

Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo

Use of plant bioindicators to identify residues of herbicides in the soil

Uso de bioindicadores vegetales para identificar residuos de herbicidas en el suelo

Recebido: 02/09/2020 | Revisado: 10/09/2020 | Aceito: 14/09/2020 | Publicado: 15/09/2020

Tayna Sousa Duque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2471-4721>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: taynaduque24@gmail.com

Josiane Costa Maciel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4714-0388>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: josi-agronomia@hotmail.com

José Barbosa dos Santos

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5746-7248>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: jbarbosasantos@yahoo.com.br

Evander Alves Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4701-6862>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: evanderalves@gmail.com

Josiely Borges de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3288-1378>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: josy745borges@gmail.com

Resumo

O presente trabalho foi elaborado a partir de levantamento bibliográfico. Foram consultados trabalhos científicos (artigos, teses e dissertações) publicados entre os anos de 1988 e 2020, que continham dados sobre a utilização da técnica de bioensaio. O bioensaio é utilizado para determinar a existência de resíduos de herbicidas no solo. Em sua realização são empregadas espécies sensíveis ao herbicida (bioindicadoras). Para ser considerada bioindicadora, a espécie vegetal deve ter sensibilidade ao herbicida estudado, apresentando intoxicação e redução em

características físicas ou fisiológicas. Além disso, a sensibilidade deve aumentar segundo o aumento de resíduos no solo. Devido ao mecanismo de ação e sorção do herbicida, cada composto apresenta espécies bioindicadoras ideais. O presente estudo teve por objetivo verificar na literatura espécies bioindicadoras de herbicidas residuais, em função da textura do solo e variável analisada. Traz um enfoque generalista das espécies cuja sensibilidade aos herbicidas foi comprovada experimentalmente, permitindo a consulta da bioindicadora ideal para cada composto. Na literatura foi verificado que as espécies *Cucumis sativus* e *Sorghum bicolor* são as mais utilizadas como bioindicadoras e os herbicidas atrazine e sulfentrazone os mais relatados.

Palavras-chave: Bioensaio; *Carryover*; Contaminação do solo; Fitorremediação; Herbicidas residuais.

Abstract

This work was based on a bibliographic survey. Scientific papers (articles, theses and dissertations) published between 1988 and 2020 were consulted, which contained data on the use of the bioassay technique. The bioassay is one used to determine the existence of herbicide residues in the soil. In its realization, species sensitive to the herbicide (bioindicators) are used. To be considered a bioindicator, the plant species must have sensitivity to the herbicide studied, presenting phytointoxication and reduction in physical or physiological characteristics. In addition, the sensitivity should increase according to the increase of residues in the soil. Due to the mechanism of action and sorption of the herbicide, each compound has ideal bioindicator species. The present study aimed to verify in the literature bioindicator species for residual herbicides, depending on the texture of the soil and the analyzed variable. It brings a generalist approach to species whose sensitivity to herbicides has been experimentally proven, allowing consultation of the ideal bioindicator for each compound. It was found in the literature that the species *Cucumis sativus* and *Sorghum bicolor* are the most used as bioindicators and the herbicides atrazine and sulfentrazone the most reported.

Keywords: Bioassay; *Carryover*; Soil contamination; Phytoremediation; Residual herbicides.

Resumen

Este trabajo se basó en una encuesta bibliográfica. Se consultaron trabajos científicos (artículos, tesis y disertaciones) publicados entre 1988 y 2020, que contenían datos sobre el uso de la técnica de bioensayo. El bioensayo es uno que se utiliza para determinar la

existencia de residuos de herbicidas en el suelo. En su realización se utilizan especies sensibles al herbicida (bioindicadores). Para ser considerada un bioindicador, la especie vegetal debe tener sensibilidad al herbicida estudiado, presentando fitointoxicación y disminución de las características físicas o fisiológicas. Además, la sensibilidad debería aumentar según el aumento de residuos en el suelo. Debido al mecanismo de acción y sorción del herbicida, cada compuesto tiene una especie bioindicadora ideal. El presente estudio tuvo como objetivo verificar en la literatura especies bioindicadoras de herbicidas residuales, dependiendo de la textura del suelo y la variable analizada. Aporta un enfoque generalista a las especies cuya sensibilidad a los herbicidas ha sido probada experimentalmente, lo que permite consultar el bioindicador ideal para cada compuesto. Se encontró en la literatura que las especies *Cucumis sativus* y *Sorghum bicolor* son las más utilizadas como bioindicadores y los herbicidas atrazina y sulfentrazone los más reportados.

Palabras clave: Bioensayo; *Carryover*; Contaminación del suelo; Fitorremediación; Herbicidas residuales.

1. Introdução

O acréscimo na utilização de insumos industriais, aumentou a preocupação com a contaminação do solo (Steffen et al., 2011). A Revolução verde (1970) intensificou o uso de agrotóxicos, incluindo os sistemas de produção agrícola (juntamente com resíduos de atividades farmacêuticas, petroquímicas, metalúrgicas e mineração) nos principais fatores para contaminação do solo (Costa et al., 2004; Steffen et al., 2011).

O uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas minimizam os danos e aumentam a produção no setor, entretanto, esses compostos além de atingir o organismo alvo, podem ser perdidos para o meio, dispersos pelo ar ou lixiviados pelo solo chegando a cursos hídricos (Melo et al., 2016; Lavorenti et al., 2003). Dentre os agrotóxicos, os mais utilizados são os herbicidas. Estes são aplicados com dois objetivos, o controle de plantas daninhas ou dessecação. Atrazina, glyphosate, 2,4-D, metolachlor e tebuthiuron são alguns exemplos de moléculas mais empregadas (Pignati et al., 2017).

Os herbicidas pré-emergentes também chamados herbicidas residuais são aplicados para controle do banco de sementes do solo. Essa categoria tem apresentado aumento em sua utilização, pois impede a competição com a espécie cultivada em estágios iniciais de desenvolvimento (Patel, 2018). Geralmente, esses herbicidas ficam no solo por grande período de tempo, causando efeito residual que pode acarretar *carryover*. *Carryover* é o efeito

residual de herbicidas em culturas agrícolas sensíveis, causando danos e perdas em produtividade (Gonçalves et al, 2018).

O comportamento do herbicida no solo determina sua atividade residual, lixiviação e persistência (Gonçalves et al., 2018). Solos e moléculas com alta capacidade de adsorção de agrotóxicos diminuem a lixiviação, entretanto, resultam em maior persistência e efeito residual (Patel, 2018).

A capacidade de sorção de um herbicida pode ser avaliada por meio de coeficientes de sorção obtidos experimentalmente. Os atributos do solo que interferem no coeficiente de sorção são o tipo e a quantidade de argila e matéria orgânica, o pH e fatores químicos de fertilidade (Patel, 2018). As características do herbicida que determinam o coeficiente de sorção são o tamanho e solubilidade da molécula e a constante de ionização (pKa) (Christoffoleti et al.; 2009, Blanco et al., 2002).

Buscando determinar a existência de contaminantes no solo, técnicas de identificação de resíduos têm sido estudadas, dentre elas encontra-se o bioensaio (Marchesan et al., 2011). Em sua realização são empregadas espécies sensíveis ao herbicida (bioindicadoras) que a partir de sintomas visuais ou fisiológicos expressam a existência do composto no solo (Nunes & Vidal, 2009).

Em função do mecanismo de ação e sorção do herbicida no solo, cada composto apresenta espécies bioindicadoras ideais. Além disso, algumas variáveis analisadas são mais sensíveis, sendo consideradas discriminadoras do produto.

Assim o presente estudo teve por objetivo verificar na literatura espécies vegetais bioindicadoras para herbicidas residuais, em função da textura do solo e variável analisada.

2. Corpo Teórico

2.1. Técnicas para identificação de resíduos

O reconhecimento de resíduos no solo é essencial para evitar impactos ambientais negativos (Pires et al., 2003). As principais técnicas utilizadas com essa finalidade são a espectrometria de massas, cromatografia líquida e gasosa e o bioensaio (De Aguiar et al., 2020; Oliveira et al., 2018).

2.1.1. Espectrometria de massas

A espectrometria consiste na ionização e separação das moléculas da amostra em massa (m) e carga (z), obtendo a razão m/z . Como resultado, é gerado o gráfico “espectro de massas” que ilustra a intensidade de cada íon e prevê a existência de resíduos (Ferreira, 2008; Wilson & Walker, 2005). Tomson (1897), estudando a deflexão do elétron, foi pioneiro na determinação e utilização dessa técnica (Lanças, 2009).

A espectrometria de massas tem sido utilizada acoplada a cromatografia líquida. A combinação dos métodos possibilita maior sensibilidade no reconhecimento de resíduos. Nesse sistema o método cromatográfico introduz a amostra, realizando a separação dos compostos, enquanto a espectrometria funciona como detector e identificador dos resíduos (Lanças, 2009).

2.1.2. Métodos Cromatográficos

A cromatografia é utilizada desde 1905, entretanto o avanço dessa técnica iniciou-se em 1959 com a utilização de colunas para a separação de hidrocarbonetos de carbono (Desty, 1959; Santos, 2018). Apenas na década de 1970, as colunas capilares foram aperfeiçoadas e a técnica se tornou indispensável na química, medicina e agronomia (Dos Santos Pereira et al., 2000).

A utilização da cromatografia líquida é muito limitada, necessitando de uma técnica confirmatória. Assim a cromatografia gasosa se tornou a principal técnica analítica para separação e identificação de resíduos (Lanças, 2009). A cromatografia gasosa consiste da separação de misturas a partir de uma fase móvel (gasosa) e uma fase fixa (sólida ou líquida não-volátil). O gás desloca-se pela coluna separando os componentes e detectores determinam a presença de resíduos (Santos, 2018).

2.1.3. Bioensaio

O bioensaio é uma técnica de identificação de resíduos no solo que se baseia na utilização de organismos vivos, geralmente, espécies vegetais sensíveis ao composto estudado (Marchesan et al., 2011). A primeira aplicação dessa técnica foi realizada por Crafts (1935). Buscando avaliar a toxicidade de arsenito e cloreto de sódio em solos da Califórnia, Crafts

(1935) demonstrou que espécies do gênero *Avena* são eficientes na detecção dos compostos (Crafts, 1935; Nunes & Vidal, 2009).

Dentre as técnicas para identificação de resíduos, a cromatografia gasosa é a mais utilizada e eficaz. Em comparação com a cromatografia e espectrometria, o bioensaio é uma técnica mais lenta, sendo necessário o cultivo das espécies bioindicadoras e a obtenção de curvas dose-resposta. Entretanto, é considerado método simples, menos oneroso e capaz de fornecer resultados satisfatórios. (Lanças, 2019; Marchesan et al., 2011).

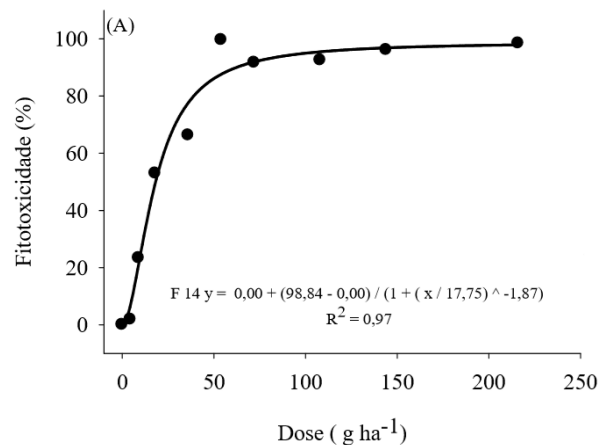
As curvas dose-resposta são utilizadas para determinar parâmetros relacionados à dose do herbicida que reduz 50% da variável estudada na planta bioindicadora, conhecido como C_{50} . A partir desses valores é possível prever a quantidade de resíduo no solo (Christoffoleti, 2002; Lacerda et al., 2004). O método mais utilizado para elaboração das curvas é o modelo matemático log-logístico de Seefeldt et al. (1995) (Equação 1) (Seefeldt et al., 1995).

$$y = y_0 \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{C_{50}}\right)^{-b}} \quad (1)$$

Em que y = variável resposta da planta; y_0 = média da resposta sob doses elevadas; x = dose do herbicida (l i.a ha^{-1}); a = assíntota entre o ponto máximo e mínimo da curva; b = declividade da curva e C_{50} = concentração necessária para redução de 50% da planta.

Aguiar et al. (2020), buscando identificar espécies sensíveis ao herbicida dicamba, fez uso do bioensaio aliado ao modelo de Seefeldt para determinar a C_{50} . No experimento foram utilizadas seis espécies vegetais, dez doses do herbicida e substrato inerte. Resultados de intoxicação aos 7, 14 e 21 dias após a emergência das plantas (DAE), foram ajustados ao modelo log-logístico. Aos 14 DAE foi observado que as doses que causaram 50% de intoxicação (C_{50}) na beterraba (*Beta vulgaris*), melancia (*Citrullus lanatus*), pepino (*Cucumis sativus*) e tomate (*Lycopersicon esculentum*) foram de 40,04; 47,58; 32,12 e 60,78 g.i.a ha^{-1} , respectivamente. Em contrapartida a C_{50} encontrada para a soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) foram 17,75 e 23,07 g.i.a ha^{-1} , respectivamente (Figura 1). Assim o experimento determinou que a beterraba, melancia, pepino e tomate são espécies que possuem média sensibilidade ao composto, identificando resíduos no solo apenas em altas dosagens. A soja e o feijão são sensíveis ao herbicida, entretanto a partir de avaliações de massa seca, pode-se concluir que o feijão é considerado o melhor bioindicador do dicamba.

Figura 1: Curva dose-resposta da intoxicação do feijão causada pelo herbicida dicamba aos 14DAE.



Fonte: Aguiar et al., 2020.

3. Metodologia

O presente trabalho foi elaborado a partir de levantamento bibliográfico. Foram consultados trabalhos científicos (artigos, teses e dissertações) publicados entre os anos de 1988 e 2020. A pesquisa consistiu de duas etapas. Em primeiro momento, os dados foram coletados e selecionados em função da adequação ao tema proposto. Depois foi realizada a tabulação e sistematização dos resultados.

A pesquisa realizada foi de natureza qualitativa com dados apresentados de forma descritiva (Pereira et al., 2016). Os trabalhos foram escolhidos tendo em vista a sensibilidade de espécies vegetais a resíduos de herbicidas no solo. Informações de tipo de solo e variável discriminadora dos resíduos, também foram avaliadas. O procedimento de levantamento bibliográfico permite a identificação de informações abordadas com frequência e de lacunas que podem ser preenchidas com a realização de novos estudos.

4. Seleção de Espécies Bioindicadoras

O bioensaio é utilizado para identificação de efeitos alelopáticos entre espécies vegetais, mas as principais aplicações são voltadas para o reconhecimento de resíduos de herbicidas no solo (Cândido et al., 2010; Nunes & Vidal, 2009; Ribeiro et al., 2019). Essa técnica tem sido estudada em avaliações de persistência, lixiviação, identificação de espécies

fitorremediadoras e potencial ocorrência de *carryover* (Dan et al, 2010; Diesel et al., 2019; Vasconcelos, 2017; Savaris et al., 2019; Souza et al., 2000).

Com o objetivo de determinar a persistência e meia vida do indaziflam e amicarbazone em solos contrastantes, Savaris et al. (2019) avaliaram a intoxicação da espécie bioindicadora *Cucumis sativus* aos 0, 20, 40, 60, 80 e 100 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA). Nos tratamentos com o herbicida amicarbazone, houve morte da espécie bioindicadora aos 20 e 40 DAA, entretanto aos 100 DAA o herbicida causou leves sintomas de intoxicação. Assim, foi possível determinar que a meia vida do amicarbazone em solo argiloso e arenoso é de 59 e 56 dias, respectivamente. Para os tratamentos com indaziflam a espécie *C. sativus* apresentou 100% de intoxicação em todas as avaliações. Resultados similares foram encontrados por Guerra et al. (2016) ao utilizarem beterraba (*Beta vulgaris*) e soja (*Glycine max*) como bioindicadoras desses herbicidas. Tais experimentos demonstram que o herbicida indaziflam possui efeito residual superior ao amicarbazone.

Inoe et al. (2014) utilizaram a técnica do bioensaio para determinar o potencial de lixiviação de herbicidas aplicados na cana-de-açúcar. A espécie *Cucumis sativus* atuou como bioindicadora dos herbicidas ametryn e clomazone, e *Urochloa decumbens* do diuron. Os herbicidas foram aplicados em colunas preenchidas por solos de diferentes texturas, 24h após a aplicação as colunas foram cortadas e ocorreu a semeadura das espécies bioindicadoras. Dessa forma, o bioensaio possibilitou o reconhecimento da existência de herbicidas em diferentes profundidades. O experimento demonstrou que a lixiviação do ametryn e diuron é influenciada pela textura do solo. Em contrapartida, o clomazone apresentou resultados similares em ambos os solos. Os herbicidas estudados permaneceram apenas em camadas superficiais.

Franco et al., 2015, fizeram uso do bioensaio com o objetivo de avaliar características fisiológicas do feijão (*Phaseolus vulgaris*) após a fitorremediação de solo contaminado com resíduos de picloram. A *Urochloa brizantha*, espécie fitorremediadora, foi semeada após a aplicação de doses crescentes do herbicida no solo. Aos 120 DAE realizou-se o corte da braquiária e semeio do feijão, espécie bioindicadora. Características físicas e fisiológicas da *P. vulgaris* foram afetadas por resíduos do herbicida mesmo após a remediação com a braquiária. O uso de variáveis fotossintéticas permitiu a identificação de intoxicação no feijoeiro, demonstrando potencial de serem utilizadas como discriminadoras de resíduos de picloram no solo.

Com o intuito de avaliar a ocorrência de *carryover* de herbicidas aplicados na soja, Dan et al. (2010), utilizaram o bioensaio com *Sorghum bicolor*, simulando uma cultura

plantada em regime de sucessão. Para o estudo foram utilizados oito herbicidas registrados para soja em pré e pós-emergência. O sorgo foi semeado após a colheita da leguminosa. Amostras de solo foram coletadas ao longo do experimento para a realização do bioensaio, o *S. bicolor* atuou também como bioindicadora. Avaliações de intoxicação demonstraram que os herbicidas sulfentrazone, diclosulam e imazethapyr causam impactos negativos no sorgo, mesmo após o cultivo da soja. Dentre os herbicidas avaliados, o sulfentrazone apresentou maior efeito residual no solo.

A realização do bioensaio apenas é possível com a utilização de uma espécie bioindicadora (Santos et al., 2013). Para ser considerada bioindicadora, a espécie vegetal deve ter sensibilidade ao herbicida estudado, apresentando intoxicação e redução em características físicas ou fisiológicas. Além disso, a sensibilidade deve aumentar em função do aumento de resíduos no solo (Mendes et al., 2015; Oliveira et al., 2018). Caso a espécie apresente alta sensibilidade ao produto ocorrerá injúrias intensas em doses muito pequenas, inviabilizando o uso de curvas dose-resposta (Nunes & Vidal, 2009).

Geralmente, as bioindicadoras são espécies cultivadas submetidas ao melhoramento genético. Têm como características principais rápido crescimento, homogeneidade e ampla distribuição geográfica. Esses fatores permitem a identificação de sintomas em curto espaço de tempo, padronização de resultados e realização do bioensaio em diversos locais de estudo (Nunes & Vidal, 2009).

A escolha da espécie bioindicadora ideal é influenciada pela dinâmica ambiente-solo-herbicida. Isso ocorre porque o clima pode influenciar o desenvolvimento da espécie e a sorção do composto no solo se diferencia principalmente em função do tamanho, solubilidade da molécula e características texturais do solo (Gonçalves et al., 2018; Patel, 2018). Assim, há a possibilidade de diversos arranjos, onde a espécie vegetal pode ou não ser considerada bioindicadora de um herbicida.

A sensibilidade da espécie ao herbicida pode ser expressada em diferentes características da planta. O mecanismo de ação do herbicida é o principal influenciador, assim, os sintomas apresentados variam em função da molécula (Marchesan et al., 2011). O mecanismo de ação diz respeito ao primeiro processo atingido e modificado pelo produto. Os sítios alvo são locais (geralmente enzimas) onde o composto se liga, inibindo ou retardando rotas bioquímicas. Herbicidas com o mesmo mecanismo de ação frequentemente causam toxicidade semelhante (Marchi et al., 2008).

As variáveis analisadas com maior frequência são altura, área foliar, intoxicação e massa fresca e seca. Nos trabalhos revisados foi verificado que intoxicação e massa seca de

parte aérea são as variáveis mais discriminadoras de resíduos de herbicidas (Tabela 1) (Freitas et al., 2014; Melo et al., 2010).

Com o intuito identificar espécies sensíveis ao indaziflam, Dias et al. (2019), estudaram o potencial bioindicador de onze espécies vegetais, avaliando altura, intoxicação e massa seca das plantas aos 21 DAE. No geral, todas as espécies avaliadas apresentaram sintomas de intoxicação e redução nas demais variáveis. A beterraba (*Beta vulgaris*) se mostrou altamente sensível ao herbicida, dificultando o uso de curvas dose-resposta. As demais espécies apresentaram potencial para identificação de resíduos de indaziflam no solo, *Urochloa decumbens*, *Oryza sativa*, *Zea mays*, *Triticum aestivum*, *Avena sativa*, *Lycopersicon esculentum*, *Cucumis sativus*, *Helianthus annuus*, *Phaseolus vulgaris* e *Glycine max*.

Buscando selecionar bioindicadoras dos herbicidas amicarbazone, ametryn, clomazone e diuron, Mendes et al. (2012) verificaram a capacidade das espécies *Cucumis sativus*, *Urochloa decumbens* e *Sorghum bicolor* em estimar resíduos desses compostos no solo. A variável analisada aos 30 DAE foi a massa seca de parte aérea. A espécie *C. sativus*, foi considerada potencial bioindicadora para o amicarbazone e ametryn. *U. decumbens*, apresentou maior potencial para reconhecimento de resíduos de diuron e clomazone. *S. bicolor* não apresentou potencial bioindicador para esses herbicidas.

Do mesmo modo, Nunes e Vidal (2009), analisaram a intoxicação e altura de oito espécies vegetais submetidas a cinco herbicidas residuais. Observou-se que a sensibilidade das espécies estudadas variava em função do herbicida. A alface (*Lactuca sativus*) e o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) se mostraram altamente sensíveis às moléculas aplicadas. As espécies *Curcubita pepo*, *Cucumis sativus*, *Avena sativa*, *Hordeum vulgare* e *Triticum aestivum* foram consideradas potenciais bioindicadoras para metribuzin, cloransulan e imazaquin, imazaquin e metribuzin, metribuzin, e atrazina, respectivamente.

Com a necessidade de identificação de compostos no solo, inúmeras combinações herbicida-bioindicadora foram testadas. Algumas espécies como o pepino (*Cucumis sativus*), sorgo (*Sorghum bicolor*), braquiária (*Urochloa decumbens*), girassol (*Helianthus annuus*) e beterraba (*Beta vulgaris*) são sensíveis a diferentes moléculas. Entretanto, espécies como café arábica (*Coffea arábica*) e lentilha (*Lens esculenta*) tem potencial bioindicador comprovado apenas para o picloram e imazaquin, respectivamente. Um levantamento de espécies bioindicadoras de herbicidas residuais segundo a textura do solo e variável analisada, encontra-se na tabela 1.

Tabela 1: Seleção de espécies bioindicadoras em função do herbicida, classificação textural do solo e variável estudada.

Espécie bioindicadora	Herbicida	Classificação textural do solo	Variável discriminadora	Referência
<i>Avena sativa</i>	atrazine	Argiloso	Intoxicação /Massa seca	Marchesan et al., 2011
	imazaquin	Franco-arenoso	Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Nunes e Vidal, 2009
	indaziflam	Argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Braga, 2017; Dias et al., 2019
	metribuzin	Franco-arenoso	Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Nunes e Vidal, 2009
	oxadion			Mendes, 2013
<i>Avena strigosa</i>	tebuthiuron	Argiloso	Massa seca	Pires et al., 2005
<i>Beta vulgaris</i>	2,4 D		Intoxicação	Santos et al., 2013
	aminocyclopyrachlor	Franco-argilo-arenoso	Massa fresca	Guerra, 2014
	atrazine	Argiloso	Massa seca	Da Silva França et al., 2016
	indaziflam	Franco-argilo-arenoso	Massa fresca	Guerra, 2014
	saflufenacil		Intoxicação /Massa seca	Diesel et al., 2012; Diesel et al., 2019
	tembotrione	Argiloso	Massa seca	Silva et al., 2018
<i>Capsicum annuum</i>	mesotrione		Intoxicação	Mendes et al., 2015
<i>Citrullus vulgaris</i>	diclossulam			
	metribuzin	Argilo-arenoso	Altura/Massa seca	Ribeiro et al., 2019
	saflufenacil		Massa fresca/Massa seca	Diesel et al., 2012
<i>Coffea arabica</i>	picloram	Argiloso	Intoxicação /Massa seca	D'antonino et al., 2012

<i>Crotalaria juncea</i>	diclosulam		Intoxicação	Monquero et al., 2013
	mesotrione		Intoxicação	Mendes et al., 2015
	tebuthiuron		Altura/Intoxicação /Massa seca	Pires et al., 2008
<i>Cucumis sativus</i>	2,4 D	Argiloso/Franco-argilo-arenoso	Intoxicação	Santos et al., 2013
	alachlor	Arenoso/Argiloso		Inoue et al., 2010
	ametryn	Arenoso/Argiloso/Franco-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Andrade et al., 2010; Andrade, 2008; Inoue et al., 2004; Inoue et al., 2011; Mendes et al., 2012; Silva et al., 2012; Silva, 2016
	amicarbazona	Argiloso		Mendes et al., 2012; Savaris et al., 2019
	atrazine	Argiloso/Franco-argiloso	Intoxicação	Brito, 2017; Silva Filho, 2018; Fiore, 2014
	chlorimuron-ethyl	Argiloso	Massa seca	Patel, 2018
	cloransulam	Franco-arenoso	Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Nunes e Vidal, 2009
	diclossulam	Argiloso	Massa seca	Patel, 2018
	diuron	Argiloso/Franco-argilo-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Mendes et al., 2012; Rocha et al., 2011
	ethoxysulfuron			Oliveira et al., 2018
	flumioxazin	Argiloso	Massa seca	Patel, 2018
	fomesafen			Alves, 2016
hexazinone	Argiloso/Franco-arenoso	Intoxicação	Mendes et al., 2013	
imazapic	Argiloso/Franco-argiloso	Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Monquero et al., 2008; Monquero et al.,	

	Argiloso/Franco-argiloso		2010
imazapyr		Intoxicação /Massa fresca/Massa seca	Monquero et al., 2008; Silva et al., 2004
imazaquin	Argiloso /Franco-argilo-arenoso	Área foliar/Massa seca	Inoue et al., 2000; Inoue et al., 2002; Nunes e Vidal, 2009
imazethapyr	Franco-arenoso	Massa seca	Inoue et al., 2000
indaziflam	Argiloso /Franco-argilo-arenoso	Altura/Massa fresca/Intoxicação	Guerra, 2014; Dias et al., 2019; Savaris et al., 2019
mesotrione	Argiloso	Intoxicação	Mendes et al., 2015
metribuzin	Argiloso/ Franco-argilo-arenoso		Ben et al., 2015; Silva, 2017
picloram	Argiloso/Franco-argilo-arenoso/	Intoxicação /Massa seca	Assis et al., 2011; Braga, 2013; Franceschi et al., 2019
prometryne	Argiloso	Intoxicação	Inoue et al., 2010
pyrithiobac-sodium	Franco-argilo-arenoso	Massa fresca	Guerra et al., 2011
saflufenacil	Argiloso	Intoxicação /Massa seca	Diesel et al., 2012; Monquero et al., 2012; Patel, 2018
S-metolachlor	Franco-argilo-arenoso	Intoxicação	Silva, 2017
sulfentrazone	Argiloso/Franco-argiloso	Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Alves, 2016; Silva Filho, 2018; Monquero et al., 2010; Silva, 2017
tebuthiuron	Franco-argilo-arenoso	Intoxicação	Silva, 2017
triclopyr	Argilo-arenoso		Santos et al., 2006
trifloxysulfuron-sodium	Franco-argilo-arenoso	Massa fresca	Guerra et al., 2011

<i>Curcubita pepo</i>	metribuzin		Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Nunes e Vidal, 2009
<i>Digitaria insularis</i>	chlorimuron-ethyl	Franco-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Paris Júnior, 2018
	sulfometuron-methyl			
<i>Digitaria ischaemum</i>	indaziflam	Franco-argiloso	Intoxicação	Amin, 2014
<i>Euphorbia heterophylla</i>	diuron	Franco-argilo-arenoso	Massa seca	Oliveira Jr. et al., 2012
	oxyfluorfen			
	prometryne			
	aminocyclopyrachlor		Massa fresca	Guerra, 2014
	dicamba	Arenoso	Intoxicação	Aguiar et al., 2020
<i>Glycine max</i>	indaziflam	Argilo-arenoso/Franco-argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa fresca/Massa seca	Dias et al., 2019; Guerra, 2014
	picloram	Argiloso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Carmo et al., 2008; Procópio et al., 2008
	S-metolachlor	Franco-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Santos et al., 2012
	tebuthiuron	Argiloso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Pires et al., 2006
	trifluralin	Franco-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Santos et al., 2012
<i>Gossypium hisutum</i>	fomesafen	Argiloso/Franco-arenoso		Karpinski et al., 2014
<i>Guizotia abyssinica</i>	sulfentrazone	Solo argiloso	Massa seca	Lourenço e Carvalho, 2014
<i>Helianthus annuus</i>	amicarbazona	Argiloso	Intoxicação	Souza, 2008
	chlorimuron-ethyl		Massa seca	Dan et al., 2012

	diclosulam		Intoxicação /Massa seca	Dan et al., 2012; Monquero et al., 2013
	flumioxazin			
	fomesafen		Massa seca	Dan et al., 2012
	imazaquin			
	imazethapyr			
	indaziflam	Argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Dias et al., 2019
	metribuzim		Intoxicação	Souza, 2008
	sulfentrazone	Argiloso	Massa seca	Dan et al., 2012
	tebuthiuron		Intoxicação	Souza, 2008
<i>Lactuca sativa</i>	metribuzin	Franco-arenoso/Franco-argilo-arenoso	Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Nunes e Vidal, 2009; silva, 2017
	sulfentrazone			
	tebuthiuron	Franco-argilo-arenoso	Intoxicação	Silva, 2017
<i>Lens esculenta</i>	imazaquin	Argiloso/Franco-argilo-arenoso	Massa seca	Inoue et al., 2002
<i>Lycopersicon esculentum</i>	atrazine	Argiloso	Intoxicação /Massa fresca/Massa seca	Marchesan et al., 2011
	imazapyr	Argiloso/Franco arenoso	Comprimento de raiz/Massa seca	Souza et al., 2000
	indaziflam	Argilo-arenoso		Dias et al., 2019
	picloram	Argiloso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Carmo et al., 2008; Santos et al., 2013
<i>Oryza sativa</i>	indaziflam	Argilo-arenoso		Dias et al., 2019

<i>Panicum maximum</i>	isoxaflutole	Argiloso/Franco-argilo-arenoso	Intoxicação	Marchiori Jr et al., 2005
	diclosulam	Argiloso	Intoxicação /Massa seca	Dan et al., 2011
	fenoxaprop	Franco-argilo-arenoso	Massa seca	Vianna et al., 1989
	fluazifop			
	flumioxazin	Argiloso	Intoxicação /Massa seca	Dan et al., 2011
	haloxifop	Franco-argilo-arenoso	Massa seca	Vianna et al., 1989
<i>Pennisetum glaucum</i>	imazaquin		Intoxicação /Massa seca	Dan et al., 2011
	mesotrione	Argiloso	Intoxicação	Mendes et al., 2015
	metribuzin			
	setoxidim	Franco-argilo-arenoso	Massa seca	Vianna et al., 1989
	sulfentrazone	Argiloso/Franco-argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Dan et al., 2011; Maladão, 2011; Madalão et al., 2016
	amicarbazona			Melo, 2018
<i>Phaseolus vulgaris</i>	clomazone	Argiloso	Intoxicação	Gheno et al., 2013
	dicamba	Arenoso		Aguiar et al., 2020
	diuron	Argiloso	Gheno et al., 2013	
	indaziflam	Argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Dias et al., 2019
	isoxaflutole	Argiloso	Massa fresca	Novo et al., 2005
	picloram		Intoxicação /Massa seca	Franco, 2013; Franco et al., 2015

	prometryne	Argiloso	Intoxicação	Gheno et al., 2013
	S-metolachlor	Franco-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Santos et al., 2012
	trifluralin			
	atrazine	Arenoso/Argiloso		Barbosa, 2013; Marchesan et al., 2011
<i>Raphanus sativus</i>	imazaquin	Franco-arenoso/Franco-argiloso	Altura/Área foliar/Intoxicação /	Nunes e Vidal, 2009; Vidal e Nunes, 2010
	S-metolachlor	Franco-arenoso	Área foliar/Intoxicação /Massa seca	Nunes e Vidal, 2009
	ametryn	Argiloso	Intoxicação	Brito, 2017
	diclosulam		Intoxicação /Massa seca	Dan et al., 2010
	fenoxaprop	Franco-argilo-arenoso	Massa seca	Vianna et al., 1989
	fluazifop			
	fomesafen	Argiloso		Fontes et al., 2004
<i>Sorghum bicolor</i>	haloxifop	Franco-argilo-arenoso		Vianna et al., 1989
	hexazinone	Argiloso	Intoxicação	Brito, 2017
	imazapic	Franco-argilo-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Vasconcelos, 2017
	imazapyr	Argiloso/Franco-argilo-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Firmino et al., 2008; Silva et al., 2004
	imazaquin		Massa seca	Inoue et al., 2002
	imazethapyr	Argiloso	Intoxicação /Massa seca	Dan et al., 2010
	indaziflam	Arenoso/Franco-argilo-arenoso	Intoxicação /Massa fresca/Massa seca	Braga, 2017; Guerra, 2014

	isoxaflutole		Intoxicação	Melo et al., 2010; Monquero et al., 2008
	metolachlor	Argiloso	Massa seca	Fontes et al., 2004
	oxyfluorfen	Argiloso/Franco-arenoso	Intoxicação	Melo et al., 2010
	setoxidim	Franco-argilo-arenoso	Massa seca	Vianna et al., 1989
	sulfentrazone	Argiloso/Arenoso/Franco-argilo-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Belo et al., 2011; Dan et al., 2010; Faustino et al., 2015; Freitas et al., 2014; Melo et al., 2010; Silva, 2017; Teixeira et al., 2017
	fomesafen	Argiloso/Argilo-arenoso		D'antonino et al., 2013; Silva, 2013
<i>Sorghum vulgare</i>	imazapic		Massa seca	Castro neto et al., 2014
	imazethapyr	Franco-argiloso		
	mesotrione		Intoxicação	Mendes et al., 2015
	metribuzin	Argiloso		
	sulfentrazone	Franco-argiloso	Massa seca	Vivian et al., 2006
<i>Stizolobium deeringianum</i>	sulfentrazone	Franco-argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Maladão, 2011
	acetochlor		Altura da planta	Ferri e Vidal, 2002; Ferri e Vidal, 2003
<i>Triticum aestivum</i>	atrazine	Argiloso/Franco-arenoso	Intoxicação /Massa seca/Área foliar	Marchesan et al., 2011; Nunes e Vidal, 2009
	indaziflam	Arenoso/Argilo-arenoso	Intoxicação /Massa seca	Braga, 2017; Dias et al., 2019
<i>Urochloa decumbens</i>	diuron	Argiloso	Massa seca	Inoue et al., 2014

	clomazone	Arenoso/Argiloso		Inoue et al., 2008; Mendes et al., 2012
	diuron	Arenoso/Argiloso/Argilo-arenoso		
	indaziflam	Argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Dias et al., 2019
	isoxaflutole	Argiloso/Franco-argilo-arenoso		Inoue et al., 2011; Marchiori Jr et al., 2005; Oliveira Jr et al., 2006
	oxyfluorfen			
	S-metolachlor	Arenoso/Argiloso	Intoxicação	Inoue et al., 2010
	metribuzin			
<i>Urochloa plantaginea</i>	sulfentrazone	Franco-argilo-arenoso		Silva, 2017
	tebuthiuron			
	imazethapyr	Argiloso	Massa seca	Santos et al., 2018
<i>Zea mays</i>	indaziflam	Argilo-arenoso	Altura/Intoxicação /Massa seca	Dias et al., 2019
	imazaquin	Argiloso	Intoxicação	Monquero et al., 2013

Fonte: Elaborado pelos autores através dos dados de pesquisa.

5. Considerações Finais

O bioensaio é uma ferramenta simples e eficiente para determinação de resíduos de herbicidas no solo. Pode ser utilizado com diferentes finalidades, evitando impactos negativos ao ambiente. Para que essa técnica seja eficaz é necessário o uso de espécies bioindicadoras com sensibilidade comprovada ao herbicida estudado.

O presente estudo traz um enfoque generalista das espécies cuja sensibilidade aos herbicidas foi comprovada experimentalmente e permite a consulta da bioindicadora ideal para cada composto.

Na literatura foi verificado que as espécies *Cucumis sativus* e *Sorghum bicolor* são as mais utilizadas como bioindicadoras e os herbicidas atrazine e sulfentrazone aqueles mais relatados.

Inúmeros herbicidas já possuem espécies bioindicadoras dos seus resíduos, entretanto ainda há a necessidade de realizar novas pesquisas para identificação de espécies sensíveis a novas moléculas. Dessa forma, será possível o reconhecimento de um maior número de resíduos no solo através do uso do bioensaio.

Referências

Amim, R. T. & Do Banco D. E. N. R. (2014). *Eficiência do indaziflam no controle de plantas*.

Andrade, S. R. B. (2008). Avaliação da sorção, dessorção, meia vida e lixiviação do ametryn em argissolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo. *Viçosa-MG: UFV*.

Andrade, S. R. B., Silva, A. A., Lima, C. F., Queiroz, M. E. L. R., França, A., & D'antonino, L. (2010). Meia-vida do ametryn em argissolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo, com diferentes valores de pH. *Planta Daninha*, 28(2), 375-383.

Assis, E. C., Silva, A. A., D'Antonino, L., Queiroz, M. E. L. R., & Barbosa, L. C. (2011). Leaching of picloram in ultisol under different rainfall volumes. *Planta Daninha*, 29(SPE), 1129-1136.

Barbosa, D. B. P. (2013). *Degradação de atrazina em solo sob plantio direto aplicada em formulações de liberação controlada*.

Belo, A. F., Coelho, A. T. C. P., Ferreira, L. R., Silva, A. A., & Santos, J. B. (2011). Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Planta daninha*, 29(4), 821-828.

Ben, A. K. A. N., Possamai, A. C. S., Cardoso, W. S., Ben, R., Castro, E. B., Belapart, D., & Mendes, K. F. (2015). Lixiviação e persistência do metribuzin por bioensaios. *Scientia Plena*, 11(5).

Blanco, F. M. G., & Velini, E. D. (2005). Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. *Planta Daninha*, 23(4), 693-700.

Braga, R. R. (2013). *Crescimento de Brachiaria brizantha e seu potencial para remediação de solo contaminado com picloram em três valores de pH*.

Braga, R. R. (2017). *Sorção de indaziflam e isoxaflutole em solos tropicais* (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Viçosa).

Brito, L. D. A. (2017). *Germinação e crescimento inicial de espécies florestais sob influência de herbicidas lixiviáveis*.

Cândido, A. C. D. S., Schmidt, V., Laura, V. A., Faccenda, O., Hess, S. C., Simionatto, E., & Peres, M. T. L. P. (2010). Potencial alelopático da parte aérea de *Senna occidentalis* (L.) Link (Fabaceae, Caesalpinioideae): bioensaios em laboratório. *Acta botânica brasílica*, 24(1), 235-242.

Carmo, M. L., Procopio, S. D. O., Pires, F. R., Cargnelutti Filho, A., Braz, G. B. P., Silva, W. F. P., & Assis, R. L. D. (2008). Influência do período de cultivo de *Panicum maximum* (cultivar Tanzânia) na fitorremediação de solo contaminado com picloram. *Planta Daninha*, 26(2), 315-322.

Castro Neto, M. D. D. (2014). *Sorção, lixiviação e persistência de imidazolinonas em solos utilizados no sistema clearfield de cultivo de arroz* (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Viçosa).

Christoffoleti, P. J. (2002). Rate-response curves of resistant and susceptible *Bidens pilosa* L. biotypes to ALS-inhibitor herbicides. *Scientia Agricola (Brazil)*.

Christoffoleti, P. J., López-Ovejero, R. F., Damin, V., Carvalho, S. J. P., & Nicolai, M. (2009). Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. *Piracicaba: CP*, 2, 72.

Costa, C. N., Meurer, E. J., Bissani, C. A., & Selbach, P. A. (2004). Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. *MEURER, EJ Fundamentos de química do solo*, 2, 207-237.

Crafts, A. (1935). The toxicity of sodium arsenite and sodium chlorate in four California soils. *Hilgardia*, 9(9), 459-498.

da Silva França, G. V., Oliveira, G. A., Diniz, C. A., & Reis, M. R. (2016). Residues of atrazine and tembotrione in the soil affect the initial growth of beets1. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15(2), 195-204.

Dan, H. A., Dan, L. G. D. M., Barroso, A. L. D. L., Procópio, S. O., Oliveira Jr, R. S., Assis, R. L., & Feldkircher, C. (2011). Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. *Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

Dan, H. D. A., Dan, L. G. D. M., Barroso, A. L. D. L., Procópio, S. D. O., Oliveira Júnior, R. S. D., Braz, G. B. P., & Alonso, D. G. (2012). Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. *Ciência Rural*, 42(11), 1929-1935.

Dan, H. A., Dan, L. G. M., Barroso, A. L. L., Procópio, S. O., Oliveira Jr, R. S., Silva, A. G., & Feldkircher, C. (2010). Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. *Planta Daninha*, 28(SPE), 1087-1095.

D'Antonino, L., França, A. C., Silva, A. A., Ferreira, L. R., & Silva, G. R. (2012). Crescimento de plantas de café em solos com resíduos de picloram. *Planta Daninha*, 30(1), 193-200.

D'Antonino, L., Silva, G. R., Faustino, L. A., Silva, A. A., Ferreira, F. A., & Texeira, C. C. (2013). Sorption of fomesafen in brazilian soils. *Planta Daninha*, 31(4), 971-977.

D'Antonino, L., Silva, A. A., Ferreira, L. R., Cecon, P. R., Quirino, A. L. S., & Freitas, L. H. L. (2009). Efeitos de culturas na persistência de herbicidas auxínicos no solo. *Planta daninha*, 27(2), 371-378.

de Aguiar, A. C. M., Paiva, M. C. G., Júnior, L. H. B., da Silva, E. M. G., de Souza, P. S. R., & da Silva, A. A. (2020). Seleção de espécies indicadoras de resíduos de herbicida dicamba no solo. *Agrarian*, 13(48), 187-194.

de Oliveira, M. F., & Brighenti, A. M. (2011). Comportamento dos herbicidas no ambiente. *Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)*.

de Oliveira, T. L., de Paula Senoski, M., Assis, A. C. D. L. P., de Miranda, V. P., Melo, C. A. D., & dos Reis, M. R. (2018). Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida ethoxysulfuron. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 61.

Desty, D. H., Goldup, A., & Whyman, B. H. F. (1959). The potentialities of coated capillary columns for gas chromatography in the petroleum industry. *J. Inst. Petrol*, 45, 287-298.

Dias, R. C., Gomes, D. M., Anunciato, V. M., Bianchi, L., Simões, P. S., Carbonari, C. A., & Velini, E. D. (2019). Seleção de espécies bioindicadoras para o herbicida indaziflam. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 18(2), 650-1.

Diesel, F., Trezzi, M. M., Pazuch, D., Xavier, E., Rosin, D., & Pagnoncelli, F. (2012). Seleção de espécies da família Cucurbitaceae e Chenopodiaceae para indicação da presença de saflufenacil no solo. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, 22.

Diesel, F., Trezzi, M. M., Vidal, R. A., Barancelli, M. V. J., & MIZERSKI, P. (2019). Bioassay for Determining Persistence of the Herbicide Saflufenacil in an Oxisol. *Planta Daninha*, 37.

- dos Santos Pereira, A., & de Aquino Neto, F. R. (2000). Estado da arte da cromatografia gasosa de alta resolução e alta temperatura. *Quimica nova*, 23(3), 371.
- Faustino, L. A., Freitas, M. A. M., Passos, A. B. R. J., Saraiva, D. T., Faria, A. T., Silva, A. A., & Ferreira, L. R. (2015). Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. *Planta Daninha*, 33(4), 795.
- Ferreira, A. I. A. J. V. (2008). *Espectrometria de massa de razões isotópicas*.
- Ferri, M. V. W., & Vidal, R. A. (2002). Persistência do acetochlor em solo sob semeadura direta e convencional. *Planta daninha*, 133-139.
- Ferri, M. V. W., & Vidal, R. A. (2003). Persistência do herbicida acetochlor em função de sistemas de preparo e cobertura com palha. *Ciência Rural*, 33(3), 399-404.
- Fiore, R. D. A. (2014). *Potencial de espécies florestais para remediação de substrato contaminado com atrazine e 2, 4-D*.
- Firmino, L. E., Tuffi Santos, L. D., Ferreira, F. A., Ferreira, L. R., & Tiburcio, R. A. S. (2008). Sorção do imazapyr em solos com diferentes texturas. *Planta Daninha*, 26(2), 395-402.
- Fontes, J. R. A., Silva, A. A., Vieira, R. F., & Ramos, M. M. (2004). *Lixiviação de herbicidas no solo aplicados com água de irrigação em plantio direto*.
- Franceschi, M., Arantes, S. A. D., Andrade, E. A. D., Rocha, A. M. D., Arantes, K. R., & Yamashita, O. M. (2019). Liming on picloram leaching in dystrophic Red Yellow Latosol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(2), 103-108.
- Franco, M. H. R., Lemos, V. T., Aguiar, L. M., França, A. C., Ferreira, E. A., & Silva, D. V. (2015). Características fisiológicas do feijoeiro cultivado em solos após fitorremediação do picloram. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 14(4), 315-325.

Gheno, E. A. (2013). *Residual de herbicidas aplicados na cultura do algodoeiro sobre feijão, milho e soja cultivados em sucessão* (Master's thesis, Universidade Estadual de Maringá).

Gonçalves, F. A. R., Melo, C. A. D., de Queiroz, P. C., Endo, R. T., da Silva, D. V., & dos Reis, M. R. (2018). Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 61.

Guerra, N. (2014). *Comportamento do aminocyclopyrachlor e indaziflam em materiais de solo de textura contrastante*.

Guerra, N., Oliveira Jr., R.S., Constantin, J., Oliveira Neto, A.M., Santos, G.2 e Jumes, T.M.C. persistência de trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium em diferentes tipos de solo (2011). *Planta Daninha*, 29(3), 673-681.

Inoue, M. H., Marchiori Jr, O., Oliveira Jr, R. S., Constantin, J., & Tormena, C. A. (2002). Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. *Planta Daninha*, 20(1), 125-132.

Inoue, M. H., Oliveira Jr, R. S. D., Constantin, J., Alonso, D. G., & Santana, D. C. D. (2008). Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30, 631-638.

Inoue, M. H., de Oliveira Junior, R. S., Constantin, J., & de Oliveira, M. F. (2000). Persistência da atividade biológica de imazaquin e imazethapyr aplicados em duas épocas do ano. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 22, 993-997.

Inoue, M. H., Possamai, A. C. S., Mendes, K. F., Ben, R., de Matos, A. K. A., & dos Santos, E. G. (2014). Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cana-de-açúcar em solos contrastantes. *Bioscience Journal*, 30(5).

Inoue, M. H., Santana, D. C., Oliveira Jr, R. S., Clemente, R. A., Dallacort, R., Possamai, A. C. S., & Pereira, K. M. (2010). Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. *Planta Daninha*, 28(4), 825-833.

Inoue, M. H., Santana, C. T. C., Oliveira Jr, R. S., Possamai, A. C. S., Santana, D. C., Arruda, R. A. D., & Sztoltz, C. L. (2011). Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. *Planta Daninha*, 29(2), 429-435.

Lacerda, A. L. D. S., & Victoria Filho, R. (2004). Curvas dose-resposta em espécies de plantas daninhas com o uso do herbicida glyphosate (1). *Bragantia*, 63(1), 73-79.

Lanças, F. M. (2009). A Cromatografia Líquida Moderna e a Espectrometria de Massas: finalmente “compatíveis”. *Scientia chromatographica*, 1(2), 35-61.

Lavorenti, A., Prata, F., & Regitano, J. B. (2003). Comportamento de pesticidas em solos: fundamentos. *Tópicos em ciência do solo*, 3, 291-334.

Lourenço, R. C., & CARVALHO, S. J. (2014, September). Persistência de sulfentrazone em solo seco estimada por bioindicadores. In *6ª Jornada Científica e Tecnológica 3º Simpósio da Pós-Graduação do IFSULDEMINAS*.

Madalão, J. C., Pires, F. R., Cargnelutti Filho, A., Nascimento, A. F., & de Oliveira Garcia, G. (2012). Fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone por espécies de adubos verdes. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 55(4), 288-296.

Madalão, J. C., Pires, F. R., Nascimento, A. F., Chagas, K., Cargnelutti Filho, A., & de Oliveira Procópio, S. (2016). Fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone em função do tempo de cultivo de *Canavalia ensiformis*. *Revista Agro@mbiente On-line*, 10(1), 36-43.

Marchesan, E. D. (2011). Seleção de espécies bioindicadoras para uso em bioensaios de lixiviação e persistência de atrazina no solo. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, 21.

Marchi, G., Marchi, E. C. S., & Guimarães, T. G. (2008). Herbicidas: mecanismos de ação e uso. *Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)*.

Marchiori Jr, O., Constantin, J., Oliveira Jr, R. S., Inoue, M. H., Pivetta, J. P., & Cavalieri, S. D. (2005). Efeito residual de isoxaflutole após diferentes períodos de seca. *Planta Daninha*, 23(3), 491-499.

Maria do Carmo, S. S., Adoryan, M. L., Favoretto, P., Neto, J. T., & Melo, P. C. T. (2005). Persistência de isoxaflutole em solo argiloso cultivado com Batata. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 4(3), 35-46.

Mello, A. J. P. D. (2018). *Uso de adubos verdes para fitorremediação de solos contaminados com amicarbazone*.

Melo, C. A. D., Dias, R. C., Mendes, K. F., Assis, A. C. L. P., & Reis, M. R. (2016). Herbicides carryover in systems cultivated with vegetable crops. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15(1), 67-78.

Mendes, K. F. (2013). *Sorção, lixiviação e efeito residual do oxadiazon no solo*.

Mendes, K. F., de Souza, T. N. R., Possamai, A. C. S., Inoue, m. H., Nunes, A. K. D. A., & Mertens, T. B. (2015). Seleção de plantas indicadoras para o monitoramento do mesotrione e metribuzin em solo argiloso. *Revista de Ciências Agroambientais, Alta Floresta, MT*, 13(1), 53-59.

Mendes, K. F., Goulart, B. F., Possamai, A. C. S., Inoue, M. H., de Matos, A. K. A., & Tschope, M. C. (2013). Lixiviação do hexazinone e da mistura hexazinone+ diuron em colunas de solos com texturas distintas. *Revista Agro@ mbiente On-line*, 7(2), 218-224.

Mendes, K. F., Inoue, M. H., de Matos, A. K. A., Possamai, A. C. S., Tschope, M. C., Goulart, B. F., & Ben, R. (2012). Seleção de bioindicadores para monitoramento da mobilidade e persistência de herbicidas aplicados no solo. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 11(2), 213-221.

- Monquero, P. A., Amaral, L. R., Binha, D. P., Silva, A. C., & Silva, P. V. (2008). Leaching potential of herbicides in soil under different rainfall simulations. *Planta Daninha*, 26(2), 403-409.
- Monquero, P. A., Binha, D. P., Amaral, L. R., Silva, P. V., Silva, A. C., & Inacio, E. M. (2008). Lixiviação de clomazone+ ametryn, diuron+ hexazinone e isoxaflutole em dois tipos de solo. *Planta Daninha*, 26(3), 685-691.
- Monquero, P. A., Côrrea, M. C., Barbosa, L. N., Gutierrez, A., Orzari, I., & Hirata, A. C. S. (2013). Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam. *Planta Daninha*, 31(1), 127-135.
- Monquero, P. A., Munhoz, W. S., & da Silva Hirata, A. C. (2013). Persistência de imazaquim e diclosulam em função da umidade do solo. *Revista Agro@ mbiente On-line*, 7(3), 331-337.
- Monquero, P. A., Sabbag, R., Orzari, I., Hijano, N., Galvani Filho, M., Dallacosta, V., ... & Hirata, A. C. (2012). Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca. *Planta Daninha*, 30(2), 415-423.
- Monquero, P. A., Silva, P. V., Silva Hirata, A. C., Tablas, D. C., & Orzari, I. (2010). Leaching and persistence of sulfentrazone and imazapic. *Planta daninha*, 28(1), 185-195.
- Nunes, A. L., & Vidal, R. A. (2009). Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais. *Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente*, 19.
- Oliveira Jr, R. S., Carneiro, J. C., Constantin, J., Santos, G., Francischini, A. C., & Oliveira Neto, A. M. (2012). Atividade residual de diuron, oxyfluorfen e prometryne no controle de *Euphorbia heterophylla*. *Planta Daninha*, 30(3), 649-658.
- Oliveira Jr, R. S., Marchiori Jr, O., Constantin, J., & Inoue, M. H. (2006). Influência do período de restrição hídrica na atividade residual de isoxaflutole no solo. *Planta Daninha*, 24(4), 733-740.

Oliveira, M. G., Dias, R. C., Melo, C. A. D., Mendes, K. F., Silva, P. V., Silva, D. V., & Reis, M. R. (2018). Tolerância da cebola implantada por semeadura direta ao flumioxazin aplicado em pós-emergência inicial. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 17(2), 585-1.

Paris Junior, M. A. *Curvas de dose resposta e isobogramas como forma de descrever a associação dos inibidores da ALS (sulfometuron-methyl e chlorimuron-ethyl) em Digitaria insularis (L.) Fedde* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Patel, F. (2018). *Eficiência agrônômica e persistência de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja* (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Pereira A.S., Shitsuka D.M., Parreira F.J., Shitsuka R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Pignati, W. A., Lima, F. A. N. D. S., Lara, S. S. D., Correa, M. L. M., Barbosa, J. R., Leão, L. H. D. C., & Pignatti, M. G. (2017). Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22, 3281-3293.

Pires, F., Souza, C., Silva, A., Procópio, S., & Ferreira, L. (2003). Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta daninha*, 21(2), 335-341.

Pires, F. R., Souza, C. M., Silva, A. A., Cecon, P. R., Procópio, S. O., Santos, J. B., & Ferreira, L. R. (2005). Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. *Planta Daninha*, 23(4), 711-717.

Procópio, S. D. O., Carmo, M. L. D., Pires, F. R., Cargnelutti Filho, A., Braz, G. B. P., Silva, W. F. P., ... & Braz, A. J. B. P. (2008). Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(6), 2517-2524.

Ribeiro, S. (2019). Watermelon sensitivity to residual of pre-emergent herbicide applied in soybean crop. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 18, 1-6.

Rocha, P. R. R. (2011). *Sorção, desorção, lixiviação e meia-vida do diuron em quatro latossolos brasileiros*.

Santos, D. P. D., Braga, R. R., Guimarães, F. A. R., Passos, A. B. R. D. J., Silva, D. V., Santos, J. B. D., & Nery, M. C. (2013). Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. *Revista Ceres*, 60(3), 354-362.

Santos, G., Francischini, A. C., Constantin, J., & Oliveira, J. R. R. S. (2012). Carryover proporcionado pelos herbicidas s-metolachlor e trifluralin nas culturas de feijão, milho e soja. *Planta Daninha*, 30(4), 827-834.

Santos, M. V., Freitas, F. C. L., Ferreira, F. A., Viana, R. G., Tuffi Santos, L. D., & Fonseca, D. M. (2006). Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. *Planta Daninha*, 24(2), 391-398.

Santos, W. D. O. (2018). *Análise de contaminação cruzada em herbicida a base de atrazina por cromatografia gasosa*.

Savaris, Q. M., Inoue, M. H., Mendes, K. F., Maciel, C. D. G., & Helvig, E. O. (2019). Determination of residual effect of indaziflam and amicarbazone in two soils through bioassAY. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 18(3), 617-1.

Seefeldt, S. S., Jensen, J. E., & Fuerst, E. P. (1995). Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed technology*, 218-227.

Silva, A. P. D. (2017). *Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar em um solo de textura média*.

Silva, C.M.M., Ferreira, L.R., Ferreira, F.A. e Miranda, G.V. (2004). Root exudation of imazapyr by eucalypt, cultivated in soil. *Planta Daninha*, 22 (1), 109-116.

Silva, G. R. D. (2013). *Comportamento do fomesafen em solos brasileiros*.

Silva Filho, U. S. D. (2018). *Potencial de espécies florestais para remediação de áreas contaminadas com herbicidas residuais*.

Silva, L. O. C., Silva, A. A., Queiroz, M. E., Lima, C. F., Silva, L. L., & D'Antonino, L. (2012). Mobilidade do ametryn em latossolos brasileiros. *Planta daninha*, 30(4), 883-890.

Souza, A. P. D. (2000). Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: I-Método do Bioensaio. *Planta Daninha*, 5-16.

Souza, J. R. D. (2008). *Tolerância de variedades de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência e efeitos residuais sobre variedades de girassol*.

Steffen, G. P. K., Steffen, R. B., & Antonioli, Z. I. (2011). Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. *Tecno-logica*, 15(1), 15-21.

Teixeira, M. F. F., de Andrade, L. C. L., Biesdorf, E. M., Biesdorf, E. M., Souza, W. M., da Paixão, G. P., & de Freitas, N. M. (2017). Lixiviação do sulfentrazone em solos do Norte de Minas Gerais cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 16(3), 246-255.

Vasconcelos, S.M.A. (2017). *Fitorremediação de solo contaminado com imazapic*.

Vianna, G. S. S. M., & Fleck, N. G. (1988). Atividade residual de herbicidas aplicados em pós-emergência para controle de inços em duas condições ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 23(10), 1095-1105.

Vidal, R. A., & Nunes, A. L. (2010). Persistência do herbicida imazaquin associado ao glyphosate ou paraquat em plantio direto. *Planta Daninha*, 28(4), 817-823.

Vivian, R., Reis, M. R., Jakelaitis, A., Silva, A. F., Guimarães, A. A., Santos, J. B., & Silva, A. A. (2006). Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 24(4), 741-750.

Wilson, K., & Walker, J. (Eds.). (2010). *Principles and techniques of biochemistry and molecular biology*. Cambridge university press.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Tayna Sousa Duque – 40%

Josiane Costa Maciel – 20%

José Barbosa dos Santos – 20%

Evander Alves Ferreira – 10%

Josiely Borges de Souza – 10%