60 mil plantas ha⁻¹. A adubação de semeadura constituiu-se da aplicação de 250 kg ha⁻¹ do formulado 04-20-20 no sulco de semeadura. Os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade da cultura, sendo o controle de pragas realizado com a aplicação dos inseticidas tiametoxam + lambda-cialotrina (28,2 + 21,2 g ha⁻¹) e imidacloprido + bifentrina (100 + 20 g ha⁻¹). O controle de doenças foi realizado com a aplicação do fungicida trifloxistrobina em mistura com tebuconazol (75 + 150 g ha⁻¹, respectivamente), enquanto o manejo das plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual. Foram aplicados 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de uréia (45% de nitrogênio), sendo 90 Kg aplicados no estágio V4 e o restante no estágio V10, plantas com a quarta e a décima folha com a aurícula visível, respectivamente (RITCHIE et al., 1993), conforme recomendações de Sousa & Lobato (2002).

Aos 14 dias após a semeadura (DAS) foi realizada a avaliação de estande, por meio da contagem do número de plantas emergidas em quatro metros lineares na área útil da parcela. As avaliações de fitointoxicação foram realizadas aos 14, 21, 28 e 35 dias após a semeadura (DAS), por meio de notas visuais de 0 a 100%, onde 0 (zero) representou a ausência de injúrias e 100 (cem) a morte das plantas, de acordo com a escala adaptada da SBCPD (Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBCPD, 1995), apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Escala de notas utilizada para avaliação visual de fitotoxicidade de herbicidas com atividade residual aplicados no manejo outonal de *Conyza* spp. (buva) sobre a cultura do milho. Adaptada de SBCPD (1995).

Conceito	Nota (%)	Observação
Muito leve	0 - 5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6 - 10	Sintomas nítidos de baixa intensidade.
Moderada	11 - 20	Sintomas nítidos mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21 - 35	Sintomas pronunciados, porém, totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36 - 45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46 - 60	Danos irreversíveis com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61 - 100	Danos irreversíveis muito severos com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para morte de toda a planta.

Na colheita, foi realizada novamente a avaliação de estande em quatro metros lineares, assim como a mensuração da altura da inserção da primeira espiga (nível do solo até o nó de inserção da primeira espiga) e a contagem do número de espigas por planta de 10 plantas escolhidas aleatoriamente. Posteriormente, foram colhidas todas as espigas presentes nas 4 linhas centrais na área útil da parcela, contendo 4 metros em cada linha (totalizando 16,0 m de linha). Do total das espigas colhidas, foram escolhidas, aleatoriamente, 10 espigas para mensuração do comprimento e do diâmetro e contagem do número de fileiras de grãos por espiga e do número de grãos por fileira. Em seguida, todas as espigas foram debulhadas utilizando-se um debulhador manual e depois os grãos foram peneirados utilizando-se uma peneira manual para retirada de impurezas. Por fim, a produtividade e a massa de 100 grãos foram estimadas, de cada parcela, do total de grãos colhidos. A estimativa da umidade da massa de 100 grãos e da produtividade foi realizada conforme as Regras para Análise de Sementes (MAPA, 2009) e ajustada para 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) de cada ensaio. Para as variáveis em que a diferença dos quadrados médios dos resíduos dos ensaios foi menor que sete, foi realizada a análise conjunta dos ensaios, segundo Pimentel-Gomes & Garcia (2002). Quando os efeitos dos fatores foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey (1949) ($p < 0,05$). As médias contidas nas tabelas referem-se aos dados originais, sendo os dados transformados, quando necessário, somente utilizados para realização da análise de variância e comparação de médias. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SAS/STAT v. 9.1 ($p < 0,05$).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na avaliação realizada aos 14 dias após a semeadura (DAS), não foi constatado efeito dos herbicidas residuais sobre o estande inicial da cultura, tendo como média geral 2,42 plantas m^{-1} , totalizando 53.841 plantas ha^{-1} (Tabela 2.2). Nesse caso, a textura do solo influenciou nos resultados de estande, que foi menor no solo com textura argilosa em relação ao solo com textura franco-arenosa (Tabela 2.2), onde a população foi de 48.666 plantas ha^{-1} , cerca de 18% menor que a recomendada de 60 a 70 mil plantas ha^{-1} para o híbrido em regiões de terras baixas (altitude < 700 m) (SYNGENTA, 2020). Isso se deve, provavelmente, às características físicas daquele solo no momento da semeadura, pois encontrava-se com sinais de compactação, o que influenciou na semeadura da cultura. A palhada presente na superfície do solo, provavelmente, não influenciou na operação de semeadura, pois ambos os solos apresentavam pouca quantidade de palhada na superfície e em quantidades semelhantes (franco-arenoso: 2.457,57 Kg ha^{-1} ; argiloso: 3.217,07 Kg ha^{-1}).

Em relação às avaliações de fitotoxicidade, constatou-se, na primeira avaliação, realizada aos 14 DAS, intoxicação das plantas de milho com a aplicação de todos os herbicidas, embora os sintomas tenham sido considerados leves ou muito leves, sendo maiores nas plantas cultivadas no solo de textura argilosa (Tabela 2.2). Os sintomas de intoxicação das plantas de milho com o herbicida diclosulam foram maiores do que dos demais herbicidas e se mantiveram no decorrer do crescimento da cultura (avaliações realizadas aos 21, 28 e 35 DAS), enquanto o metsulfurom-methyl apresentou a menor intoxicação das plantas nessas avaliações (Tabela 2.2). Novamente, aos 28 DAS, houve efeito da textura do solo sobre a intoxicação do milho com os herbicidas residuais, sendo maior no solo de textura franco-arenosa (Tabela 2.2). Não houve interação entre os herbicidas residuais e a textura dos solos em nenhuma das variáveis analisadas nos estádios iniciais de crescimento da cultura do milho.

Tabela 2.2: Estande (plantas m⁻¹) aos 14 dias após a semeadura (DAS) e intoxicação de plantas de milho cv. Syngenta Feroz Viptera[®] 3 aos 14, 21, 28 e 35 DAS, semeado aos 90 dias (entressafra) da aplicação de herbicidas com atividade residual no manejo outonal de *Conyza* spp. (buva). Piracicaba-SP, 2020.

Herbicida	Estande - 14 DAS (plantas m ⁻¹)	Intoxicação			
		14 DAS	21 DAS	28 DAS	35 DAS
Chlorimuron-ethyl	2,40	9,61	13,98 ab	5,19 a	6,96 ab
Diclosulam	2,45	14,66	17,47 b	18,14 b	16,40 b
Imazethapyr	2,43	11,90	10,43 ab	7,29 a	8,12 ab
Metsulfurom-methyl	2,42	10,36	7,23 a	2,99 a	5,19 a
Metribuzin	2,46	9,73	9,36 ab	6,00 a	7,34 ab
Flumioxazin	2,41	10,89	8,47 a	8,12 a	8,06 ab
Testemunha	2,39	-	-	-	-
Textura					
Argilosa	2,19 a	9,73 b	-	5,90 a	-
Franco-arenosa	2,61 b	7,26 a	-	9,00 b	-
F Bloco	0,03*	0,00**	0,20 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,78 ^{ns}
F Textura	0,02*	0,02*	0,39 ^{ns}	0,02*	0,13 ^{ns}
F Herbicida	0,24 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,00**	0,00**	0,01*
F Herbicida x Textura	0,75 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,75 ^{ns}
DMS Textura	0,20	0,14	-	0,23	-
DMS Herbicida	-	-	1,39	1,63	1,98
CV (%)	15,95	19,42	25,08	30,70	32,37

DAS: dias após semeadura; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$); * significativo pelo teste F a 5% ($p < 0,05$). ** significativo pelo teste F a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os dados de intoxicação (14, 21, 28 e 35 DAS) foram transformados pela função $\sqrt{x}$.

Nas plantas, os herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS) são absorvidos pelo sistema radicular e pelas folhas e translocam-se tanto pelo xilema quanto pelo floema e acumulam-se nos meristemas das plantas, onde exercem a ação herbicida. Inicialmente, causam a paralisação do crescimento, posteriormente, as folhas tornam-se amareladas ou com

clorose internerval e, muitas vezes, apresentam arroxamento foliar. As folhas novas também podem apresentar encarquilhamento e, por fim, os sintomas evoluem para necrose das folhas e dos meristemas, levando a planta à morte (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018; UC IPM, 2020b).

No presente estudo, todas as parcelas com a aplicação dos herbicidas inibidores da ALS, com exceção do diclosulam, apresentaram algumas plantas com folhas levemente cloróticas e com redução do crescimento. Já aquelas que receberam o herbicida diclosulam apresentaram maior intoxicação, pois as plantas apresentaram, nos estádios iniciais do crescimento, folhas com clorose acentuada e redução do crescimento. Alonso et al. (2011) também observaram clorose das folhas e redução do crescimento das plantas de milho quando a cultura foi semeada 30 dias após a aplicação de metsulfurom-methyl e chlorimuron-ethyl. Esses autores observaram que a fitointoxicação por diclosulam e imazethapyr variou de acordo com a textura do solo, sendo que a aplicação de diclosulam causou intoxicação nas plantas em solo com textura argilosa (72% de argila) quando a semeadura do híbrido ocorreu após 30 dias da sua aplicação, enquanto, em solo com textura média (32% de argila), isso ainda ocorreu após 60 dias no solo. Os mesmos autores não verificaram fitointoxicação por imazethapyr após 60 dias da aplicação em solo argiloso.

Em espécies sensíveis, os herbicidas inibidores do fotossistema II, causam, como sintomas iniciais, redução da taxa de fixação de CO₂ poucas horas após o tratamento com o herbicida e declina totalmente em 1 ou 2 dias, sem ocorrer recuperação; já em espécies tolerantes, a taxa de fixação não decai tão severamente a ponto de causar sintomas graves (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Os sintomas de injúria dos herbicidas que possuem esse mecanismo de ação que são aplicados na modalidade de pré-emergência das plantas daninhas como o metribuzin, só se iniciam após a emergência, ou seja, com o início da fotossíntese (UC IPM, 2020a). O metribuzin é absorvido tanto pela parte aérea quanto pelo sistema radicular, mas sua translocação ocorre somente via xilema nas plantas (UC IPM, 2020a). Em gramíneas sensíveis, o herbicida acumula-se no ápice das folhas, cujos sintomas, inicialmente, expressam-se por clorose e evoluem para necrose; em seguida, os sintomas progridem para a base do limbo foliar (UC IPM, 2020a).

No presente estudo, as plantas de milho, nos estádios iniciais de crescimento, apresentaram sintomas muito leves de intoxicação por metribuzin como clorose no ápice das folhas, mas sem evolução para necrose, além de um atraso no crescimento. Porém, ao longo do crescimento da cultura, houve total recuperação das plantas. Em estudo realizado em casa

de vegetação com solo de textura muito argilosa (72% de argila), pH H₂O 5,6 e 0,84% de matéria orgânica e outro de textura média (32% de argila), pH H₂O 5,8 e 1,34% de matéria orgânica como substrato e 262,5 mm de irrigação acumulada, Alonso et al. (2011) observaram que com semeadura de milho cv. DKB 390 YG, realizada aos 30 dias após a aplicação do metribuzin (480 g ha⁻¹), não houve intoxicação da cultura ocasionada pelo herbicida, exceto quando realizada imediatamente após a aplicação do herbicida.

O flumioxazin, inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), é absorvido pelas plântulas já nos estádios iniciais de crescimento, assim, ao emergir, a plântula absorve o herbicida e, ao entrar em contato com a luz solar, os tecidos sensíveis sofrem rapidamente necrose causada pelo processo de peroxidação de lipídeos, levando a planta à morte (MORELAND, 1999). Entretanto, muitas vezes, ocorre somente clorose foliar e/ou aparecimento de necrose em forma de mosqueado (pequenos pontos) (UC IPM, 2020c). Neste experimento, as plantas de milho apresentavam, nos estádios iniciais do crescimento, apenas sintomas muito leves, em que continham pontos necróticos nas folhas e redução do crescimento, mas com total recuperação ao longo do crescimento.

As variáveis relacionadas aos componentes de produção estão diretamente ligadas ao potencial produtivo da cultura. No presente estudo, embora tenha ocorrido fitointoxicação nos estádios iniciais de crescimento, o estande no momento da colheita, a altura de inserção da primeira espiga, o rendimento da cultura e os componentes de produção, excetuando-se o número de fileiras de grãos por espiga, não tiveram efeito dos herbicidas (Tabela 2.3). Com relação ao número de fileiras de grãos por espiga, houve interação entre a textura dos solos e os herbicidas, sendo que as espigas apresentaram menor quantidade de fileiras de grãos quando a cultura foi semeada após a aplicação de metsulfurom-methyl e chlorimuron-ethyl no solo com textura franco-arenosa em comparação ao solo com textura argilosa (Tabela 2.3). As plantas que foram cultivadas no solo com textura franco-arenosa apresentaram menor altura de inserção da espiga, número de espigas por planta e número de grãos por fileira, mas com maior estande e massa de 100 grãos que as cultivadas no solo com textura argilosa, fato que corroborou para que não diferissem quanto ao rendimento de grãos (Tabela 2.3).

No presente estudo, a cultura teve um rendimento médio de 4.817 Kg ha⁻¹. Tal resultado está abaixo dos obtidos em outros estudos realizados com esse híbrido, pois Araújo et al. (2016) obtiveram um rendimento de 6.981 Kg ha⁻¹ em estudo de desempenho agrônomico de híbridos de milho na região sudeste de Goiás, enquanto Cardoso et al. (2018) constatarem um rendimento de 9.453, 5.160, 10.016, 6.821, 9.711 e de 6.195 Kg ha⁻¹ de grãos

desse híbrido em regiões agrícolas do Meio-Norte brasileiro. Além do rendimento, no presente estudo, a cultura apresentou menor altura de inserção da espiga, número de fileiras por espiga e massa de 100 grãos e maior comprimento das espigas e número de grãos por fileira que os obtidos por Araújo et al. (2016) e Cardoso et al. (2018). Essas diferenças entre os resultados obtidos e aqueles encontrados na literatura se devem, provavelmente, ao estande menor do que o recomendado para esse híbrido e ao processo de interação genótipo ambiente (HERRERO & JOHNSON, 1981; MATZENAUER & FONTANA, 1987; BERGONCI & BERGAMASCHI, 2002; BERGAMASCHI et al., 2006; BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014).

Vários fatores podem interferir na degradação de um herbicida aplicado ao solo, os quais podem levar a resultados diferentes dos obtidos neste estudo, como os obtidos por Alonso (2011, 2013). Características físico-químicas do solo e do herbicida, atividade microbiana, temperatura e precipitação são os fatores que interferem na dissipação de herbicidas aplicados ao solo (BOLLAG & Liu, 1990; HORNSBY et al., 1995; RICE et al., 2004; STENROD et al., 2006; BENDING & RODRIGUEZ-CRUZ, 2007). Além disso, outro fator que pode interferir na dinâmica de um herbicida aplicado ao solo é a presença de palhada na sua superfície, pois, quando interceptado por essa, o herbicida fica vulnerável ao processo de fotodecomposição, volatilização ou ser sorvido pelo material vegetal (APPLEBY & DAWSON, 1994; LOCKE & BRYSON, 1997).

A dinâmica dos herbicidas inibidores da ALS avaliados neste estudo no ambiente é influenciada pelas características físico-químicas, propriedades do solo e pelas condições climáticas (PONS & BARRIUSO, 1998; WANG et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2001; BERGLÖF et al., 2003; KAH & BROWN, 2007). No caso de metsulfurom-methyl, a degradação microbiana é o principal processo de degradação desse herbicida no solo (SARMAH & SABADIE, 2002; ZANARDINI et al., 2002; BOSCHIN et al., 2003; YU et al., 2005; BERGER & WOLFE, 1996; HE et al., 2006; BROWN, 1990), embora a hidrólise seja um processo significativo (BERGER & WOLFE, 1996). As perdas por fotodegradação e volatilização (pressão de vapor de $2,5 \times 10^{-12}$ mm Hg) são consideradas insignificantes (BROWN, 1990; BRASCHI et al., 2000; ANDERSEN et al., 2001; SI et al., 2005).

O pH da solução do solo influencia em seu estado de ionização, tendo efeito direto sobre a sua sorção, degradação e seu tempo de meia vida ($T_{1/2}$) (BROWN, 1990; PONS & BarRIUSO, 1998; WANG et al., 2001; SARMAH & SABADie, 2002). Por ser um ácido fraco (pKa 3,75 a 25 °C) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018), em solos com valores de pH

maiores que seu pK_a , a forma aniônica prevalece em relação à forma neutra, forma do herbicida menos suscetível a sofrer hidrólise e com maior potencial de persistência no solo que a forma molecular (WANG et al., 2009).

Assim, pela predominância da forma aniônica na solução do solo (PONS & BARRIUSO, 1998) e por possuir solubilidade em água de 270 mg L^{-1} (BEYER et al., 1988), o metsulfurom-methyl é potencialmente lixiviável no perfil do solo (SARMAH et al., 2000; HOLLAWAY et al., 2006; WANG et al., 2009; DELGADO-MORENO et al., 2007), podendo também sofrer degradação microbiana ou hidrólise (KOTOULA-SYKA et al., 1993; PONS & BARRIUSO, 1998; KAH & BROWN, 2007). Com isso, diminui-se o risco de causar intoxicação nas culturas implantadas em sucessão ou rotação.

A sorção do chlorimuron-ethyl aumenta com o incremento de matéria orgânica (GOETZ et al., 1989; REDDY et al., 1995; WEI et al., 2007) e de argila (WEI et al., 2007). Com relação ao pH da solução, por ser um ácido fraco ($pK_a = 4,2$) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018), a sua sorção diminui com o aumento do pH do solo (GOETZ et al., 1989; REDDY et al., 1995; REN et al., 2011; REN et al., 2014), pois, em solos com valores de pH maior que seu pK_a , a forma aniônica do herbicida prevalece nesses solos. O pH também influencia na solubilidade e no valor K_{ow} do herbicida, em pH 5, a solubilidade em água de metsulfurom-methyl é de 450 mg L^{-1} (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018), já, em pH 7, a solubilidade aumenta para 1.200 mg L^{-1} (BEYER et al., 1988; RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Nesses valores de pH, apresenta valor de K_{ow} de 320 e 2,3, respectivamente (BEYER et al., 1988; RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Assim, em solos com baixo teor de matéria orgânica, de argila e com valores de pH acima 4,2, o chlorimuron-ethyl demonstra grande potencial de sofrer lixiviação no perfil do solo (BRIGGS et al., 1981; AFYUNI et al., 1997). Entretanto, o principal processo de dissipação do chlorimuron-ethyl, além da lixiviação, é a degradação microbiana (MOHANA et al., 2007; MA et al., 2009; ZHANG et al., 2009, 2010; ZHANG et al., 2011; LI et al., 2011; SHARMA et al., 2012; YANG et al., 2014; LI et al., 2016). A perda por volatilização é considerada insignificante ($5 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ a 25°C). A fotodegradação não é tão significativa e ocorre no comprimento de onda de 270 nm (CHOUDHURY & DUREJA, 1997).

Tabela 2.3: Estande (plantas m⁻¹) (EC) e altura (m) de inserção da primeira espiga (AIE) na colheita, espigas por planta (EP), diâmetro (DE) e comprimento da espiga (CE), fileiras de grãos por espiga (FE), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100) e rendimento (Rend) do milho hib. Syngenta Feroz Viptera[®] 3 (kg ha⁻¹), semeado aos 90 dias (entressafra) da aplicação de herbicidas com atividade residual no manejo outonal de *Conyza* spp (buva). Piracicaba-SP, 2020.

Herbicida	EC (plantas m ⁻¹)	AIE (m)	EP	DE (cm)	CE (cm)	FE	GF	M100 (g)	Rend (kg ha ⁻¹)
						ARE	ARG		
Chlorimuron-ethyl	2,50	0,94	1,57	3,96	14,30	14,40 Aa	15,41 Ab	33,20	4.866,07
Diclosulam	2,65	0,86	1,50	3,97	14,33	14,46 Aa	14,82 Aa	32,28	4.143,90
Imazethapyr	2,53	0,91	1,49	4,08	14,40	14,86 Aa	15,30 Aa	34,09	4.783,98
Metsulfurom-methyl	2,50	0,93	1,60	4,14	14,79	14,80 Aa	15,63 Ab	34,35	5.080,40
Metribuzin	2,75	0,94	1,60	4,17	14,91	14,73 Aa	15,35 Aa	34,38	5.130,33
Flumioxazin	2,62	0,89	1,57	4,03	14,24	15,16 Aa	15,20 Aa	32,92	5.012,36
Testemunha	2,62	0,90	1,55	4,02	13,81	14,95 Aa	15,73 Aa	31,85	4.910,36
Textura									
Argilosa	2,48A	1,00B	1,61B	-	-	-	-	34,41B	18,50A
Franco-arenosa	2,71B	0,82A	1,50A	-	-	-	-	32,18A	23,88B
F Bloco	0,30 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,08 ^{**}	0,35 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,05 ^{ns}
F Herbicida	0,79 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,72 ^{ns}
F Textura	0,02*	0,00**	0,03 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,78 ^{ns}
F Herbicida x Textura	0,94 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,01*	0,57 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,34 ^{ns}
DMS	0,19	0,03	0,10	-	-	-	-	1,18	22,93
CV (%)	14,19	7,63	12,31	4,71	6,05	3,73	6,58	20,01	24,96

ARE: textura franco-arenosa. ARG: textura argilosa. CV: coeficiente de variação; ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). ^{**} significativo pelo teste F ($p < 0,01$). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey ($p < 0,05$). À exceção do estande e do rendimento, todas as demais variáveis foram transformadas pela função $\sqrt{x}$.

Por ser um ácido fraco (pK_a 4,09 a 20 °C) (YODER, 1996), o diclosulam, quando aplicado na maioria dos solos agricultáveis, encontra-se na forma aniônica. Além de seu estado de ionização, o pH da solução interfere na sua solubilidade, hidrofobicidade e na sua persistência no solo, pois em pH 5 apresenta solubilidade em água de 100 mg L⁻¹, já em pH 7, a sua solubilidade aumenta para 4.000 mg L⁻¹ (YODER., 1996); em pH 5, apresenta valor de log Kow de 1,42 e em pH 9, o valor do Kow decai para -0,448, tornando-o ainda mais hidrofílico (YODER., 1996).

Quanto o $T_{1/2}$ do diclosulam, Yoder et al. (2000) estudaram a sua degradação em nove solos oriundos da Argentina, Estados Unidos e do Brasil e obtiveram $T_{1/2}$ entre 16 a 54 dias. Zabik et al. (2001) obtiveram $T_{1/2}$ entre 33 a 77 dias e Lavoretti et al. (2003) verificaram um $T_{1/2}$ de 67 dias no sistema de plantio direto e de 87 dias no sistema convencional. No solo, o diclosulam é degradado a OH diclosulam, 8-Cl diclosulam, 5-hydroxy-7-flouro[1,2,4]triazolo[1,5-c]pyrimidine-2-sulfonic acid (TPSA), 5-hydroxy-7-flouro[1,2,4]triazolo-[1,5-c]pyrimidine-2-sulfonamide (ASTP) e N-(2,6-dichlorophenyl)-3-[1,2,4]-triazoloacetic acid-5-sulfonamide (TAAA) pelo processo de degradação microbiana, fotólise e hidrólise (ZABIK et al., 2001). A perda por volatilização não é tão significativa (pressão de vapor de 5 x 10⁻¹⁵ mm Hg a 25 °C) (YODER, 1996).

O pH é o fator que mais influencia a sorção de imazethapyr no solo (CHE et al., 1992; GOETZ & Lavy, 1988; LOUX et al., 1989; MANGELS, 1991; OLIVEIRA et al., 1999; RENNER et al., 1988; STOUGAARD et al., 1990). O imazethapyr possui comportamento anfótero (PUSINO et al., 1997), pois apresenta um valor de pK_a de 3,9 (RENNER et al., 1988; STOUGAARD et al., 1990; WORTHING & HANCE, 1991) e um valor de pK_b de 2,1 (WORTHING & HANCE, 1991; WEPPLLO, 1991). Assim, quando aplicado em solos com valores de pH maiores que 3,9, uma grande parte de suas moléculas encontra-se na forma aniônica que, por apresentar carga negativa, são repelidas pelos colóides do solo (CHE et al., 1992; GREEN, 1974; WEED & WEBER, 1974; RENNER et al., 1988; LOUX et al., 1989; STOUGAARD et al., 1990; NEGRE et al., 2001; BRESNAHAN et al., 2002; LIU et al., 2018), ficando, na solução, para serem lixiviadas no perfil do solo (solubilidade em água de 1.400 mg L⁻¹ a 25 °C em pH 7) (REFATTI et al., 2017; RODRIGUES & ALMEIDA, 2018; JOURDAN, 1998; KRAEMER et al., 2009; MARTINI et al., 2011; BATTAGLIN et al., 2000; MADANI et al., 2003) ou serem degradadas (REGITANO et al., 2002; REFATTI et al., 2014). Em solos com valores de pH mais baixos, grande parte das moléculas encontram-se na forma molecular ou protonada, as quais tem maior afinidade pelos colóides do solo (CHE et

al., 1992; RENNER et al., 1988; WEPPLÖ, 1991; MADANI et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2004; SINGH et al., 1990; STOUGAARD et al., 1990; LOUX & REESE, 1993; GENNARI et al., 1998; OUFQIR et al., 2013). Com isso, a sorção do imazethapyr, no solo, aumenta com a diminuição do pH da solução (CHE et al., 1992; GOETZ & LAVY, 1988; LOUX et al., 1989; OLIVEIRA et al., 1999; RENNER et al., 1988; STOUGAARD et al., 1990) e, consequentemente, há um aumento de sua persistência no solo (LOUX & REESE, 1993; BRESNAHAN, 2000).

A sorção do imazethapyr no solo aumenta com o incremento de matéria orgânica (STOUGAARD et al., 1990; CHE et al., 1992; SENESI et al., 1997; GENNARI et al., 1998; NE`GREET al., 2001; BÖRJESSON et al., 2004) e de argila (GOETZ et al., 1990; LOUX et al., 1989). Consequentemente, a sua persistência aumenta em solos que contém maiores teores desses dois coloides (CHE et al., 1992; GOETZ & LAVY, 1988; LOUX et al., 1989a; MANGELS, 1991; OLIVEIRA et al., 1999; STOUGAARD et al., 1990). O $T_{1/2}$ varia entre 30 a 43 dias (XU et al., 2013). Loux et al. (1989) constataram, em estudo de dissipação, que aproximadamente 80% das moléculas do imazethapyr são degradadas com 60 dias após aplicação e o restante pode permanecer no solo por um período superior a 160 dias.

Em sistema de preparo convencional, situação em que seria mais importante o manejo outonal da buva, o herbicida imazethapyr apresenta maior potencial de lixiviação em solos do que sob sistema de plantio direto, isso se deve ao sistema convencional conter menor teor de matéria orgânica (MILLS & WITT, 1989; KRAEMER et al., 2009). Com relação à sua dissipação, a degradação microbiana é considerada como o principal processo de degradação do imazethapyr no solo e seria, provavelmente, menor no sistema convencional do que em sistema plantio direto (SHANER & O'CONNOR, 1991; LOUX & REESE, 1993; FLINT & WITT, 1997; HAN et al., 2008; ZHANG et al., 2010; SAHA et al., 2016). A perda por volatilização não é tão significativa (pressão de vapor de $1,3 \times 10^{-5}$ Pa) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

Em ambos os experimentos, os valores de pH do solo (4,9 e 5,75) se encontravam acima do valor de pKa do metsulfurom-methyl (pKa 3,70), chlorimuron-ethyl (pKa= 4.2), diclosulam (pKa 4,09) e do imazethapyr (pKa 3,90). Assim, a forma aniônica desses herbicidas prevaleceu na solução do solo durante o período de entressafra (90 dias) para ser degradada ou lixiviada para camadas mais profundas do solo, pois, durante esse período, houve um acumulado de 300 mm de precipitação. Isso fez com que a concentração desses herbicidas no solo diminuísse o suficiente para causar somente leves sintomas de intoxicação

na cultura do milho.

Com relação ao metsulfurom-methyl, Carvalho et al. (2015) avaliaram o efeito da textura do solo (solo argiloso: 59% de argila, 28 g dm⁻³ M.O. e pH (CaCl₂) 5,7; solo arenoso: 13,2% de argila, 24 g dm⁻³ M.O. e pH (CaCl₂) 5,5), regime de irrigação (irrigação diária: 5 mm, intermitente: 5 mm por semana e sem irrigação) e intervalo entre sua aplicação (30, 60 e 90 dias) (3,96 g ha⁻¹) e a semeadura de milho. Os autores constataram que a semeadura da cultura aos 90 dias após a aplicação do herbicida, independente da textura do solo, tanto para a irrigação diária quanto à intermitente, ocasionou apenas sintomas leves de fitointoxicação aos 7 e 14 dias após a emergência e sem reduzir a massa de matéria seca das plantas em avaliação realizada aos 21 dias após a emergência da cultura. Os autores atribuíram a baixa fitotoxicidade do herbicida ao processo de degradação microbiana e à lixiviação da molécula no solo. Estudando o efeito de doses de metsulfurom-methyl (3,6 e 7,2 g ha⁻¹) sobre os híbridos de milho AS 1560, DAS 2B710, AG 9010 e P 30F98, Santos et al. (2009) observaram redução no acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas aos 20 dias após a semeadura, quando a cultura foi semeada aos 90 dias após a aplicação do herbicida.

Alguns estudos de *carryover* de chlorimuron-ethyl demonstraram que a semeadura da cultura do milho realizada aos 30 (ARTUZI & CONTIERO, 2006), 94 (DAN et al., 2011) e 120 dias (RIBEIRO et al., 2018) após aplicação do herbicida na cultura da soja não causou redução no rendimento, tendo somente, em alguns casos, ocorrido fitointoxicação nos estádios iniciais da cultura. Resultados semelhantes foram obtidos por Curran et al. (1991) em vários ensaios de *carryover* de chlorimuron-ethyl sobre a cultura do milho.

Estudos têm sido conduzidos para avaliar o efeito *carryover* ou um período mínimo entre a aplicação do diclosulam e a semeadura da cultura do milho que não afete negativamente a cultura. Em estudo realizado por Pereira et al. (2000), a semeadura da cultura após 60 dias da aplicação do diclosulam não causou intoxicação às plantas, enquanto, em outros estudos, o milho semeado aos 90 (ARTUZI & CONTIERO, 2006; SOUZA et al., 2019) e 120 dias (RIBEIRO, 2018) após aplicação do herbicida em pré-emergência na cultura da soja, houve somente fitointoxicação nos estádios iniciais da cultura. Já DAN et al. (2012) observaram efeito *carryover* após 115 dias da aplicação do herbicida.

Por fim, estudos de *carryover* de imazethapyr sobre a cultura do milho mostram que a semeadura ocorrendo 60 (ARTUZI & CONTIERO, 2006), 90 (MILLS & WITT, 1989; GAZZIERO et al., 1997; ULBRICH et al., 1998) e 120 dias (SILVA et al., 1999) após

aplicação do herbicida na cultura da soja não causa redução no rendimento grãos, havendo, em alguns casos, apenas fitointoxicação nos estádios iniciais. Contudo, em estudo realizado por Dan et al. (2012), a semeadura do milho após 97 e 115 após a aplicação de imazethapyr na soja causou fitointoxicação inicial e redução no rendimento do milho.

No Brasil, recomenda-se um período mínimo de 70 dias entre a aplicação de metsulfurom-methyl e a semeadura do milho (FMC, 2020). Já, nos Estados Unidos da América, o intervalo de tempo varia de estado para estado, sistema de produção, pH do solo, dose e precipitação acumulada (380 a 860 mm). Com isso, o intervalo mínimo entre a aplicação e a semeadura varia entre de 4 a 34 meses (FMC, 2021). Quanto ao chlorimuron-ethyl, recomenda-se respeitar um período mínimo de 60 dias (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Já para o diclosulam, não há recomendação de um período mínimo entre a aplicação do herbicida e a semeadura do milho (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Contudo, para a cultura do sorgo, do girassol e de brássicas, recomenda-se não cultivá-las em sucessão à soja quando o herbicida é aplicado na cultura. No caso do girassol, recomenda-se o cultivo somente após 18 meses da aplicação do herbicida (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). O herbicida imazethapyr é registrado para uso na cultura da soja, amendoim, arroz irrigado, feijão e em pastagem (AGROFIT, 2021). No que se refere a semeadura da cultura do milho em sucessão ou rotação a essas culturas após aplicação do herbicida, algumas bulas não apresentam nenhuma restrição quanto à semeadura da cultura, outras restringem o cultivo ou recomendam a utilização de milho resistente ao herbicida (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

O herbicida metribuzin tem como características físico-químicas alta solubilidade em água (1.050 mg L^{-1}) (KJÆR et al., 2005; MALOSCHIK et al., 2007), Kow de 44,7 e um Koc médio de 60 mL g^{-1} (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Possui maior afinidade pela matéria orgânica em relação à argila e, com isso, sua sorção no solo aumenta com o aumento do teor desses dois coloides (HARPER, 1988; MEHDIZADEH et al., 2019) e diminui com o aumento do pH (pK_a 1,0) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). No entanto, sua sorção a esses coloides é considerada fraca (PETER & WEBER, 1985; JOHNSON, 2001). Por ter alta solubilidade e um Koc médio de 60 mL g^{-1} , o metribuzin apresenta maior potencial de sofrer lixiviação em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica e diminui em solos argilosos com alto teor de matéria orgânica (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

No solo, a degradação química e a degradação microbiana são os dois processos mais importantes na dissipação do metribuzin, sendo a degradação microbiana o processo mais

importante (BUGGARD et al., 1993; MULBAH et al., 2000; BOREEN et al., 2003; LIN & REINHARD, 2005; MAQUEDA et al., 2009; MEHDIZADEH et al., 2019), cujo $T_{1/2}$ pode variar entre 30 a 60 dias dependendo das condições edafoclimáticas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). As perdas por fotodegradação e volatilização [$1,6 \times 10^{-5}$ Pa (20 °C)] são insignificantes (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

Mesmo contendo características físico-químicas que facilitam sua dissipação no solo, o metribuzin pode causar fitointoxicação às culturas sensíveis implantadas em sucessão. Gonçalves et al. (2018) estudaram o efeito do residual do metribuzin (720 g ha^{-1}) aplicado 120 dias antes da semeadura da cultura do milho e constataram redução da massa da matéria seca da parte aérea das plantas e do rendimento de grãos da cultura. No Brasil, não há recomendação de um período mínimo entre a aplicação do metribuzin e a semeadura da cultura do milho, mas, nos Estados Unidos da América, recomenda-se respeitar no mínimo um período de 4 meses (DEVLIN et al., 1992).

Por fim, o herbicida flumioxazin possui $T_{1/2}$ entre 11,9 a 32,1 dias (EPA, 2001; ENCILL, 2002; FERRELL & VENCILL, 2003; ALISTER et al., 2008; MUELLER et al., 2014); solubilidade em água de $1,79 \text{ mg L}^{-1}$ (25 °C) (EPA, 2001; MUELLER et al., 2014), a qual não é afetada pelo pH do meio (MUELLER et al., 2014), pois é um herbicida que não se ioniza (pKa zero) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018); possui valor de log Kow de 2,55 (25 °C) (FERRELL et al., 2005) e de Kd de 3,8 (FERRELL et al., 2003), assim, o herbicida flumioxazin apresenta baixo potencial de sofrer lixiviação no solo (EPA, 2001). Com isso, sua dissipação no solo ocorre por reações de hidrólise e, principalmente, por degradação microbiana (EPA, 2001; ALISTER et al., 2008). A sorção de flumioxazin no solo aumenta com o incremento do teor de matéria orgânica e de argila, porém a sua interação com esses coloides é relativamente fraca (FERRELL et al., 2005), pois em condições de alta umidade torna-se prontamente disponível na solução para ser degradado, absorvido pelas plantas ou sofrer lixiviação (FERRELL et al., 2013). Isso o caracteriza como um herbicida de pouca persistência no solo (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). As perdas por volatilização não são tão significativas (pressão de vapor de $2,41 \times 10^{-6}$ mm Hg) (EPA, 2001),

No Brasil, o herbicida flumioxazin possui registro para a cultura do milho, o qual é recomendado para o manejo de dessecação de pré-semeadura da cultura na dose de 40 g ha^{-1} , sendo possível realizar a semeadura um dia após a aplicação do herbicida (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Também possui registro para o manejo outonal de buva com recomendação de 60 g ha^{-1} , porém, nessa dose e modalidade de uso, recomenda-se respeitar

um intervalo mínimo de 14 dias entre a aplicação do herbicida e a semeadura da cultura do milho (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). No presente estudo, o herbicida foi aplicado na dose de 125 g ha⁻¹ e, mesmo aplicando o dobro da dose recomendada, o flumioxazin causou apenas sintomas leves de fitointoxicação à cultura. Mesmo aplicando uma dose menor (90 g ha⁻¹) e a semeadura sendo num período maior (120 dias) que o presente estudo, Gonçalves et al. (2018) constataram redução da matéria seca da parte aérea das plantas e redução no rendimento da cultura de milho. Todavia, quando aplicado numa dose menor (25 g ha⁻¹) aos 115 dias antes da semeadura do milho, causou apenas sintomas muito leves de fitointoxicação, sem comprometer o rendimento da cultura (DAN et al., 2012). Essas diferenças quanto à seletividade, *carryover* e efeito de resíduos do flumioxazin sobre a cultura do milho se deve, principalmente, à dose aplicada e às diferenças que existem no teor de matéria orgânica e textura entre os solos.

Nas Tabela 2.2 e 2.3, nota-se que houve efeito da textura do solo sobre algumas variáveis analisadas. No solo de textura argilosa, a cultura apresentou menor estande de plantas no estágio inicial (Tabela 2.2) e no momento da colheita (Tabela 2.3) em relação ao solo de textura franco-arenosa. Nesse solo, as plantas de milho também apresentaram maior nível de intoxicação comparada às que se encontravam no solo de textura franco-arenosa na avaliação realizada aos 14 dias após a semeadura. Um dos fatores que pode ter corroborado para ocorrência desses resultados é que a sorção de todos os herbicidas avaliados aumenta com o incremento do teor de argila e de matéria orgânica, com isso, provavelmente, a sorção desses herbicidas foi maior no solo argiloso, mesmo não contendo alto teor de matéria orgânica (1,6 %), o que resultou em maior persistência deles nesse solo. Esse fato culminou na redução do estande e em maior fitointoxicação nos estádios iniciais da cultura.

Na avaliação realizada aos 28 dias após a semeadura, as plantas no solo de textura franco-arenosa apresentaram maior fitointoxicação em comparação às do solo argiloso (Tabela 2.2). Isso se deve, possivelmente, à restrição hídrica ocorrida nos estádios iniciais de crescimento da cultura e, devido à baixa capacidade de armazenamento de água dos solos arenosos, houve maior estresse hídrico nas plantas de milho cultivadas nesse solo (DOGAN et al., 2007; AFZAL et al., 2014). Corroborando, assim, para maior fitointoxicação das plantas (ROMAN et al., 2005). Isso também corroborou para a redução da altura de inserção da espiga, número de espiga por planta e número de grãos por fileira das plantas (Tabela 2.3), embora tenham apresentado maior massa de 100 grãos (Tabela 2.3). Em relação ao maior número de fileiras de grãos por espiga, houve efeito negativo somente quando a cultura foi

semeada após aplicação do metsulfurom-methyl e do chlorimuron-ethyl no solo de textura franco-arenosa (Tabela 2.3).

2.4 CONCLUSÃO

A semeadura da cultura do milho aos 90 dias da aplicação do metsulfurom-methyl (3,6 g ha⁻¹), metribuzin (480 g ha⁻¹), diclosulam (33 g ha⁻¹), chlorimuron-ethyl (20 g ha⁻¹), imazethapyr (100 g ha⁻¹) e do flumioxazin (125 g ha⁻¹) e um acumulado de 300 mm de precipitação causa apenas sintomas muito leves a leves de fitointoxicação nos estádios fenológicos iniciais sem reduzir o rendimento.

Não há efeito da textura do solo sobre os resíduos dos herbicidas residuais utilizados no manejo outonal de buva.

REFERÊNCIAS

AFYUNI, M. M.; WAGGER, M. G.; LEIDY, R. B. Runoff of two sulfonylurea herbicides in relation to tillage system and rainfall intensity, **Journal of Environmental Quality**, v. 26, 1997.

AFZAL, A.; GULZAR, I.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Water deficit-induced regulation of growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, inorganic nutrient accumulation and antioxidative defense mechanism in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. **Journal of Applied Botany and Food Quality**. v. 87, p. 147-156, 2014.

AGROFIT - SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIOS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2021. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 18 Jan 2021.

ALISTER, C.; ROJAS, S.; GÓMEZ, P.; KOGAN, M. Dissipation and movement of flumioxazina in soil at four field sites in Chile. **Pest Management Science**, v. 64, p. 579-583, 2008.

ALONSO, D. G.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; KOSKINEN, W. C.; OLIVEIRA NETO, A. M.; DAN, H. A. & GUERRA, N., Carryover potencial of herbicides used for *Conyza* sp. control. In: **Proceedings of 2011 Weed Science Society of America Annual Meeting**. Portland, USA: Weed Science Society of America, p. s.p., 2011.

ALONSO, D. G.; OLIVEIRA JR.; R. S. DE; CONSTANTIN, J. Potencial de *Carryover* de Herbicidas com atividade residual usados em manejo outonal. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR.; R. S. DE. OLIVEIRA NETO, A. M. DE. **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba, PR: Omnipax, 2013.

ANDERSEN, M. C. Diaspore morphology and seed dispersal in several wind-dispersed Asteraceae. **American Journal of Botany**, v. 80, p. 487-492, 1993.

ANDERSEN, S. M.; HERTZ, P. B.; HOLST, T.; BOSSI, R.; JACOBSEN, C. S. Mineralisation studies of ¹⁴C-labelled metsulfuron-methyl, tribenuron-methyl, chlorsulfuron and thifensulfuron-methyl in one Danish soil and groundwater sediment profile. **Chemosphere**, v. 45, p. 775-782, 2001.

APPLEBY, A. P.; DAWSON, J. H. Microbial and non-microbial breakdown of herbicides in soil. In: Intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soils. West Lafayette, USA: Purdue University, Departments of Horticulture, Agronomy, **Botany and Plant Pathology**, and Forestry and Natural Resources, 1994.

ARAÚJO, L. DA S.; SILVA, L. G. B.; SILVEIRA, P. M. DA.; RODRIGUES, F.; LIMA, M. L. DA P.; CUNHA, P. C. R. DE. Desempenho agrônômico de híbridos de milho na região sudeste de Goiás. **Revista Agroambiente On-line**, v. 10, p. 334-341, 2016.

ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L.; Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, p. 1119-1123, 2006.

BATTAGLIN, W. A.; FURLONG, E. T.; BURKHARDT, M. R.; PETER, C. J. Occurrence of sulfonylurea, sulphonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. **Science Total Environmental**, v. 248, p.123-33, 2000.

BALKE, N. E. Herbicide effects on membrane functions. In: DUKE, S. O. **Weed Physiology**. Boca Raton, EUA: CRC Press, v. 2, p. 113-139, 1985.

BENDING, G. D.; RODRIGUEZ-CRUZ, M. S. Microbial aspects of the interaction between soil depth and biodegradation of the herbicide isoproturon. **Chemosphere**, v. 66, p. 664-671. 2007.

BERGAMASCHI, H. DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 243-249, 2006.

BERGLÖF, T.; KOSKINEN, W. C.; DUFFY, J. M.; NORBERG, K. A.; KYLIN, H. Metsulfuron methyl sorption-desorption in field-moist soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51: p. 3598-3603, 2003.

BERGER, B. M.; WOLFE, N. L. Hydrolysis and biodegradation of sulfonylurea herbicides in aqueous buffers and anaerobic water-sediment systems: assessing fate pathways using molecular descriptors. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 15, p. 1500-1507, 1996.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. - Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H. Ecofisiologia do milho. In: **Congresso nacional de milho e SORGO**, 24., 2002, Florianópolis. Anais... Florianópolis, SC: ABMS/EMBRAPA/EPAGRI, 2002.

BEYER, E. M.; DUFFY, M. J.; HAY, J. V.; SCHLUETER, D. D. Sulfonylureas. In: KEARNEY, P. C.; KAUFMAN, D. D. **Herbicide chemistry degradation and mode of action**. Dekker, New York, p 118-183, 1988.

BEYER, E. M. JR.; DUFFY, M. J.; HAY, J. V.; SCHLUETER, D. D. Sulfonylureas. In: **Herbicides: Chemistry, Degradation, and Mode of Action**, Kearney, P. C.; Kaufman, D. D. Dekker, 1988.

BHOWMIK P. Common and chemical names of herbicides approved by the Weed Science Society of America. **Weed Science**, v. 48, p. 786-792, 2000.

BOREEN, A. L.; ARNOLD, W. A.; MCNEILL, K. Photodegradation of pharmaceuticals in the aquatic environment: a review. **Aquatic Sciences**, V. 65, p. 320-341, 2003.

BRIGGS, G. G. Theoretical and experimental relationships between soil adsorption, octanol-water partition coefficients, water solubilities, bioconcentration factors, and the parachor. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 29, p. 1050-1059, 1981.

BLAIR, A. M.; MARTIN, T. D. A review of the activity, fate and mode of action of sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, V. 22, p. 195-218, 1988.

BLAINSKI, E.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; BIFFE, D. F.; RAIMONDI, M. A.; BUCKER, E. G.; GHENO, E., Eficácia de alternativas herbicidas para o controle de buva (*Conyza bonariensis*). In: **Resumos do 5o Congresso Brasileiro de Soja**. Goiânia, GO: FUNEP, p. 54, 2009.

BHOWMIK, P. C.; BEKECH, M. M. Horseweed (*Conyza canadensis*) seed production, emergence, and distribution in no-tillage and conventional tillage corn (*Zea mays*). **Agronomy**, v.1, p.67-71, 1993.

BOLLAG, J. M.; LIU, S. Y. Biological transformation processes of pesticides. In: CHENG, H. H. **in the soil environment: Processes, impacts, and modeling**. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1990.

BOSCHIN, G.; AGOSTINA, A. D.; ARNOLDI, A.; MAROTTA, E.; ZANARDINI, E.; NEGRI, M.; VALLE, A.; SORLINI, C. Biodegradation of chlorsulfuron and metsulfuron-methyl by *Aspergillus niger* in laboratory conditions. **Journal of Environmental Science and Health**, V. 38, p. 737-746, 2003.

BÖRJESSON, E.; TORSTENSSON, L.; STENSTRÖM, J. The fate of imazapyr in a Swedish railway embankment. **Pest Management Science**, v. 60, p. 544-549, 2004.

BRESNAHAN, G. A.; KOSKINEN, W. C.; DEXTER, A. G.; LUESCHEN, W. E. Influence of Soil pH Sorption Interactions on Imazetapir Carry-over. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 48, p. 1929-1934, 2000.

BRESNAHAN, G.; DEXTER, A.; KOSKINEN, D.; LUESCHEN, W. Influence of soil pH-sorption interactions on the carry-over of fresh and aged soil residues of imazamox. **Weed Research**, V. 42, p. 45-51, 2002.

BRASCHI, I.; PUSINO, A.; GESSA, C.; BOLLAG, J. M. Degradation of primisulfuron by a combination of chemical and microbiological process.. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 48, p. 2565-2571, 2000.

BROWN, H. M. Modes of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, V. 29, p. :263-281, 1990.

BUGGARD, D. J., KOSKINEN, W. C.; DOWDY, R. H.; CHENG, H. Metolachlor distribution in a sandy soil under irrigated potato production. **Weed Science**, V. 41, p. 648-655, 1993.

CARVALHO, S. J. P.; SOARES, D. J.; LOPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Soil persistence of chlorimuron-ethyl and metsulfuron-methyl and phytotoxicity to corn seeded as a succeeding crop. **Planta Daninha**, v. 33, p. 331-339, 2015.

CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L. DE.; ROCHA, K. M. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; JÚNIOR, A. S. DE A.; MELO, F DE B. **Cultivares comerciais de milho em ambientes do Meio-Norte brasileiro**. Comunicado técnico: 241, Teresina, PI Fevereiro, 2018.

CHE, M.; LOUX, M. M.; TRAINA, S. J.; LOGAN, T. J. Effect of pH on sorption and desorption of imazaquin and imazetapir on clays and humic acid. **Journal of Environmental Quality**, V. 21, p. :698-703, 1992.

CHOUDHURY, P. P.; DUREJA, P. Studies on Photodegradation of Chlorimuron-Ethyl in Soil. **Journal of Pesticide Science**, V. 51, 1997.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S. de.; OLIVEIRA NETO, A. M. de; BLAINSKI, E.; GUERRA, N. Manejo da Buva na Entressafra. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR.; R. S. de. NETO, A. M. de O. **Buva: fundamentos e Recomendações para manejo**. Curitiba, PR: Ompix, 2013.

CURRAN, W. S.; KNAKE, E. L.; LIEBL, R. A. Corn (*Zea mays*) injury following use of clomazone, chlorimuron, imazaquin and imazetapir. **Weed Science**, V. p. 539-544, 1991.

DAN, H. DE A.; DAN, L. G. DE M.; BARROSO, A. L. DE L.; OLIVEIRA NETO, A. M. DE; GUERRA, N. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 86-91, 2012.

DAN, H. A.; BARROSO, A. L. L.; DAN, L. G. M.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JR., R. S.; SIMON, G. A.; MUNHOZ, D. M. Atividade residual de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, V. 29, p. 663-671, 2011.

DAN HESS, F., Mode of action of photosynthesis inhibitors. In: PURDUE UNIVERSITY, **Herbicide Action Course**. West Lafayette, EUA: CRC Press, p. 85-102, 1994.

DELGADO-MORENO, L. SÁNCHEZ, L.; CASTILLO, A.; POT, V.; PEÑA, A. Behavior of bensulfuron-methyl in an agricultural alkaline soil. **Journal of Environmental Science and Health**, V. 42, p. 241-248, 2007.

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

DEVLIN, D. L.; PETERSON, D. E.; REGEHR, D. L. **Residual Herbicides, Degradation, and Recropping Intervals**. Report C-707, Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Service, Manhattan, USA, 1992.

DOGAN, E.; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Field Crops Research**, v. 103, p. 154-159, 2007.

DURNER, J.; GAILUS, V.; BÖGER, P. New aspects on inhibition of plant acetolactate synthase depend on avin adenine dinucleotide. **Plant Physiology**, V. 95, p. 1144-1149, 1991.

FERRELL, J. A.; VENCILL, W. K. Flumioxazina soil persistence and mineralization in laboratory experiments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 51, p. 4719-4721, 2003.

FERRELL, J. A.; VENCILL, W. K.; XIA, K.; GREY, T. L. Sorption and desorption of flumioxazina to soil, clay minerals and ion- exchange resin. **Pest Management Science**, V. 61, p. 40-46, 2005.

FMC QUÍMICA DO BRASIL LTDA. **ALLY®**. 2020. Disponível em: <<https://www.fmcagricola.com.br/Content/Fotos/Bula%20-%20Ally.pdf>>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

FMC CORPORATION. **ALLY®. XP HERBICIDE**. 2021. Disponível em: <<https://ag.fmc.com/us/en/herbicides/ally-xp-herbicide>>. Acesso em: 07 Jan.. 2021.

FRANS, R., CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: southern weed science society. **Research Methods in Weed Science**. v.3, p.29-45, 1986.

GAZZIERO, D. L. P.; KARAN, D.; VOLL, E.; ULBRICH, A. Persistência dos herbicidas imazaquin e imazetapir no solo e os efeitos sobre plantas de milho e pepino. **Planta Daninha**, v. 15, 1997.

GENNARI, M.; NEGRE, M.; VINDROLA, D. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazetapir and imazaquin on soils and humic acids. **Journal of Environmental Science and Health**, V. 33, p. 547-567, 1998.

GONÇALVES, F. A. R.; MELO, C. A. D.; QUEIROZ, P. C. DE; ENDO, R. T.; SILVA, D. V. DA; REIS, M. R. DOS. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural Environmental Sciences**, v. 61, 2018.

GOETZ, A. J.; WALKER, R. H.; WEHTJE, G.; HAJEK, B. F. Sorption and mobility of chlorimuron in Alabama soils. *Weed Science*, V. S7, p. 428-433, 1989.

GOETZ, A. J.; LAVY, T. L. Mobility and sorptive properties of imazetapir in Arkansas soils. *Weed Science*, V. 41, p. 337, 1988.

GOETZ, A. J.; LAVY, T. L.; GBUR, E. E., J R. Degradation and field persistence of imazethapyr. *Weed Science*, V. 38, p. 421-428, 1990.

GREEN, R. E. Pesticide-clay-water interactions. In: GUENZI, W. D. *Pesticide in Soil and Water*. Ed. **Soil Science Society of American**, 1974.

HAN, L.; GUO, B.; FENG, J.; LU, X.; LIN, J. Study on the Enantioselective Degradation of Imazetapir in Soil by CE. *Chromatographia*, V. 68, p. 1071-1073, 2008.

HARPER, S. S. Sorption of metribuzim in the surface and surface soils of the Mississippi Delta Region. *Weed Science*, V. 36, p. 84-89, 1988.

HERRERO, M. P.; JOHNSON, R. R. Drought Stress and its effects on maize reproductive systems. *Crop Science*, Madison, v.21, p.105-110, 1981.

HEAP I. **Herbicide Resistant Hairy Fleabane Globally (*Conyza bonariensis*)**. 2020. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>>. Acesso em: 18 Nov. 2020a.

HEAP I. **Herbicide Resistant Horseweed Globally (*Conyza canadensis*)**. 2020. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>>. Acesso em: 18 Nov. 2020b.

HEAP I. **Herbicide resistant sumatran fleabane globally (*Conyza sumatrensis*)**. 2020. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>>. Acesso em: 18 Nov. 2020c.

HE, Y. H.; SHEN, D. S.; FANG, C. R.; ZHU, Y. M. Rapid biodegradation of metsulfuron-methyl by a soil fungus in pure cultures and soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, V. 22, p. 1095-1104, 2006.

HESS, F. D. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: HESS, F. D. **Pesticide interactions in crop protection**. CRC Press, Boca Raton, p. 13-34, 1993.

HORNSBY, A. G.; WAUCHOUPE, R. D.; HERNER, A. E. **Pesticide properties in the environment**. New York, Springer-Verlag, 1995.

HOLLAWAY, K. L.; KOOKANA, R. S.; NOY, D. M.; SMITH, J. G.; WIHELM, N. Persistence and leaching of sulfonylurea herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, V. 46, p. 1069-1076, 2006.

HRAC. **Mode of Action Classification**. 2020. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/Pages/HRACHerbicidePoster2020.pdf>>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

JOHNSON, A. B. Adsorption and Degradation of Metolachlor and Metribuzim in a No-Till System Under Three Winter Crop Covers. **Soil and Sediment Contamination**, V. 10, p. 525-537, 2001.

JOURDAN, S. W.; MAJEK, B. A.; AYENI, A. O. Imazetapir bioactivity and movement in soil. **Weed Science**, v. 46, p. 608-613, 1998.

KAH, M.; BROWN, C. D. Changes in pesticide adsorption with time at high soil to solution ratios. **Chemosphere**, V. 68, p. 1335-1343, 2007.

KJÆR, J.; OLSEN, P.; HENRIKSEN, J.; ULLUM, M. Leaching of metribuzim metabolites and the associated contamination of a sandy Danish aquifer. **Environmental Science & Technology**, V. 39, p. 8374-8381, 2005.

KOTOULA-SYKA, E.; ELEFTHEROHORINOS, I. G.; GAGIANAS, A. A.; SFICAS, A. G. Phytotoxicity and persistence of chlorsulfuron, metsulfuron-methyl, triasulfuron and tribenuron- methyl in three soils. **Weed Research**, v. 33, p. 355-367, 1993.

KRAEMER, A. F.; MARCHESANI, E.; GROHS, M.; AVILA, L. A. DE; MACHADO, S. L. DE O.; ZANELLA, R.; MASSONI, P. F. S.; SARTORI, G. M. S. Lixiviação do imazetapir em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. **Cuenca Rural**, v. 39, 2009.

LABONNE, V.; CAPOU, J. La flumioxazina e, nouvelle matire active pour le dsherbage de la vigne. **Phytoma**, V. 501, p. 52-54, 1998.

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 Ciência Solo**, V. 27, p. 183-190, 2003.

LEE, H. J.; DUKE, S. O. Protoporphyrinogen IX-oxidizing activities involved in the mode of action of peroxidizing herbicides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 42, p. 2610-2618, 1994.

LI, C. Y.; XU, C. H.; PAN, J. B.; CHENG, X. S.; XIONG, M. H. Isolation of a chlorimuron-ethyl degradation bacterium and its bioremediation in contamination soil. **Bioinformatics and biomedical engineering**, 2011.

Li, C. Y.; ZANG, H. L.; YU, Q.; LV, T. Y.; CHENG, Y.; CHENG, X. S.; LIU, K. R.; LIU, W. J.; XU, P. P.; LAN, C. Z. Biodegradation of chlorimuron-ethyl and the associated degradation pathway by *Rhodococcus* sp. D310-1. **Environmental Science and Pollution Research**, V. 23, 8794-8805, 2016.

LIN, A. Y. C. REINHARD, M. Photodegradation of common environmental pharmaceuticals and estrogens in river water. **Environmental Toxicology Chemistry**, V. 24, p. 1303-1309, 2005.

LIU, K.; HE, Y.; XU, S.; HU, L.; LUO, K.; LIU, X.; LIU, M.; ZHOU, X.; BAI, L. Mechanism of the effect of pH and biochar on the phytotoxicity of the weak acid herbicides imazetapir and 2,4-D in soil to rice (*Oryza sativa*) and estimation by chemical methods. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, V. 161, p. 602-609, 2018.

LOUX, M. M.; LIEBL, R. A. SLIFE, F. W. Adsorption of imazaquin and imazetapir on soils, sediments, and selected adsorbents. **Weed Science**, V. 37, p. 712-718, 1989.

LOUX, M. M.; REESE, K. D. Effect of soil type and p H on persistence and Carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, V. 7, p. 452-458, 1993.

LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, v. 45, p. 307-20, 1997.

MADANI, M. E.; AZZOUZI, M. E.; ZRINEH, A.; MARTEBS, D. pH effect and kinetic studies of the binding behaviour of imazetapir herbicide on some Moroccan soils. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 12, p. 1114-1119, 2003.

MARTINI, L. F. D.; AVILA, L. A.; SOUTO, K. M.; CASSOL, G. V.; REFATTI, J. P.; MARCHESAN, E.; BARROS, C. A. P. Lixiviação de imazetapir + imazapic em função do manejo de irrigação do arroz. **Planta Daninha**, v. 29, p. 185-193, 2011.

MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil - a review of literature. in: SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. L. **The Imidazolinone Herbicides**. Boca Raton, 1991.

MA, J. P.; WANG, Z.; LU, P.; WANG, H. J.; ALI, S. W.; LI, S. P.; HUANG, X. Biodegradation of the sulfonylurea herbicide chlorimuron-ethyl by the strain *Pseudomonas* sp. LW3. **FEMS Microbiol Lett**, V. 296, p. 203-209, 2009.

MALOSCHIK, E.; ERNST, A.; HEGEDUSS, G.; DARVAS, B.; SZEKACS, A. Monitoring water-polluting pesticides in Hungary. **Microchemical Journal**, V. 85, p. 88-97, 2007.

MAQUEDA, C.; VILLAVERDE, J.; SOPENA, F.; UNDABEYTIA, S.; MORILLO, S. Effects of soil characteristics on metribuzin dissipation using clay-gel-based formulations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 57, p. 3273-3278, 2009.

MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. In: **Congresso brasileiro de agrometeorologia**, 5., 1987, Belém. Coletânea de Trabalhos... Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009.

MEHDIZADEH, M.; IZADI-DARBANDI, E.; YAZDI, M. T. N. P.; RASTGOO, M.; MALAEKEH-NIKOUEI, B.; NASSIRLI, H. Impacts of different organic amendments on soil degradation and phytotoxicity of metribuzim. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, V. 8, p. 113-121, 2019.

MILLS, J. A.; WIT, W. W. Efficacy, Phytotoxicity, and Persistence of Imazaquin, Imazetapir, and Clomazone in No-Till Double-Crop Soybeans (*Glycine hex*). **Weed Science**, V. 37, p. 353-359, 1989.

MOHANA, S.; DESAI, C.; MADAMWAR, D. Biodegradation and decolourization of anaerobically treated distillery spent wash by a novel bacterial consortium. **Bioresource Technology**, V. 98, p. 333-339, 2007.

MORELAND, D. E. Biochemical mechanisms of action of herbicides and the impact of biotechnology on the development of herbicides. **Journal Pesticide. Science**, V. 24, p. 299-307, 1999.

MUELLER, T. C.; BOSWELL, B. W.; MUELLER, S. S.; STECKEL, L. E. Dissipation of Fomesafen, Saflufenacil, Sulfentrazone, and Flumioxazina from a Tennessee Soil under Field Conditions. **Weed Science**, V. 62, p. 664-671, 2014.

MULBAH, C. K.; PORTHOUSE, J. D.; JUGSUJINDA, A.; DELAUNNE, R. D.; JOHNSON, A. B. Impact of redox conditions on metolachlor and metribuzim degradation in Mississippi flood plain soils. **Journal of Environmental Science and Health**, V. 35, p. 689-704, 2000.

NEGRE, M.; SCHULTEN, H. R.; GENNARI, M.; VINDROLA, D. Interactions of imidazolinone herbicides with soil humic acid. Experimental results and molecular modelling. **Journal of Environmental Science and Health**, V. 2, p. 107-125, 2001.

OLIVEIRA, R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. KHAKURAL, B. R.; MULLA, D. J.; ROBERT, P. J. Spatial variability of imazetapir sorption in soil. **Weed Science**, V. 47, p. 243-248, 1999.

OLIVEIRA, M. F. DE; COLONNA, I.; PRATES, H. T.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. DE. Sorção do herbicida imazaquin em Latossolo sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p. 787-793, 2004.

OLIVEIRA NETO, A. M. DE. **Manejo outonal de *Conyza* spp. baseado em glifosato + 2,4-D, MSMA e amônio-glufosinato aplicados isoladamente ou em mistura com herbicidas residuais**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR. 2011.

OLIVEIRA NETO, A. M. DE; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. DE; GUERRA, N.; BLAINSKI, E.; ALMEIDA, H. DE A. Management of Sumatran fleabane after maize harvest in the fallow period shorter than 60 days. **Communications in Plant Sciences**, v. 9, p. 53-58, 2019.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011.

OLIVEIRA JR. R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. **Weed Research**, V. 41, p. :97-110, 2001.

OUFQIR, S.; MADANI, M. E.; BELGHITI, M. A. E.; ZRINEH, A.; AZZOUZI, M. E. Adsorption of imazetapir on six agricultural soils of Morocco: Evaluation of the impact of soil properties. **Arabian Journal of Chemistry**, V. 36, 2013.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. FEALQ, Piracicaba, SP, Brasil, 2002

PONS, N.; BARRIUSO, E. Fate of metsulfuron-methyl in soils in relation to pedo-climatic conditions. **Pesticide Science**, V. 53, p. 311-323, 1998.

PEREIRA, F. A. R.; ALVARENGA, S. L. A.; OTUBO, S.; MORCELI, A.; BAZONI, B. Seletividade de sulfentrazone em cultivares de soja e efeitos residuais sobre culturas sucessivas em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, p. 219-224, 2000.

PUSINO, A.; PETRETTO, S.; GESSAC. Adsorption and desorption of imazapyr by soil. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 45, p. 1012-1016, 1997.

PETER, C. J.; J. B. WEBBER. Adsorption, mobility, and efficacy of metribuzim as influenced by soil properties. **Weed Science**, v. 33, p. 868-873, 1985.

REFATTI, J. P.; AVILA, L. A. DE; AGOSTINETTO, D.; MANICA-BERTO, R.; BUNDT, A. DA C.; ELGUEIRA, D. B. Efeito da calagem na lixiviação de imazetapir e imazapyr em solo de cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 44, 2014.

REFATTI, J. P.; AVILA, L. A. DE; NOLDIN, J. A.; PACHECO, I.; PESTANA, R. R. Leaching and residual activity of imidazolinone herbicides in lowland soils. **Cuenca Rural**, v. 47, 2017.

RENNER, K. A.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Effect of soil pH on imazaquin and imazetapir adsorption to soil and phytotoxicity to corn (*Zea mays*). **Weed Science**, V. 36, p. :78-83, 1988.

REDDY, K. N.; ZABLOTOWICZ, R. M.; LOCKE, M. A. Chlorimuron adsorption, deorption, and degradation in soils from conventional tillage and no-tillage systems. **Journal of environmental quality**, V. 24, p. 760-767, 1995.

REN, W. J.; TENG, Y.; ZHOU, Q. X.; ALBRECHT, P.; GERRIT, S. Sorption of chlorimuron-ethyl on montmorillonite clays: effects of exchangeable cations, pH, and ionic strength. **Environmental Science and Pollution Research**, V. 21, p. 11587-11597, 2014.

REN, W. J.; WANG, M. E.; ZHOU, Q. X. Adsorption characteristics and influencing factors of chlorimuron-ethyl in two typical chinese soils. **Soil Science Society of America Journal**, V. 75, p. 1394-1401, 2011.

REGITANO, J. B.; PRATA, F.; ROCHA, W. S. D.; TORNISIELO, V. L.; LAVORENTI, A. Imazaquin mobility in tropical soils in relation to soil moisture and rainfall timing. **Weed Research**, v. 41, p. 42-271, 2002.

RICE, P.; KOSKINEN, W. C.; CARRIZOSA, M. J. Effect of Soil Properties on the Degradation of Isoxaflutole and the Sorption□Desorption of Isoxaflutole and Its Diketonitrile Degradate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 52, p. 7621-7627, 2004.

RIBEIRO, S. R. DE S. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré- emergência na cultura da soja sobre o milho e o algodão cultivados em sucessão**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 2018.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Special Bulletin, Iowa, n. 48. 1993.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. DE. **Guia de Herbicidas**. 7ª Edição. 2018.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; HALL, L.; BECKIE, H.; WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas : da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005.

SANTOS, E. L. DOS; BARROS, A. S. DO R.; NAGASHIMA, G. T.; FERREIRA, A. A.; PRETE, C. E. C. Efeito do herbicida metsulfuron-methyl sobre o crescimento inicial de híbridos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, p. 145-156, 2009.

SAHA, A.; BHADURI, D.; PIPARIYA, A.; JAIN, N. K. Influence of imazetapir and quizalofop-p-ethyl application on microbial biomass and enzymatic activity in peanut grown soil. **Environmental Science and Pollution Research**, 2016.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A. C.; BLAINSKI, É.; GEMELLI, A.; MACHADO, M. DE F. P. S. Aspectos da Biologia e da Germinação da Buva. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR.; R. S. de. OLIVEIRA NETO, A. M. de. **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba, PR: Omnipax, 2013.

SARMAH, A. K.; KOOKANA, R. S.; ALSTON, A. M. Leaching and degradation of triasulfuron, metsulfuron-methyl and chlorsulfuron in alkaline soil profiles under field conditions. **Australian Journal of Soil Research**, V. 38, p. 617-631, 2000.

SARMAH, A. K.; SABADIE, J. Hydrolysis of sulfonylurea herbicides in soils and aqueous solutions: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 50, p. 6253-6265, 2002.

SENESI, N.; LA CAVA, P.; MIANO, T. M. Adsorption of imazethapyr to amended and nonamended soils and humic acids. **Journal of Environmental Quality**, V. 26, p. 1264-1270, 1997.

SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. **Imidazolinones Herbicides**. Boca Raton: CRC, 1991.

SILVA, A. A. DA; OLIVEIRA JR., R. S. DE; COSTA, E. R.; RREIRA, L. R. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imaze thapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v. 17, 1999.

SINGH, R.; GERRITSE, R. G.; AYLMOORE, L. A. G. Adsorption-desorption behaviour of selected pesticides in some Western Australian soils. **Australian Journal of Soil Research**, V. 28, p. 227-243, 1990.

SCHLOSS, J. V., Acetolactate synthase, mechanism of action and its herbicide binding site. **Pesticide Science**, V. 29, p. 283-292, 1990.

SI, Y.; WANG, S.; ZHOU, J.; HUA, R.; ZHOU, D. Leaching and degradation of ethametsulfuron-methyl in soil. **Chemosphere**, V. 60, p. 601-609, 2005.

SHARMA, S.; BANERJEE, K. Choudhury PP Degradation of chlorimuron-ethyl by *Aspergillus niger* isolated from agricultural soil. **FEMS Microbiol Lett**, V. 337, p. 8-24, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995.

SOUZA, A. DOS S.; LEALA, J. F. L.; LANGARO, A. C.; SILVA, F. C. DA; SOUZA, C. DA C. B. DE; PEREIRA, M. G.; PINHO, C. F. DE. Interferência da compactação do solo no residual do diclosulam. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, p. 1-10, 2019.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, 2002.

STIDHAM, M. A. Herbicides that inhibit acetohydroxyacid synthase. **Weed Science**, |V. 39, p. 428, 1991.

STENROD, M.; CHARNAY, M. P.; BENOIT, P.; EKLO, O. M. Spatial variability of glifosato mineralization and soil microbial characteristics in two Norwegian sandy loam soils as affected by surface topographical features. **Soil Biology and Biochemistry**. V. 38, p., 962-971, 2006.

STOUGAARD, R. N.; SHEA, P. J. MARTIN, A. R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility, and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, V. 38, p. 67-73, 1990.

SYNGENTA. **Syngenta Ferroz Viptera® 3**. 2020. Disponível em: <<https://portalsyngenta.com.br/sementes-milho-feroz-viptera>>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

TAHIR, N. M.; HUI, T. J.; ARIFFIN, M. M.; SURATMAN, S.; KHOON, T. S. Adsorption of chlorimuron-ethyl and metsulfuron-methyl on selected Selangor agricultural soils. **The Malaysian Journal of Analytical Sciences**, V. 2, p. 341-347, 2008.

THEBAUD, C.; ABBOTT, R. J. Characterization of invasive *Conyza* species (Asteraceae) in Europe: quantitative trait and isozyme analysis. **American Journal of Botany**, v.82, n.3, p.360-368, 1995.

TUKEY, J. W. One Degree of Freedom for Non-Additivity. **Biometrics**, v. 5, p. 232-242. 1949.

US EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Name of Chemical: Flumioxazin Reason for Issuance: Conditional Registration.** 2001. Disponível em: <<http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/flumioxazina.pdf>>. Acesso em: 18 Jan 2021.

UC IPM - UNIVERSITY OF CALIFORNIA - INTEGRATED PEST MANAGEMENT PROGRAM. **Photosystem II Inhibitors.** 2020a. Disponível em: <http://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/MOA/Photosystem_II_Inhibitors/>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

UC IPM - UNIVERSITY OF CALIFORNIA - INTEGRATED PEST MANAGEMENT PROGRAM. **Acetolactate Synthase (ALS) or Acetohydroxy Acid Synthase (AHAS) Inhibitors.** 2020b. Disponível em: <http://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/MOA/ALS_or_AHAS_inhibitors/>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

UC IPM - UNIVERSITY OF CALIFORNIA - INTEGRATED PEST MANAGEMENT PROGRAM. **Protoporphyrinogen Oxidase (PPO) Inhibitors.** 2020c. Disponível em: <http://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/MOA/PPO_inhibitors/>. Acesso em: 18 Nov. 2020.

ULBRICH, A. V.; RODRIGUES, B. N.; LIMA, J. Efeito residual dos herbicidas imazaquin e imazetapir, aplicados na soja, sobre o milho safrinha. **Planta Daninha**, v. 16, p. 137-147, 1998.

VENCILL, W. K. **Herbicide Handbook**, 8th ed.; Weed Science Society of America: Lawrence, KS, 2002.

VIDAL, R. A.; KALSING, A.; GOULART, I. C. G. R.; LAMEGO, F. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Impacto da temperatura, irradiância e profundidade das sementes na emergência e germinação de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, p. 309-315, 2007.

WANG, H. Z.; XU, J. M.; XIE, Z. M.; YE, Q. F. Dynamics and forms of ¹⁴C-metsulfuron-methyl residual in soils. **Acta Pedologica Sinica**, V. 38, p. 547-557, 2001.

WANG, H. Z.; GAN, J.; ZHANG, J. B.; XU, J. M.; YATES, S. R.; WU, J. J.; YE, Q. F. Kinetic distribution of ¹⁴C-metsulfuron-methyl residues in paddy soils under different moisture conditions. **Journal of Environmental Quality**, V. 38, p. 164-170, 2009.

WEED, S. B.; WEBER, J. B. Pesticide-organic matter interactions. In: Guenzi, W. D. **Pesticides in Soil and Water**. SSSA, Madison, WI, 1974.

WEI, Z.; JIN-JUN, W.; ZHONG-MING, Z.; QIN ZHEN, Q. Adsorption-Desorption Characteristics of Chlorimuron-Ethyl in Soils. **Agricultural Sciences in China**, V. 6, p. 1359-1368, 2007.

WEPPLO, P. J. Chemical and physical properties of the imidazolinones. In: SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. L. **The Imidazolinone Herbicides**. Boca Raton, 1991.

WORTHING, C. R.; HANCE, R. J.. **The pesticide manual**, ninth edition. British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, UK, 1991.

XU, J.; GUO, L.; DONG, F.; LIU, X.; WU, X.; SHENG, Y.; ZHANG, Y.; ZHENG, Y. Response of the soil microbial community to imazetapir application in a soybean field. **Journal of Environmental Science and Health**, V. 48, p. 505-511, 2013.

YODER, R. N. **Summary of the Environmental Fate of DE-564**; Dow AgroSciences, 1996.

YU, Y. L.; X. WANG, Y. M.; LUO, J. F.; YANG, YU, J. Q.; FAN, D. F. Fungal degradation of metsulfuron-methyl in pure cultures and soil. **Chemosphere**, V. 60, p. 460-466, 2005.

YAMAMOTO, Y.; KOBAYASHI, Y.; RAMADEVI, S.; RIKIISHI, S.; MATSUMOTO, H. Oxidative stress triggered by aluminium in plant roots. **Plant Soil**, V. 255, p. :239-243, 2003.

YANG, L. Q.; LI, X. Y.; LI, X.; SU, Z. C, ZHANG, C. G.; ZHANG, H. W. Bioremediation of chlorimuron-ethyl-contaminated soil by *Hansschlegelia* sp. strain CHL1 and the changes of indigenous microbial population and N-cycling function genes during the bioremediation process. **Journal of Hazardous Materials**, V. 274, p. 314-321, 2014.

YODER, R. N.; HUSKIN, M. A.; KENNARD, L. M.; M. ZABIK, J. M. Aerobic Metabolism of Diclosulam on U.S. and South American Soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 48, p. 4335-4340, 2000.

ZABIK, J. M.; WESENBEECK, I. J. V.; PEACOCK, A. L.; KENNARD, L. M.; ROBERTS, D. W. Terrestrial Field Dissipation of Diclosulam at Four Sites in the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 49, p. 3284-3290, 2001.

ZANARDINI, E.; ARNOLDI, A.; BOSCHIN, G.; D'AGOSTINA, A.; NEGRI, M.; SORLINI, C. Degradation pathways of chlorsulfuron and metsulfuron-methyl by a *Pseudomonas fluorescens* strain. **Annals of Microbiology**, V. 52, p. 25-37, 2002.

ZHANG, X. L.; ZHANG, H. W.; LI, X.; SU, Z. C.; WANG, J. J.; ZHANG, C. G. Isolation and characterization of *Sporobolomyces* sp. LF1 capable of degrading chlorimuron-ethyl. **Journal of Environmental Biology**, V. 21, p. 1253-1260, 2009.

ZHANG, X. L.; LI, X.; ZHANG, H. W. Ecological risk of long-term chlorimuron-ethyl application to soil microbial community: An in situ investigation in a continuously cropped soybean field in Northeast China. **Environmental Science and Pollution Research**, V. 18, 407-415, 2011.

The effect of imazethapyr on soil microbes in soybean fields in northeast China

ZHANG, C.; LIU, X.; DONG, F.; XU, J.; ZHENG, Y. The effect of imazetapir on soil microbes in soybean fields in northeast China. **Chemistry and Ecology**, V. 26, p. 173-182, 2010.