



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

BRUNA DE LIMA FÁVARO

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE ADUBOS VERDES EM SOLOS
CONTAMINADOS COM HERBICIDAS**

BANDEIRANTES, PARANÁ, BRASIL

2019

BRUNA DE LIMA FÁVARO

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE ADUBOS VERDES EM SOLOS
CONTAMINADOS COM HERBICIDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz
Meneghel.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Maria Conte

BANDEIRANTES, PARANÁ, BRASIL

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

dD278p de Lima Fávoro, Bruna
Potencial Fitorremediador de Adubos Verdes em
Solos Contaminados com Herbicidas / Bruna de Lima
Fávoro; orientadora Ana Maria Conte - Bandeirantes,
2019.
53 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade
Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

1. Contaminação de Solo. 2. Adubo Verde. 3.
Biorremediação. 4. Fitorremediação. I. Conte, Ana
Maria, orient. II. Título.

BRUNA DE LIMA FÁVARO

**POTENCIAL FITORREMEIADOR DE ADUBOS VERDES EM SOLOS
CONTAMINADOS COM HERBICIDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em
Agronomia, da Universidade Estadual do Norte do
Paraná, *Campus Luiz Meneghel*.

Aprovada em: 31/07/2019

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof ^ª . Dr ^ª . Ana Maria Conte	UENP/CLM
Prof. Dr. Francisco Carlos Mainardes da Silva	UENP/CLM
Prof. Dr. Claudinei Paulo de Lima	FIO/OURINHOS
Prof ^ª . Dr ^ª . Juliana Aparecida de Souza.	CEEPA/FERNANDO COSTA
Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto	UENP/CLM

Prof^ª. Dr^ª. Ana Maria Conte
Universidade Estadual do Norte do Paraná,
Campus Luiz Meneghel.

AGRADECIMENTOS

Agradeço necessariamente a Deus como guia de meu caminho, das minhas ações e por estar sempre presente em minha vida.

A minha família e meu namorado pelo carinho, amor, compreensão, calma e principalmente pelo ensinamento de vida. Amo vocês.

Aos meus amigos, pelos momentos compartilhados, pelos carinhos, parcerias, companheirismo e auxílios. A Catharina Bertolini Vassão, pela amizade e parceria desde o início do mestrado, eu não poderia ter optado por melhor companhia, obrigada por estar presente sempre, pelo amadurecimento, pelas experiências vividas, que mesmo com nossas diferenças convivemos em alegria, harmonia. Obrigada.

Um especial agradecimento a minha orientadora Dr^a. Ana Maria Conte, pessoa na qual escolhi para me auxiliar nessa etapa, pois além de ter grande admiração profissional, tenho admiração pessoal, agradeço por me nortear, pelas sugestões oferecidas, pelo auxílio, paciência, e tempo doado, para a concretização desse trabalho.

Obrigada a todos que participaram neste período, que de alguma forma acrescentaram para a minha formação e em minha vida.

Meus sinceros agradecimentos por tudo.

*“Se você não puder voar, corra. Se não puder correr, ande.
Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de
qualquer jeito.”*

Martin Luther King

FÁVARO, Bruna de Lima. **Potencial fitorremediador de adubos verdes em solos contaminados com herbicidas**. 2019. 53p. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2019.

RESUMO

É necessária a remediação de solos contaminados, porém as técnicas de remediação tradicionais são muito onerosas. A fitorremediação é uma técnica simples e de baixo custo, onde pode-se utilizar diferentes espécies vegetais, entre elas destacam-se as utilizadas como adubos verdes, que também melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo, trazendo benefícios como a ciclagem de nutrientes e redução da evaporação da água no solo. Este estudo objetivou verificar a eficiência de adubos verdes como plantas fitorremediadoras em solos contaminados com herbicidas, através de análise com cultura bioindicadora. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Fazenda Experimental Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel do município de Bandeirantes–Paraná. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com esquema de 6x2x3, sendo 5 adubos verdes: 2 espécies de crotalárias (*Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis*), mucuna preta (*Mucuna pruriens*), feijão guandú (*Cajanus cajan*), nabo forrageiro (*Brassica rapa subsp. rapa*) e com 1 solo descoberto (testemunha), em 2 tipos de textura de solo: textura muito argilosa e textura média, com a aplicação de 3 herbicidas, considerados os agentes contaminantes: sulfentrazone, clomazone e atrazina, em doses recomendadas para cana-de-açúcar e a soja (*Glycine max*), como planta bioindicadora. O experimento foi feito em vasos com capacidade de 7 L, preenchidos com solos coletados numa profundidade de 0-20 cm. A semeadura dos adubos verdes foi realizada 20 dias após a aplicação dos herbicidas, e as culturas foram conduzidas por 60 dias. Ao término do experimento avaliou-se as plantas fitorremediadoras quanto ao número de indivíduos por vaso, altura, diâmetro da haste, número de folhas, massa verde e massa seca da parte aérea, após a avaliação foi realizada a semeadura da soja, a cultura foi mantida por 50 dias e em seguida avaliada quanto ao número de plantas por vaso, altura, diâmetro da haste, número de folhas, massa verde e massa seca da parte aérea e fitotoxicidade visual. Os dados foram comparados pela análise de variância, em nível de 5% de probabilidade, utilizando o software SAS. Os resultados dos ensaios com adubos verdes permitiram concluir melhor desempenho fitorremediador em solos de textura média do que os de textura argilosa e os herbicidas clomazone e atrazina são mais suscetíveis a fitorremediação quando comparado com o sulfentrazone. Após a introdução da bioindicadora, a mesma apresentou valores relativamente próximos, evidenciando que os adubos verdes possuem potencial fitorremediador para os herbicidas testados. Também ocorreu melhor desenvolvimento da bioindicadora em solos de textura média, quando comparado com textura muito argilosa.

Palavras-chave: Contaminação de solo, adubo verde, biorremediação, fitorremediação.

FÁVARO, Bruna de Lima. **Fitorremediador potential of green manures in soils contaminated with herbicides**. 2019. 57p. Dissertation in Agronomy-Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2019.

ABSTRACT

Remediation of contaminated soils is necessary, but traditional remediation techniques are very costly. Phytoremediation is a simple and low-cost technique, where different plant species can be used, among which are the green fertilizers, which also improve the physical, chemical and biological conditions of the soil, bringing benefits such as nutrient cycling and reduction of water evaporation in the soil. This study aimed to verify the efficiency of green fertilizers as phytoremediating plants in soils contaminated with herbicides, through analysis with Bioindicator culture. The experiment was conducted in a protected environment at the Experimental Farm Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando of the State University of Northern Paraná, Campus Luiz Meneghel of the municipality of Bandeirantes-Paraná. The experimental design was in randomized blocks, with a 6x2x3 scheme, with 5 green fertilizers: 2 species of *Crotalaria* (*Crotalaria breviflora* and *Crotalaria spectabilis*), black velvet bean (*Mucuna pruriens*), pigeon pea beans (*cajanus cajan*), forage turnip (*Brassica rapa subsp. rapa*) and with 1 soil uncovered (control), in 2 types of soil texture: very clayey texture and medium texture, with the application of 3 herbicides, considered the contaminant agents: Sulfentrazone, Clomazone and atrazine, in doses Recommended for sugarcane and soybean (*Glycine max*) as a bioindicator plant. The experiment was carried out in pots with a capacity of 7 L, filled with soils collected at a depth of 0-20 cm. The sowing of green fertilizers was performed 20 days after herbicide application, and the crops were conducted for 60 days. At the end of the experiment, the phytoremediating plants were evaluated for the number of individuals per pot, height, stem diameter, number of leaves, green mass and shoot dry mass, after the evaluation was performed the soybean sowing, the crop was maintained For 50 days and then evaluated for the number of plants per pot, height, stem diameter, number of leaves, green mass and dry mass of the aerial part and Visual phytotoxicity. Data were compared by analysis of variance, at a 5% probability level, using SAS software. The results of the tests with green fertilizers allowed to conclude better phytoremmenator performance in soils of medium texture than those of clayey texture and the herbicides Clomazone and atrazine are more susceptible to phytoremmenation when compared to the Sulfentrazone. After the introduction of the Bioindicator, it showed relatively close values, evidencing that green fertilizers have phytoremediator potential for the herbicides tested. There was also a better development of the bioindicator in soils of medium texture, when compared with very clayey texture.

Keywords: soil contamination, green manure, bioremremediation, phytoremmenation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das marcas comerciais de herbicidas por classe toxicológica.....	6
Figura 2 – Aspecto geral da aplicação do calcário	20
Figura 3 - Aspecto geral das culturas após 23 dias após a semeadura.	21
Figura 4 - Aspecto geral das culturas após 47 dias após a semeadura.	21
Figura 5 - Aspecto geral das culturas após 55 dias da semeadura.....	22
Figura 6- Avaliação da altura das plantas.....	23
Figura 7 - Contagem das folhas de <i>Cajanus Cajan</i>	23
Figura 8 - Contagem das folhas da <i>Brassica rapa sub. rapa</i>	23
Figura 9 - Avaliação de <i>Cajanus cajan</i> quanto ao diâmetro.	24
Figura 10 - Dia da semeadura da soja.....	24
Figura 11 - Experimento aos 50 dias após semeadura da soja	25
Figura 12 - Aferição quanto à altura de plantas.....	26
Figura 13 - Contagem das folhas da soja.....	26
Figura 14 - Avaliação quanto ao diâmetro.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da toxicidade dos agrotóxicos.	4
Tabela 2 - Classificação toxicológica conforme a persistência no meio ambiente.	5
Tabela 3 – Mecanismo da fitorremediação e seus processos	10
Tabela 4 - Análise química e granulométrica do LATOSSOLO VERMELHO, com textura muito argilosa - Bandeirantes/PR.	20
Tabela 5 - Análise química e granulométrica do LATOSSOLO VERMELHO, com textura média – Ribeirão do Pinhal/PR.	20
Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de <i>Crotalaria spectabilis</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	29
Tabela 7 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de <i>Crotalaria breviflora</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	30
Tabela 8 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de <i>Cajanus cajan</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	31
Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de <i>Mucuna pruriens</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	32
Tabela 10 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de <i>Brassica rapa sub. rapa</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	33
Tabela 11 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da <i>Crotalaria spectabilis</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	34
Tabela 12 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da <i>Brassica rapa sub. rapa</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	34
Tabela 13 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da testemunha em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019	35

Tabela 14 -Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da <i>Crotalaria breviflora</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.....	36
Tabela 15 -Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da <i>Cajanus cajan</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019	38
Tabela 16 -Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da <i>Mucuna pruriens</i> em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019	39
Tabela 17 Valores médios e desvio padrão para altura de plantas de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	40
Tabela 18 -Valores médios e desvio padrão para a número de plantas de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	40
Tabela 19 - Valores médios e desvio padrão para número de folhas de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	41
Tabela 20 - Valores médios e desvio padrão para diâmetro de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	41
Tabela 21 - Valores médios e desvio padrão para massa fresca de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	42
Tabela 22 - Valores médios e desvio padrão para massa seca de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	43
Tabela 23 - Valores médios e desvio padrão para toxicidade de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.	43
Tabela 24 – Resumo da análise de variância (P–valor) para a espécie bioindicadora utilizada no experimento, nas duas texturas de solo testada, independente dos herbicidas e de adubos verdes empregados.	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 CONTAMINAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL	2
2.2 PRODUÇÃO AGRÍCOLA	3
2.3 OS AGROTÓXICOS	3
2.3.1 Herbicidas	5
2.3.1.1 Mecanismo de ação do sulfentrazone.....	6
2.3.1.2 Mecanismo de ação do atrazina.....	7
2.3.1.3 Mecanismo de ação do clomazone.....	8
2.4 REMEDIAÇÃO DE SOLOS	9
2.4.1 Fitorremediação.....	10
2.4.2 Adubos verdes para fitorremediação.....	11
2.4.3 Bioindicadoras.....	12
3. POTENCIAL FITORREMEIADOR DE ADUBOS VERDES EM SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS.	14
3.1 INTRODUÇÃO	16
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.2.1 Local experimental e solo	19
3.2.2 Delineamento e condução experimental	19
3.2.3 Condução experimental dos adubos verdes	20
3.2.3.1 Parâmetros avaliados	22
3.2.4 Condução experimental da cultura bioindicadora.....	24
3.2.4.1 Parâmetros avaliados.....	25
3.2.5 Análise estatística.....	27
3.3 RESULTADO E DISCUSSÃO	28
3.3.1 Espécies fitorremediadoras	28
3.3.2 Espécie bioindicadora (soja) – Efeito individual das plantas fitorremediadoras	34
3.3.3 Espécie bioindicadora (Soja) – Efeito comparativo entre as plantas fitorremediadoras.....	39
3.4 CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da produção agrícola, ocorreu um acréscimo na utilização de agrotóxicos e, conseqüentemente passou-se a ter um agravamento de áreas contaminadas por esses compostos. Segundo Belo et al. (2016), muitos herbicidas possuem características que adsorvem no solo por longos períodos. O impacto ambiental dos herbicidas pode envolver perdas econômicas se tratando de culturas e pode ocasionar perda da biodiversidade do entorno (REIS et al., 2008; ROBINSON, 2008), também tende a ocorrer lixiviação pela ação da chuva ou infiltração e causar contaminação dos corpos hídricos, por conseguinte contaminar diversas espécies da fauna e da flora que tiverem interação com estes compostos (SCHEIL et al., 2009).

Para a EMBRAPA (2009), a técnica de remediação de uma área contaminada, pode ser feita por meios químicos, físicos e biológicos. O meio biológico é chamada biorremediação, realizada por meio de microrganismos e plantas. As opções para a descontaminação devem compreender a eficiência no processo, execução simples, tempo relativamente curto e baixo custo (PIRES et al., 2003). A fitorremediação é uma das ferramentas da biorremediação que tem a capacidade de conter, isolar, remover ou reduzir as concentrações dos contaminantes, utilizando os vegetais e os microrganismos que estão associados a eles (EMBRAPA, 2009).

A interação do solo, plantas fitorremediadoras e o contaminante é o começo para a fitorremediação ser eficaz (CABRAL, SANTOS, 2016). Espécies de plantas utilizadas como adubos verdes podem ser importantes para a fitorremediação, pois o seu cultivo pode promover a descontaminação do solo além de manter ou aumentar a qualidade química (fertilidade), física (descompactação) e biológica do solo (vida microbiana), aliados aos benefícios da cobertura do solo que está atrelado ao manejo e a conservação do solo, (EMBRAPA, 2009; POEPLAU, DON, 2015).

Nada impede de se utilizar várias espécies para o tratamento de fitorremediação de uma área, assim o tratamento pode ser mais eficiente e, por conseguinte melhorar a qualidade do solo (PIRES et al., 2003). Este trabalho teve como objetivo verificar a potencialidade de plantas utilizadas como fitorremediadoras de herbicida em solos de textura muito argilosa e textura média.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTAMINAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL

Conforme a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nº. 001/86, que dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental, define que impacto ambiental é:

“Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais” (BRASIL, 1986).

A Resolução nº 420 de 2009, regida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas, considera que:

“Presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico” (BRASIL, 2009).

Para Teixeira (2008), quando uma substância altera as aparências do meio ambiente, não sendo comprovada que existe dano ou o malefício, emprega-se o termo poluição, porém, quando ocorre a verificação de efeito prejudicial das substâncias para o meio ambiente utiliza-se contaminação, é considerado também o termo contaminação para o nível de acumulação da substância no meio ambiente.

A contaminação é considerada quando qualquer acúmulo, deposição ou até mesmo substâncias que são enterradas, infiltradas ou lixiviadas de forma natural, planejada ou acidental. Os contaminantes ou poluentes são encontrados em diferentes locais do meio ambiente, como em solo, sedimentos, rochas ou em corpos hídricos, como em águas superficiais e subterrâneas (CETESB, 2001).

2.2 PRODUÇÃO AGRÍCOLA

A modernização da agricultura ocasionou diversas transformações na produção rural brasileira. Transformando o antigo modelo que era mais voltado para a conservação do solo, para o novo modelo que é para o aumento da produtividade para a exportação, baseando em monoculturas (CORTEZ, 2017; MORAIS et al., 2014).

Conforme relatos de Augusto et al. (2012), ocorreu duas grandes mudanças na produção rural, a primeira e importante mudança tecnológica foi a mecanização para a atividade agrícola. Ligado diretamente com o êxodo rural, pela implantação de máquinas e equipamentos para a produção agrícola e abandonando a mão-de-obra convencional. A segunda mudança ocorreu com a introdução de insumos químicos no campo. Ressalta que a intensificação do uso de agrotóxicos foi pela sua utilização a partir da Segunda Guerra Mundial.

O uso de compostos orgânicos como agrotóxicos e fertilizantes químicos, estão inteiramente relacionados a necessidade da produção agrícola para atender a demanda populacional, essas substâncias são utilizadas para a proteção contra pragas, doenças e outros fatores para promover o aumento da produtividade agrícola (PEREIRA et al., 2017).

2.3 OS AGROTÓXICOS

A Lei Federal 7.802 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências, em seu Art. 2º considera que:

“I - agrotóxicos e afins: a) os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos; b) substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento” (BRASIL, 1989).

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (2019), os agrotóxicos como substâncias e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, com aplicação aos setores de produção agrícola, que tem os objetivos de combater, controlar ou exterminar as pragas que possam atacar, lesar ou transmitir doenças dos cultivos de lavouras,

A aplicação dos agrotóxicos nas lavouras brasileiras tem ocasionado algumas consequências, tanto para o meio ambiente como para a saúde humana. Condicionados por fatores ligados ao uso descontrolado ou inadequado, ao nível de toxicidade e fixação no ambiente e entre outros fatores relacionados aos agrotóxicos (MORAIS, 2014).

Conforme explana Braibante et al. (2012), existe atualmente muitas formulações de agrotóxicos, abrangendo inseticidas para combates de insetos, fungicidas que atacam fungos, nematicidas que controlam nematoides, herbicidas que atacam plantas daninhas e outras substâncias que são como reguladores de crescimento, desfolhantes e dessecantes. Podem ser comercializados em diferentes formulações ou com mais de um princípio ativo e com variações nominais.

Para Trevan (1927), os agrotóxicos podem ser classificados de acordo com os perigos que eles tendem a representar para os seres humanos e o meio ambiente. Esta classificação se baseia em experimentos feitos em laboratórios, que tinham como objetivos determinar a exata dosagem para matar 50% dos animais testados, atualmente é conhecida como DL50 ou dose letal 50%.

A classificação de toxicidade varia de I a IV, Classe I para produtos extremamente tóxicos; Classe II para produtos altamente tóxicos; Classe III para produtos mediantemente tóxicos; e Classe IV para produtos poucos tóxicos, a Tabela 1 ilustra por meio de faixas coloridas a classificação da toxicidade dos agrotóxicos (EMBRAPA, 2017).

Tabela 1 - Classificação da toxicidade dos agrotóxicos.

Classe toxicológica	Toxicidade	DL50% (mg/Kg)	Faixa Colorida
I	Extremamente tóxico	≤5	Vermelha
II	Altamente tóxico	Entre 5 e 50	Amarela
III	Mediantemente tóxico	Entre 50 e 500	Azul
IV	Pouco tóxico	Entre 500 e 5000	Verde

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2017).

Segundo Ribeiro, Vieira (2010), outras propriedades podem estar relacionadas aos agrotóxicos, como a persistência no meio ambiente, com o tempo em que a molécula do composto químico permanece sem alteração no ambiente, ocasionando problemas ambientais.

O Ibama (2010), classifica o produto conforme porcentagem de desprendimento de CO₂ dos compostos (Tabela 2), no caso sua persistência no meio ambiente.

Tabela 2 - Classificação toxicológica conforme a persistência no meio ambiente.

Porcentagem	Nível de Persistência	Tempo de meia vida (dias)
0 - 1%	Persistência alta	> 180
1 -10%	Persistência média	90 – 180
11 - 25%	Persistência reduzida	30 – 90
> 25%	Não persistente	< 30

Fonte: Adaptado de IBAMA (2010).

2.3.1 Herbicidas

De acordo com o relatório de comercialização de insumos agrícolas do IBAMA (2016), os herbicidas representam a classe mais comercializada entre os agrotóxicos no Brasil, com cerca de 295.000,00 toneladas vendidas no ano de 2014. Para Ronchi et al. (2016), o uso em larga escala do herbicida é explicado por se tratar de compostos químicos econômicos, eficientes e práticos para controle de plantas daninhas.

Ao avaliar a variedade de uso dos herbicidas, verifica-se que exista 426 tipos de plantas daninha catalogada, e que poderiam atingir 138 culturas comerciais cadastradas. Especificamente as plantas daninhas não cadastradas como culturas específicas, logo são potencialmente danosas a todas as culturas, justamente para atender a condição-produtos, haveria no mercado de herbicidas cerca de 58 mil potenciais derivados para as diversas combinações entre as 426 plantas daninhas versus 138 culturas (TEODOROVICZ; ALVAREZ; GUIMARÃES, 2016).

Conforme Ccancapa et al. (2016), o crescimento do uso de herbicidas é atrelado ao aumento de casos de contaminação ambiental, muitas vezes pelo uso excessivo ou incorreto desses agrotóxicos. Segundo Andrade et al. (2010), as recomendações de herbicidas no Brasil, leva somente em consideração a seletividade dos herbicidas para serem aplicados nas culturas que sofrem com as infestações e não levam em conta o que podem ocasionar as aplicações dos herbicidas no ambiente ou em seu entorno.

Determinados herbicidas conservam-se no solo por um tempo além do necessário, após o ciclo da cultura que foi necessária a aplicação. Assim é capaz de provocar intoxicação em novas culturas que serão inseridas na mesma área (BELO et al., 2016).

Para eliminar os problemas futuros com os herbicidas, é importante utilizar produtos não residuais. Porém, isso nem sempre é possível, devido a carência de opções no

mercado de produtos seletivos e eficientes, até mesmo, pela quantidade de aplicações dos produtos que uma cultura deva receber durante a mesma safra (MADALÃO et al., 2016). A nível de comparação, a Figura 1 mostra a distribuição das marcas comercializada de produtos formuladores entre as classes toxicológica no relatório semestral de 2009, como se pode analisar, não houve herbicidas de classe IV sendo comercializados e na classe I apresentou 7 marcas comerciais (IBAMA, 2010).

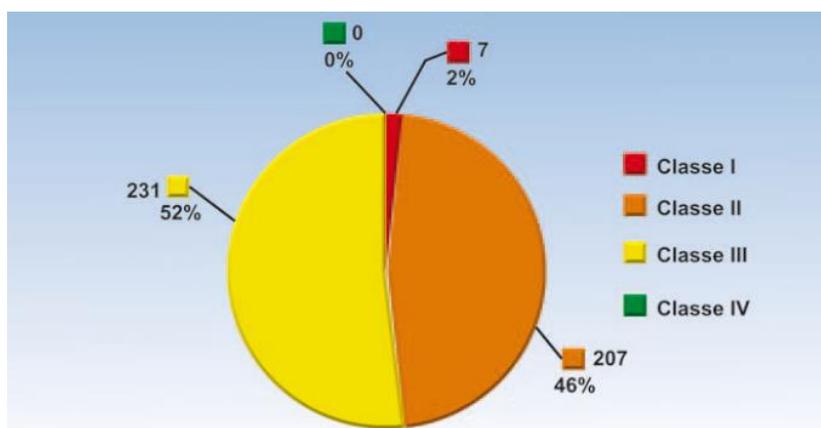


Figura 1 - Distribuição das marcas comerciais de herbicidas por classe toxicológica.

Fonte: Ibama (2010).

2.3.1.1 Mecanismo de ação do sulfentrazone

O sulfentrazone é um herbicida usado em pré ou pós-emergência de ação sistêmica, recomendado para controle de plantas daninhas em culturas de abacaxi, citros, café, fumo, soja e cana-de-açúcar. Uma única aplicação é capaz de eliminar as plantas daninhas, (ADAPAR, 2019), sendo considerado de classe I, ou seja, extremamente tóxico. O meio de ação deste herbicida nas plantas é através da absorção do sistema radicular, a translocação é feita pelo floema da planta, com pequenos movimentos, agindo como um processo rompimento da membrana celular, permitindo a dessecação foliar rápida nas plantas que emergem (RODRIGUES; ALMEIDA 2011).

A semidesintegração do herbicida sulfentrazone, diferencia segundo as condições edafoclimáticas locais, ou seja, o tempo de meia-vida no solo é cerca de 110 a 280 dias (FMC CORPORATION, 1995). Com mecanismo inicial de degradação a atividade microbiológica, comporta-se como ácido fraco, apresenta baixa dissociação em água, cerca de 110 mg L^{-1} , com o aumento do pH no solo sua solubilidade aumenta (pH 6,0: 110 mg L^{-1} e pH

7,5: 1.600 mg L⁻¹), é encontrado comumente no solo na forma não - ionizada. (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

A disponibilidade de água está diretamente relacionada com a dissipação do sulfentrazone, no qual as condições de degradação da molécula, pode ser facilitada significativamente ou sofrer lixiviação e acumular em camadas mais profundas no solo (OHMES et al., 2000). De acordo com a pesquisa de Blanco et al., (2005), ao ser aplicado para controle em cultura de soja, na dose de 0,6 kg.ha⁻¹, foi observado uma persistência no solo por 376 dias após a aplicação (DAA), quando a aplicação foi feita em dobro (1,2 kg ha⁻¹), a persistência ultrapassou os 539 DAA. Em solo cultivado com cana-de-açúcar, a persistência do sulfentrazone foi de 601 a 704 dias para doses de 0,6 kg ha⁻¹ e 1,2 kg ha⁻¹ respectivamente (BLANCO et al., 2010).

Considerando que o sulfentrazone é utilizado em grandes áreas e culturas de interesse agrícola do Brasil e as aplicações são contínuas, com o passar dos anos pode desenvolver novas fontes de contaminação de solos e de corpos hídricos, por ser persistente e pelo efeito residual do herbicida no solo (*carryover*), indiretamente pode ocasionar alterações nos metabolismos fotossintéticos das plantas em que são aplicados (ALVES et al., 2019). Como o sulfentrazone é considerado um inibidor da enzima protoporfirina oxidase (PROTOX), pode afetar diversos processos fisiológicos das plantas, como a capacidade fotossintética, transpiração, a eficiência de carboxilação e o uso de água, alterando o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos (VARGAS et al., 2014). As folhas de plantas atingidas pelo sulfentrazone, em até dois dias após a aplicação tornam-se brancas ou cloróticas, murcham e necrosam (VIDAL, 1997).

2.3.1.2 Mecanismo de ação do atrazina

Segundo a ANVISA (2019), o herbicida atrazina tem sido empregado em plantas daninhas infestantes em pré e pós-emergência nas culturas de cana-de-açúcar, abacaxi, milho, milheto, pinus, seringueira, sisal e sorgo. Sua classificação toxicológica é mediamente tóxico (classe III), está em sétimo lugar no ranking dos ingredientes ativos mais comercializados em 2009. O atrazina é considerado um herbicida muito persistente e com alta toxicidade para aves e abelhas, além de se enquadrar como muito tóxico para os organismos aquáticos (IBAMA,2016). O atrazina é um composto recalcitrante facilmente lixiviado, após

um longo período de uso intensivo e comumente encontrado em solos e corpos hídricos, poluindo-os (PAPADAKIS et al., 2015).

O atrazina é um herbicida pertencente ao grupo das triazinas, sendo considerado uma base fraca ($pK_a = 1,7$), possui uma solubilidade em água de 33 mg L^{-1} , o tempo de meia vida varia de 37 dias para até 3 a 5 anos, dependendo das variações edafoclimáticas locais (ALBUQUERQUE et al., 2001). Inúmeros trabalhos que relacionam a sorção do atrazina em diversos solos, expõem a dependência da matéria orgânica total e fracionada, argila, capacidade de troca catiônica (CTC) temperatura, pH (GONZALEZ et al., 2016; DUTTA et al., 2015; WU et al., 2015).

A via de acesso para ação do atrazina nas plantas daninhas é no fotossistema II (PS II) na reação à luz da fotossíntese (HESS, 2000). É naturalmente feito através das raízes, que transporta o herbicida via xilema até a parte aérea da planta infestante (SILVA; SILVA, 2007). Assim obstrui a ligação que dá continuidade ao processo de transferência fotossintética, formando radicais livres, as plantas daninhas serão afetadas assim que emergirem e começarem a fazer fotossíntese, morrerão por causa da peroxidação de lipídeos nas membranas (EMBRAPA, 2008).

2.3.1.3 Mecanismo de ação do clomazone

O herbicida clomazone ou clomazona, está classificado como medianamente tóxico (classe III), é aplicado de forma pré e pós - emergentes em plantas daninhas que estão infestando culturas de algodão, arroz, batata, cana-de-açúcar, eucalipto, fumo, mandioca, melão, milho, pimenta e soja. O clomazone é persistente no solo e solúvel em água, logo apresenta grande risco de lixiviação, podendo atingir sucessivamente lençóis freáticos, a fauna e a flora do entorno (ANVISA, 2019).

Possui solubilidade em água em 1100 mg L^{-1} a 25 °C e com um tempo de meia vida por mais de 120 dias (ZANELLA et al., 2008). Segundo Oliveira et al. (2015) com um tempo de permanência de 15 a 40 dias no solo. O clomazone tende a se manter em seu estado molecular, na forma de um herbicida não - ionizável (JIA et al., 2013). O comportamento desse herbicida pode ser influenciado pelas condições locais do solo e dos fatores edafoclimáticas (SILVA et al., 2007).

O clomazone pertence ao grupo químico isoxazolidinona, quando aplicados em pré emergência, o principal meio de translocação é feito pelo xilema, dessa maneira é capaz

de inibir enzimas (inibidor de diterpeno) da via de síntese do responsável pela proteção da clorofila, os pigmentos carotenoides localizados nos cloroplastos. Sem carotenoides a biossíntese de clorofila fica inibida, cessa a pigmentação verde e a planta se torna clorótica. Porém os carotenoides já existentes ou os tecidos maduros da planta não são afetados, apenas os novos carotenoides (EMBRAPA, 2008).

2.4 REMEDIAÇÃO DE SOLOS

Segundo a resolução do CONAMA N° 420/2009 define que remediação é:

“Uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes” (BRASIL, 2009).

As preocupações com a contaminação ambiental são amplamente discutida no mundo, existem problemas de contaminação em todo o ambiente mundial. A complicação está descontaminar o ambiente decorrente de inúmeras atividades antrópicas, resulta em contaminação por compostos orgânicos, inorgânicos e metais pesados, tendo como receptores finais o solo e os corpos hídricos (VASCONCELLOS et al., 2012).

Segundo Nalon (2008), a busca é frequente por ferramentas que possam descontaminar áreas poluídas por diversos compostos, mas que sejam eficientes no processo de descontaminação, com fácil execução e relativamente baixo custo. Assim para a EMBRAPA (2009), a técnica de remediar uma área contaminada, pode ser feita por reagentes químicos, por remoção física da camada contaminada, ou biológica, a chamada biorremediação, com a utilização de microrganismos e plantas.

A biorremediação é vista como uma técnica de descontaminação do ambiente por meio de organismos vivos, tais como fungos, bactérias, algas, enzimas, plantas (NALON, 2008). Dentro da biorremediação, se encontra a fitorremediação, que é basicamente a utilização de espécies de vegetais com a associação da sua microbiota, para a degradação, imobilização de compostos contaminantes que estão no solo. Que além de serem aplicadas em associação para efetuar a remoção, imobilização ou minimizar a toxicidade ao ambiente, possam ainda auxiliar na correção, fertilização e melhorar a qualidade da matéria orgânica no solo, (PIRES et al., 2003).

Conforme Tortora et al. (2010), a fitorremediação pode ser utilizada para remoção de poluentes de poços subterrâneos, descontaminação de solo, como em derramamento de combustíveis no solo, tratamento de efluentes, degradação de herbicidas, decomposição de substâncias orgânicas e inorgânicas.

A fitorremediação pode ser dividida em oito processos denominados de fitoextração, fitovolatilização, fitoestimulação, fitoacumulação, fitodegradação, rizovolatilização, rizodegradação e rizoestabilização, que podem trabalhar separadamente ou em conjunto sobre o contaminante, os processos do mecanismo de fitorremediação (Tabela 3), acontece em função das características morfofisiológicas de cada espécie vegetal (EMBRAPA, 2009; COUTINHO et al., 2015).

Tabela 3 – Mecanismo da fitorremediação e seus processos

MECANISMOS	PROCESSOS
FITOEXTRAÇÃO	Absorção do contaminante pelos tecidos das plantas.
FITOACUMULAÇÃO	Absorção do contaminante pelas partes das plantas, sem modificar as moléculas do composto.
FITODEGRADAÇÃO	Metabolização do contaminante em uma forma menos tóxica ou atóxica.
FITOVOLATILIZAÇÃO	Remoção do contaminante e posterior conversão para forma volátil, a qual é liberada na atmosfera.
FITOESTIMULAÇÃO	As raízes promovem a estimulação da comunidade microbiana apta a biodegradar o contaminante, resultando na liberação de exsudatos radiculares pela espécie vegetal.
RIZODEGRADAÇÃO	Biodegradação do contaminante pelos micro-organismos associados à rizosfera da planta. Geralmente, ocorre após a fitoestimulação.
RIZOVOLATILIZAÇÃO	O contaminante é rizotransformado e é liberado na atmosfera na forma volátil.
RIZOESTABILIZAÇÃO	Estabilização do composto por imobilização, lignificação ou humificação na rizosfera da planta, podendo o contaminante permanecer inativo no solo, mesmo que seja preservado sua integridade molecular

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2009).

2.4.1 Fitorremediação

Conforme Coutinho et al. (2015), para a fitorremediação ter sucesso, é necessário que as plantas tenham um sistema radicular profundo, boa capacidade de absorção, acelerada taxa de crescimento, capaz de ser resistente ao poluente, de fácil controle e destinação final. A EMBRAPA (2009), indica que as espécies a serem escolhidas devem ter também alta taxa de produção de biomassa, capacidade transpiratória elevada, resistentes a doenças e pragas, adaptabilidade ao clima e solo, boa fixação biológica de nitrogênio, de fácil alcance e que possam ocorrer de forma natural nas áreas contaminadas.

Para Lambert et al. (2012), é necessário caracterizar o solo, investigar a distribuição do contaminante no solo, o tempo que tem a contaminação no ambiente, e as características do contaminante, para assim aplicar as plantas fitorremediadoras.

Na fitorremediação ocorrem alguns obstáculos, como a dificuldade na seleção de plantas fitorremediadoras, o tempo de despoluição, a necessidade de retirada das plantas da área contaminada quando o composto é fitoacumulado ou fitodegradado a um composto ainda tóxico e a dificuldade de controle posterior da planta fitorremediadora (EMBRAPA, 2009).

Segundo Cabral (2016), a interação plantas, solo e contaminantes é o primeiro passo para o processo de fitorremediação ser eficaz. Porém necessita muitos estudos ainda para se ter a correta seleção das plantas capazes de remediar os solos brasileiros.

2.4.2 Adubos verdes para fitorremediação

Para Mateus et al. (2004), o propósito de se utilizar culturas de adubo verde em fitorremediação é a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo. Os adubos verdes sobre o solo trazem proteção contra algumas plantas daninhas, pois possuem inibidor de crescimentos das plantas daninhas, também a cobertura morta protege o solo da ação da chuva, radiação solar, reduz a evaporação da água e aumenta a ciclagem dos nutrientes.

Espécies como mucuna-preta e feijão-de-porco, pode ser importantes adubos verdes, uma vez que o seu cultivo além de promover a descontaminação, também pode ter benefícios para a fertilidade e a conservação do solo (EMBRAPA, 2009). Já o feijão guandu e o feijão-de-porco são adubos verdes produtores de elevada biomassa e utilizados como cobertura de solo (POEPLAU; DON, 2015).

Os adubos verdes, como a mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), se destacam na eficiência da fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium, apresentando uma sensível redução de fitotoxicidade em milho (SANTOS et al, 2004).

Conforme Franco et al. (2014), o cultivo com braquiária (*Urochloa britzantha*) cv. Piatã, apresentou um potencial para fitorremediação de solos contaminados por picloram, podendo ser incluídos em programa de descontaminação. Para Procópio et al., (2008), o capim-pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) também apresenta capacidade de descontaminação do herbicida picloram no solo.

Monquero et al. (2013), trabalharam na fitoremediação do Diclosulam com 15 tipos de adubos verdes, o lab-lab (*Dolichos lablab*), o feijão-guando (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), espécies de crotalárias como as: *Crotalaria juncea*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, também a mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), mucuna-cinza (*M. cinérea*), mucuna-preta (*M. aterrima*), o tremoço (*Lupinus albus*), Girassol (*Helianthus annuus*), massango (*Pennisetum glaucum*), aveia-estrigosa (*Avena strigosa*), Rabanete (*Raphanus sativus*) e o feijão sagu (*Calopogonium muconoides*), em 15 dias após a sementeira, as espécies de massango, lab-lab, mucuna anã, mucuna-preta, girassol e feijão sagu apresentaram maior porcentagem de fitotoxicidade e as plantas fitorremediadoras que apresentaram maior tolerância foram o feijão-de-porco, o feijão-guando e o tremoço.

Ainda segundo Monquero et al. (2013), existem pelo menos quatro fatores, como a redução da concentração do herbicida, a absorção foliar, a translocação reduzida do herbicida, a falta da afinidade do herbicida pelo local e apresentar uma variabilidade genética, que podem explicar a tolerância de uma planta a herbicidas.

Segundo Pires et al. (2003), tem que ocorrer a degradação da molécula herbicida para que a planta seja uma fitorremediadora eficiente. Mas durante o processo de fitoremediação as plantas podem metabolizar o composto, ocasionando a mineralização, mas vale ressaltar que os metabólitos podem trazer mais problemas do que os compostos originais.

É complicado definir apenas uma espécie como a melhor planta fitorremediadora em relação a suas características, entretanto aquela que for escolhida deve sobressair entre as outras. Nada impede de se utilizar várias espécies para o tratamento de fitoremediação de uma área, assim o tratamento possa ser mais eficiente e conseqüentemente melhorar a qualidade do solo (PIRES et al., 2003).

2.4.3 Bioindicadoras

A resistência de cultivares de uma mesma espécie de cultura como a soja, por diferenças genéticas e por variações ambientais, respondem diferencialmente a estresse químicos causados por herbicidas (BELTRÃO et al., 1983). Desta forma o uso de herbicidas pode apresentar alguns efeitos para a cultura subsequente, como efeito residual no solo, podendo apresentar efeito desejável para o controle de plantas daninhas, quanto o indesejável, afetando as espécies cultivadas em sucessão (VIANNA; FLECK, 1988).

A persistência de molécula de herbicida no solo, pode ser avaliada por várias técnicas, tais como o uso de espectrometria de massa, cromatografia líquida e gasosa e bioensaio. O bioensaio é considerado relativamente simples e de baixo custo, consiste na utilização de espécies de vegetais sensíveis, para a detecção de resíduos de herbicida no solo (NUNES; VIDAL, 2009).

Várias são as espécies de plantas empregadas em bioensaio para a verificação de efeito residual de herbicida. Para ensaios com o herbicida atrazina, Marchesan et al. (2011), testaram aveia branca, trigo, quiabo, tomate, ervilha e rabanete como bioindicadoras. Com sulfentrazone Blanco et al. (2010) utilizaram beterraba, Ferraço et al. (2017) utilizaram o milho, já Melo et al. (2010) empregaram o sorgo como espécie bioindicadora. O sorgo também foi empregado para a verificação do herbicida clomazone no solo (CONCENÇO et al., 2017).

São diversos os trabalhos de fitorremediação que utiliza soja como bioindicadora, Pires et al. (2006); Belo et al. (2016), escolheram a soja por ser uma cultura utilizada em rotação com a cana-de-açúcar e que apresenta elevada suscetibilidade ao herbicida empregado. A soja também foi empregada em experimento de Oliveira (2017), para testar o efeito residual de imazapir+imazapique em solos com arroz irrigado e azevém.

3. POTENCIAL FITORREMEIADOR DE ADUBOS VERDES EM SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS.

RESUMO: A utilização errônea de agrotóxicos traz inúmeros impactos para a área e seu entorno, como perdas econômicas, perdas da biodiversidade, contaminação do solo e de corpos hídricos. Desta forma a fitorremediação é umas das técnicas utilizadas para remediação dessas áreas contaminadas, considerada relativamente simples e de baixo custo, quando utilizadas espécies vegetais de adubos verdes podem trazer benefícios para o solo, como recuperação das condições físicas, químicas e biológicas. Este estudo objetivou verificar a eficiência de adubos verdes como plantas fitorremediadoras em solos contaminados com herbicidas. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Fazenda Experimental Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel do município de Bandeirantes-Paraná, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com esquema fatorial 6x2x3, sendo 5 adubos verdes: 2 espécies de crotalárias (*Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis*), *Mucuna pruriens*, *Cajanus cajan*, *Brassica rapa subsp. rapa* e com 1 solo descoberto (testemunha), em 2 tipos de textura de solo: textura muito argilosa e textura média, com a aplicação de 3 herbicidas, considerados agentes contaminantes: sulfentrazone, clomazone e atrazina, em doses recomendadas para cana-de-açúcar. O experimento foi feito em vasos com capacidade de 7 L, preenchidos com solos coletados numa profundidade de 0-20 cm. A semeadura dos adubos verdes foi realizada 20 dias após a aplicação dos herbicidas, e as culturas foram conduzidas por 60 dias. Ao término desta etapa avaliou-se as plantas fitorremediadoras quanto ao número de indivíduos por vaso, altura, diâmetro da haste, número de folhas, massa verde e massa seca da parte aérea. Após 60 dias a retirada das fitorremediadoras, foi feita a semeadura da soja (*Glycine max*), como cultura bioindicadora, em todos os vasos do experimento. Essa etapa do experimento foi conduzida por 50 dias e em seguida a soja foi colhida e avaliada quanto ao número de plantas por vaso, altura, diâmetro da haste, número de folhas, massa verde, massa seca da parte aérea e fitotoxicidade visual. Nestas análises considerou-se um nível de significância de 5% e os ajustes foram obtidos no software SAS. Os resultados dos ensaios com adubos verdes permitiram concluir melhor desempenho fitorremediador em solos de textura média do que os de textura argilosa e os herbicidas clomazone e atrazina são mais suscetíveis a fitorremediação quando comparado com o sulfentrazone. Após a introdução da bioindicadoras, a mesma apresentou valores relativamente próximos, evidenciando que os adubos verdes possuem potencial fitorremediador para os herbicidas testados. Também ocorreu melhor desenvolvimento da bioindicadora em solos de textura média, quando comparado com textura muito argilosa.

Palavras-chave: Contaminação de solo, adubo verde, biorremediação, fitorremediação

ABSTRACT: The erroneous use of pesticides brings numerous impacts to the area and its surroundings, such as economic losses, loss of biodiversity, contamination of the soil and water bodies. Thus, Phytoremediation is one of the techniques used for remediation of these contaminated areas, considered relatively simple and inexpensive, when used plant species of green fertilizers can bring benefits to the soil, such as recovery Physical, chemical and biological conditions. This study aimed to verify the efficiency of green fertilizers as phytoremediating plants in soils contaminated with herbicides. The experiment was conducted in a protected environment at the Experimental Farm Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando of the State University of Northern Paraná, Campus Luiz Meneghel of the municipality of Bandeirantes-Paraná, Brazil. The experiment was arranged in a randomized block design, with a factorial scheme 6x2x3, with 5 green fertilizers: 2 species of *Crotalaria* (*Crotalaria breviflora* and *Crotalaria spectabilis*), *Mucuna pruriens*, *cajanus cajan*, *Brassica rapa subsp. rapa* and with 1 soil uncovered (control), in 2 types of soil texture: very clayey texture and medium texture, with the application of 3 herbicides, considered contaminant agents: Sulfentrazone, Clomazone and atrazine, in doses Recommended for sugar cane. The experiment was carried out in pots with a capacity of 7 L, filled with soils collected at a depth of 0-20 cm. The sowing of green fertilizers was performed 20 days after herbicide application, and the crops were conducted for 60 days. At the end of this stage, phytoremediating plants were evaluated for the number of individuals per pot, height, stem diameter, number of leaves, green mass and shoot dry mass. After 60 days of phytoremediator withdrawal, soybean (*Glycine max*) was planted as a bioindicator crop in all the vessels of the experiment. This stage of the experiment was conducted for 50 days and then the soybean was harvested and evaluated for the number of plants per pot, height, stem diameter, number of leaves, green mass, shoot dry mass and visual phytotoxicity. In these analyses, a significance level of 5% was considered and the adjustments were obtained in the SAS software. The results of the tests with green fertilizers allowed to conclude better phytoremediator performance in soils of medium texture than those of clayey texture and the herbicides Clomazone and atrazine are more susceptible to phytoremediation when compared to the Sulfentrazone. After the introduction of the Bioindicator, it showed relatively close values, evidencing that green fertilizers have phytoremediator potential for the herbicides tested. There was also a better development of the bioindicator in soils of medium texture, when compared with very clayey texture.

Keywords: soil contamination, green manure, bioremediation, phytoremediation

3.1 INTRODUÇÃO

A modernização da agricultura ocasionou em diversas transformações da produção rural brasileira. Transformando o antigo modelo que era mais voltado para a conservação do solo, para o novo modelo que é para o aumento da produtividade para a exportação, baseando em monoculturas (CORTEZ, 2017; MORAIS et al., 2014). Ocorreu duas grandes mudanças tecnológica na produção rural, a mecanização para atividades agrícolas, conseqüentemente o abandono da mão-de-obra convencional e a introdução de insumos químico no campo, ressaltando a intensificação do uso de agrotóxicos a partir da Segunda Guerra Mundial (AUGUSTO et al., 2012). A aplicação dos agrotóxicos nas lavouras brasileiras tem ocasionado algumas conseqüências, tanto para o meio ambiente como para a saúde humana. Condicionados por fatores ligados ao uso descontrolado ou inadequado, ao nível de toxicidade e fixação no ambiente e entre outros fatores relacionados aos agrotóxicos (MORAIS et al., 2014).

O crescimento do uso de herbicidas é atrelado ao aumento de casos de contaminação ambiental, muitas vezes pelo uso excessivo ou incorreto desses agrotóxicos, conseqüentemente passou-se a ter um agravamento de áreas contaminadas por esses compostos (CCANCCAPA et al., 2016). O impacto ambiental dos herbicidas pode envolver perdas econômicas se tratando de culturas e pode ocasionar perda da biodiversidade do entorno (REIS et al., 2008; ROBINSON, 2008), também tende a ocorrer lixiviação pela ação da chuva ou infiltração e causar contaminação dos corpos hídricos, por conseguinte contaminar diversas espécies da fauna e da flora que tiverem interação com estes compostos (SCHEIL et al., 2009).

De acordo com o relatório de comercialização de insumos agrícolas do IBAMA (2016), os herbicidas representam a classe mais comercializada entre os agrotóxicos no Brasil, com cerca de 295.000,00 toneladas vendidas no ano de 2014. O uso em larga escala do herbicida é explicado por se tratar de compostos químicos econômicos, eficientes e práticos para controle de plantas daninhas (RONCHI et al., 2016).

Muitos dos herbicidas comercializados possuem características que adsorvem no solo por longos períodos (BELO et al., 2016). Como o sulfentrazone, sendo considerado extremamente tóxico. Sua semidesintegração diferencia segundo as condições edafoclimáticas locais, com tempo de meia-vida no solo é cerca de 110 a 280 dias (FMC CORPORATION, 1995). Com mecanismo inicial de degradação a atividade microbológica, comporta-se como ácido fraco, apresenta baixa dissociação em água, cerca de 110 mg L^{-1} .

Com o aumento do pH no solo sua solubilidade aumenta (pH 6,0: 110 mg L⁻¹ e pH 7,5: 1.600 mg L⁻¹), é encontrado comumente no solo na forma não - ionizada. (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). De acordo com a pesquisa de Blanco et al. (2005), ao ser aplicado para controle em cultura de soja, na dose de 0,6 kg ha⁻¹, foi observado persistência no solo por 376 dias após a aplicação (DAA), quando a aplicação foi feita em dobro (1,2 kg ha⁻¹), a persistência ultrapassou os 539 DAA. Em solo cultivado com cana-de-açúcar, a persistência do sulfentrazone foi de 601 a 704 dias para doses de 0,6 kg ha⁻¹ e 1,2 k ha⁻¹ respectivamente (BLANCO et al., 2010).

Já o atrazina é classificado como mediamente tóxico está em sétimo lugar no ranking dos ingredientes ativos mais comercializados em 2009 (ANVISA, 2019). A atrazina é considerado um herbicida muito persistente e com alta toxicidade para aves e abelhas, além de se enquadrar como muito tóxico para os organismos aquáticos (IBAMA, 2016). O atrazina é um composto recalcitrante facilmente lixiviado, após um longo período de uso intensivo e comumente encontrado em solos e corpos hídricos, poluindo-os (PAPADAKIS et al., 2015). O atrazina é um herbicida pertencente ao grupo das triazinas, sendo considerado uma base fraca (pKa = 1,7), possui uma solubilidade em água de 33 mg L⁻¹, o tempo de meia vida varia de 37 dias para até 3 a 5 anos, dependendo das variações edafoclimáticas locais (ALBUQUERQUE et al., 2001). Inúmeros trabalhos que relacionam a sorção do atrazina em diversos solos, expõem a dependência da matéria orgânica total e fracionada, argila, capacidade de troca catiônica (CTC) temperatura, pH (GONZALEZ et al., 2016; DUTTA et al., 2015; WU et al., 2015).

O clomazone está classificado como medianamente tóxico, persistente no solo e solúvel em água, logo apresenta risco de lixiviação, podendo atingir sucessivamente lençóis freáticos, a fauna e a flora (ANVISA, 2019). Possui solubilidade em água em 1100 mg L⁻¹ a 25°C e com um tempo de meia vida por mais de 120 dias (ZANELLA et al., 2008). Segundo Oliveira et al. (2015) com tempo de permanência de 15 a 40 dias no solo. O clomazone tende a se manter em seu estado molecular, na forma de herbicida não – ionizável (JIA et al., 2013). O comportamento desse herbicida pode ser influenciado pelas condições locais do solo e dos fatores edafoclimáticas (SILVA et al., 2007).

Para a EMBRAPA (2009), a técnica de remediação de uma área contaminada, pode ser feita por meios químicos, físicos e biológicos. O meio biológico é chamado biorremediação, realizada por meio de microrganismos e plantas. As opções para a descontaminação devem compreender a eficiência no processo, execução simples, tempo relativamente curto e baixo custo (PIRES et al., 2003). A fitorremediação é uma das ferramentas

da biorremediação que tem a capacidade de conter, isolar, remover ou reduzir as concentrações dos contaminantes, utilizando os vegetais e os microrganismos que estão associados a eles (EMBRAPA, 2009).

A interação do solo, plantas fitorremediadoras e o contaminante é o começo para a fitorremediação ser eficaz (CABRAL, 2016). Espécies de plantas utilizadas como adubos verdes podem ser importantes para a fitorremediação, pois o seu cultivo pode promover a descontaminação do solo além de manter ou aumentar a qualidade química (fertilidade), física (descompactação) e biológica do solo (vida microbiana), aliados aos benefícios da cobertura do solo que está atrelado ao manejo e a conservação do solo, (EMBRAPA, 2009; POEPLAU, DON, 2015).

Nada impede de se utilizar várias espécies para o tratamento de fitorremediação de uma área, assim o tratamento pode ser mais eficiente e por conseguinte melhorar a qualidade do solo (PIRES et al., 2003).

Este trabalho teve como objetivo verificar a potencialidade de plantas utilizadas como adubos verdes para fitorremediar herbicidas em solos de textura muito argilosa e textura média.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local experimental e solo

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Fazenda Experimental Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel da cidade de Bandeirantes, estado do Paraná, Brasil, cujas coordenadas geográficas são 23°06' Latitude Sul e 50°21' Longitude Oeste, com 440 m de altitude. O clima predominante na região é subtropical úmido, baseado na classificação climática de Köeppen.

Foram utilizados dois tipos de solos quanto a sua textura, um LATOSSOLO VERMELHO, textura muito argilosa, proveniente do município de Bandeirantes/PR e o outro de textura média, também classificado como LATOSSOLO VERMELHO, proveniente do município de Ribeirão do Pinhal/PR.

3.2.2 Delineamento e condução experimental

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x3x6, em três repetições, composto por dois tipos de textura de solo (média e muito argilosa), sendo aplicado os herbicidas sulfentrazone, atrazina e clomazone, e cinco adubos verdes: crotalárias (*Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis*), mucuna preta (*Mucuna pruriens*), nabo forrageiro (*Brassica rapa subsp. rapa*) e feijão guandú (*Cajanus cajan*), e um solo sem cultura. Os herbicidas foram aplicados nas doses de 1,2 L ha⁻¹, 3,5 L ha⁻¹ e 6 L ha⁻¹, respectivamente, para sulfentrazone, atrazina, clomazone, em doses recomendadas para a cultura da cana-de açúcar, sendo aplicados em pré emergência e utilizando a soja como planta bioindicadora.

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 7 L, com metade dos vasos preenchidos somente com solos de textura muito argilosa e a outra metade preenchida somente com o solo de textura média, coletados em profundidade de 0 – 0,20 m, avaliados inicialmente. Os solos de texturas muito argilosa e de textura média, foram corrigidos (Figura 2) para elevar a saturação em bases, apresentados nas Tabelas 4 e 5, na qual são apresentadas as análises químicas e granulométricas dos solos utilizados pós correção, e permaneceram incubados por 30 dias.



Figura 2 – Aspecto geral da aplicação do calcário
Fonte: Autor.

Tabela 4 - Análise química e granulométrica do LATOSSOLO VERMELHO, com textura muito argilosa - Bandeirantes/PR.

Prof m	pH CaCl ₂	M.O mg dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V%
0-0,20	5,7	26,8	23,6	0,64	10,7	2,2	0,0	3,36	13,5	16,9	80,1
Granulometria (g kg ⁻¹)											
			AREIA	SILTE			ARGILA				
			140	200			660				

Tabela 5 - Análise química e granulométrica do LATOSSOLO VERMELHO, com textura média – Ribeirão do Pinhal/PR.

Prof m	pH CaCl ₂	M.O mg kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V%
0-0,20	5,8	30,9	4,9	0,34	4,2	1,5	0	3,96	6,0	10,0	60,4
Granulometria (g kg ⁻¹)											
			AREIA	SILTE			ARGILA				
			670	90			240				

3.2.3 Condução experimental dos adubos verdes

Após vinte dias da aplicação dos herbicidas, realizou-se a adubação no solo de textura média, com P₂O₅ em dose de 120 kg ha⁻¹, baseado na recomendação para adubação verde (CARVALHO; AMABILE, 2006). A semeadura, foi realizada conforme a recomendação técnica para adubos verdes, segundo EMBRAPA (2014), e a irrigação do solo foi realizada para

manter próxima à capacidade de campo para todas as culturas de adubos verdes, as Figuras 3, 4 e 5, apresenta o experimento com 23, 47 e 55 dias após a semeadura dos adubos verdes.



Figura 3 - Aspecto geral das culturas após 23 dias após a semeadura.
Fonte: Autor.



Figura 4 - Aspecto geral das culturas após 47 dias após a semeadura.
Fonte: Autor.



Figura 5 - Aspecto geral das culturas após 55 dias da sementeira
Fonte: Autor.

3.2.3.1 Parâmetros avaliados

Após período de 60 dias, as plantas fitorremediadoras foram colhidas e feita a análise destrutiva, de duas plantas de adubos verdes por vaso e avaliadas quanto:

- a) Número de planta, as plantas foram contadas, obtendo-se número de plantas por vaso, conforme cada cultura de adubo verde estudada.
- b) A altura foi medida em centímetros (Figura 6), foram recolhidas duas plantas por vaso e analisadas considerando-se o colo da planta (nível do solo) até o ápice (inserção da última folha), com o uso de uma régua e os resultados expressos em cm pl^{-1}
- c) Número de folhas, todas as folhas visivelmente desdobradas foram contadas obtendo-se o número de folhas por planta (Figuras 7 e 8).
- d) Diâmetro de hastes, foi avaliado com um paquímetro digital a uma distância de 3 cm do nível do solo, e o resultado expresso em mm pl^{-1} , (Figura 9).
- e) Massa fresca e massa seca de cada cultura, para a massa fresca, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas, em seguida foi feita a pesagem de toda a parte aérea em uma balança de precisão posteriormente, as amostras foram levadas para secar em estufa a temperatura de 65°C , por 72 horas, obtendo a massa fresca e seca (g pl^{-1}), respectivamente.



Figura 6- Avaliação da altura das plantas.
Fonte: Autor.



Figura 7 - Contagem das folhas de *Cajanus Cajan*.
Fonte: Autor.



Figura 8 - Contagem das folhas da *Brassica rapa sub. rapa*.
Fonte: Autor.



Figura 9 - Avaliação de *Cajanus cajan* quanto ao diâmetro.

Fonte: Autor.

3.2.4 Condução experimental da cultura bioindicadora

Após 60 dias da retirada das fitorremediadoras, pode-se constatar mediante análise de rotina, que não foi necessária nova correção de solo, logo, realizou-se a adubação de P_2O_5 e K_2O em doses de 40 kg ha^{-1} e a semeadura da cultura da soja (*Glycine max*), como planta bioindicadora, tendo em vista que a soja foi escolhida para mensurar os fatores de contaminação do experimento, pois é sensível aos herbicidas escolhidos e assim fornecer informações sobre o contaminante do solo através da avaliação. A irrigação do solo foi realizada para manter próxima à capacidade de campo, as Figuras 10 e 11 apresentam o experimento no dia e após 50 dias de semeadura da soja.



Figura 10 - Dia da semeadura da soja

Fonte: Autor.



**Figura 11 - Experimento aos 50 dias após
semeadura da soja**
Fonte: Autor.

3.2.4.1 Parâmetros avaliados

Após período de 50 dias, as plantas bioindicadoras foram colhidas e feita a análise destrutiva de duas plantas de soja por vaso, que foram avaliadas quanto: número de plantas, altura, número de folhas, diâmetro de hastes, massa verde, massa seca e fitotoxicidade aparente.

a) Número de planta, as plantas foram contadas, obtendo-se número de plantas por vaso, da planta bioindicadora, conforme cada cultura de adubo verde estudada.

b) A altura foi medida em centímetros (Figura 12), foram recolhidas duas plantas por vaso e analisadas considerando-se o colo da planta (nível do solo) até o ápice (inserção da última folha), com o uso de uma régua e os resultados expressos em cm pl^{-1} .

c) Número de folhas, todas as folhas visivelmente desdobradas foram contadas obtendo-se o número de folhas por planta (Figura 13).

d) Diâmetro de hastes, foi avaliado com um paquímetro digital a uma distância de 3 cm do nível do solo, e o resultado expresso em mm pl^{-1} , (Figura 14).

e) Massa fresca e massa seca de cada cultura, para a massa fresca, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas, em seguida foi feita a pesagem de toda a parte aérea em uma balança de precisão, posteriormente as amostras foram levadas para secar em estufa a temperatura de 65°C , por 72 horas, obtendo a massa fresca e seca (g pl^{-1}), respectivamente.

f) Para a toxicidade visível das plantas fitorremediadoras, foi estabelecido um parâmetro de 0 (zero) a 10 para a análise visual, conforme o método utilizado por Procópio et al., (2008), desta forma, foi avaliada conforme a planta demonstrava sinais de injúria.



Figura 12 - Aferição quanto à altura de plantas.

Fonte: Autor.



Figura 13 - Contagem das folhas da soja.

Fonte: Autor.



Figura 14 - Avaliação quanto ao diâmetro.
Fonte: Autor.

3.2.5 Análise estatística

Para atingir os objetivos propostos, foi utilizado o modelo de regressão linear com efeitos mistos (efeitos aleatórios e fixos). Os modelos lineares de efeitos mistos são utilizados na análise de dados em que as respostas estão agrupadas (medidas repetidas para um mesmo indivíduo) e a suposição de independência entre as observações num mesmo grupo não é adequada (SCHALL, 1991). Tal modelo, tem como hipótese, que o resíduo obtido através da diferença entre os valores preditos pelo modelo e os valores observados tenha distribuição normal com média 0 e variância constante. Para obter a diferença estatística entre os fatores em comparação utilizou-se contrastes ortogonais, pois é possível visualizar o tamanho da diferença, o p-valor e o respectivo intervalo de confiança. Nestas análises considerou-se um nível de significância de 5% e 1%, os ajustes foram obtidos no software SAS (versão 9.2).

3.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.3.1 Espécies fitorremediadoras

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, dentre as variáveis analisadas, a espécie *Crotalaria spectabilis* apresentou efeito significativo somente para o número de plantas, quando comparada entre os herbicidas no solo de textura muito argiloso, obtendo maior número de plantas para o tratamento com atrazina (H3) em comparação com o clomazone (H2). Com relação a textura média não houve efeito significativo, pois, ambos herbicidas obtiveram valores próximos e também não houve diferença significativa entre as duas texturas de solo. Segundo estudos de Lindino (2012), a espécie *Crotalaria spectabilis* apresentou alta taxa de sobrevivência em solos contaminados com metais Cd e Pb, indicando-a para estudos de fitorremediação com metais. De acordo com pesquisa de Madalão (2011), dentre a seleção de espécies para fitorremediação de solos contaminados com o sulfentrazone, a *Crotalaria spectabilis* está entre as espécies que apresentou elevada suscetibilidade na aplicação de 400 g ha⁻¹ do herbicida.

No experimento pode-se considerar que o desenvolvimento da *Crotalaria spectabilis* é limitado em relação aos herbicidas. Segundo Calegari (1995), a *Crotalaria spectabilis* possui produção considerada mediana de biomassa comparada as demais crotalárias, pode justificar o resultado similar entre os herbicidas H1, H2 e H3. Procópio et al. (2005), também averiguaram, com aplicações em 3 doses de trifloxysulfuron-sodium, conforme aumento da dose, ocorria ligeira modificação (decréscimo) na biomassa seca da parte aérea em *Crotalaria spectabilis*.

Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de *Crotalaria spectabilis* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	5,63 (1,52)	2,90 (2,85)	8,33 (1,30)	16,27 (6,15)	8,75 (7,65)	15,22 (4,03)
Número de plantas	2,33 (1,53) ^{ns}	1,00 (1,00) ^b	3,67 (2,08) ^{a*}	3,00 (1,00)	2,67 (2,31)	3,67 (1,15)
Número de folhas	4,83 (0,29)	3,00 (2,65)	5,17 (0,29)	9,17 (3,01)	7,83 (7,32)	8,50 (1,32)
Diâmetro (mm)	0,90 (0,15)	0,67 (0,61)	1,02 (0,15)	1,70 (0,53)	0,97 (0,84)	1,63 (0,38)
Massa fresca (g)	8,28 (0,42)	7,97 (7,93)	9,15 (0,35)	12,72 (3,75)	6,79 (5,96)	12,50 (2,93)
Massa Seca (g)	7,33 (0,14)	4,82 (4,18)	7,05 (0,60)	7,53 (0,42)	4,97 (4,32)	8,09 (1,43)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina), desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura.

Para a espécie *Crotalaria breviflora* (Tabela 7), não houve efeito significativo para altura, número de plantas, número de folhas e massa fresca. Houve para o diâmetro em solos de textura muito argilosa, no qual o diâmetro da crotalaria foi maior como tratamento de sulfentrazone (H1) do que com o atrazina (H3). Também houve efeito significativo quanto ao diâmetro entre as duas texturas de solo no tratamento da atrazina (H3), onde a mesma teve maior diâmetro em solo de textura média do que em solo de textura muito argilosa. De acordo com Reddy; Locke (1998) observaram que, independentemente do tipo de manejo, a taxa de sorção de sulfentrazone é maior no solo muito argiloso e a dessorção se dá de forma bem lenta. Segundo esses autores, a alta sorção e baixa dessorção garantem ao sulfentrazone longa permanência no solo, a qual é favorecida também pela sua baixa mineralização.

Na *Crotalaria breviflora* houve diferença significativa para a massa seca (Tabela 7) em textura muito argilosa, o sulfentrazone e o clomazone apresentaram diferença significativa em relação ao atrazina, mas não diferindo entre si. Em solo de textura média não houve significância. Quando os solos foram comparados entre si houve diferença, sobressaindo o solo de textura média do que o de textura muito argilosa para o herbicida atrazina. De acordo com Vidal (1997), os herbicidas inibidores da PROTOX, ou seja, é considerado um inibidor da enzima protoporfirina oxidase das plantas, como o sulfentrazone, as folhas tornam-se brancas ou cloróticas, murcham e necrosam, cabe relatar que a *Crotalaria breviflora* apresentou em suas folhas leve tonalidade branca, ocasionado pela ação do sulfentrazone, comprometendo seu desenvolvimento, e que o clomazone e atrazina não apresentaram injúria significativa.

Tabela 7 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de *Crotalaria breviflora* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	11,73 (3,64)	9,28 (0,72)	3,80 (6,58)	11,08 (5,05)	18,98 (5,34)	17,83 (3,57)
Número de plantas	3,33 (1,15)	4,67 (1,53)	2,67 (4,62)	3,00 (1,00)	3,00 (1,00)	3,67 (1,53)
Número de folhas	11,03 (0,90)	8,67 (1,26)	3,83 (6,64)	8,83 (3,79)	13,33 (2,25)	14,00 (4,36)
Diâmetro (mm)	1,88 (0,77)a*	1,20 (0,05)	0,39 (0,67)bB	1,36 (0,27)	1,99 (0,12)	2,00 (0,22)A*
Massa fresca (g)	10,62 (1,42)	11,07 (2,24)	5,59 (9,69)	10,23 (2,40)	13,96 (3,64)	13,76 (2,20)
Massa Seca (g)	7,69 (0,13)a*	7,62 (0,40)a*	2,86 (4,95)bB	7,55 (0,63)	8,30 (0,60)	8,38 (0,51)A*

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina), desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letras maiúsculas para efeitos significativos em diferentes texturas de solos e letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura.

Para feijão guandu (*Cajanus cajan*), ocorreu diferença significativa para altura de plantas, número de folhas e diâmetro (Tabela 8), nas duas texturas de solo no tratamento com o herbicida sulfentrazone (H1), obtendo melhores resultados em solo de textura média, do que em solo de textura muito argilosa. Guimarães (1987) elucidou que quando foi aplicado doses iguais de herbicidas para solos muito argilosos e de textura média, a eficiência em solo de textura média tende a ser maior e mais estável, levando em consideração a baixa adsorção e umidade.

Na cultura do *Cajanus cajan*, também ocorreu diferença significativa para número plantas em textura muito argilosa, o atrazina apresentou melhor média, seguido pelo clomazone e por fim o sulfentrazone. Em estudo realizado com a finalidade de selecionar espécies tolerantes ao sulfentrazone para fitorremediação, dentre as 25 espécies testadas, Madalão (2011) identificou, como as mais promissoras, a crotalária júncea (*Crotalaria juncea*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajanus cajan*) e feijão guandu anão (*Cajanus cajan* anão). Em estudos com absorção de arsênio a *Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis*, mantiveram os contaminantes em suas raízes, porém a *Cajanus cajan* obteve intensa redução da taxa de crescimento relativo, mesmo com menor concentração dos contaminantes (FELIPE et al., 2009). Confrontando os resultados de sulfentrazone (H1) e atrazina (H3) e o modo que eles se deslocam nas plantas, demonstram de fato que o feijão guandu sofreu maiores injúrias no experimento com o sulfentrazone do que com atrazina.

Tabela 8 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de *Cajanus cajan* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	11,88 (10,35)B	25,12 (1,51)	25,68 (4,41)	36,27 (10,62)A*	27,25 (23,62)	31,10 (13,02)
Número de plantas	1,33 (1,15)b	3,00 (1,00)ns	4,00 (1,00)a*	1,67 (1,15)	1,00 (1,00)	2,67 (1,15)
Número de folhas	6,67 (5,86)B	14,67 (4,37)	16,00 (4,33)	26,83 (9,83)A *	20,00 (17,32)	21,83 (12,27)
Diâmetro (mm)	0,76 (0,66)B	1,53 (0,21)	1,83 (0,41)	2,43 (0,72)A*	1,86 (1,61)	2,10 (1,11)
Massa fresca (g)	5,80 (5,05)	11,34 (0,34)	12,59 (4,10)	12,07 (1,94)	9,73 (8,85)	13,84 (5,90)
Massa Seca (g)	5,02 (4,35)	8,20 (0,17)	8,59 (1,13)	8,42 (0,51)	5,85 (5,13)	9,04 (1,43)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina), desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letras maiúsculas para efeitos significativos em diferentes texturas de solos e letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura.

Conforme apresentado na Tabela 9, a mucuna preta (*Mucuna pruriens*), apresentou diferença significativa quanto à altura de plantas em textura muito argilosa, os herbicidas sulfentrazone (H1) e o atrazina (H3) em relação ao clomazone (H2). O sulfentrazone obteve maior altura, seguido pelo atrazina, não havendo significância entre os dois. Quando comparado entre as duas texturas de solos, ambas não apresentaram diferença significativa. Em ensaios Guerra et al., (2016) simularam lixiviação de sulfentrazone e oxyfluorfen, através de precipitação de 30 mm, descreve que os herbicidas não ultrapassaram os 5 cm de coluna. Faustino et al. (2015), obtiveram resultados semelhantes com simulação de 60 mm e esclarece que independentemente das características física e químicas de solos, foi evidenciada a presença do herbicida sulfentrazone nos primeiros 5 cm de profundidade. Guerra et al. (2016), detectaram que o clomazone e metribuzin foram encontrados em até 15 cm de profundidade. De acordo com Schmidt et al. (2015), a retenção de agroquímicos no solo é fundamentada pelos processos de sorção e dessorção, que limita a taxa de lixiviação, biodegradação, e outros processos de dissipação dos compostos, a sorção refere-se a retenção das moléculas e evitando assim a movimentação do herbicida no solo. Verificando dados da Tabela 9, o fator altura/herbicidas da *Mucuna pruriens* basear-se no clomazone conseguir ser lixiviado com maior facilidade do que o sulfentrazone, uma vez que o experimento foi irrigado durante os 60 dias, ocasionado maior dispersão do clomazone nos vasos, logo maior absorção do herbicida pelas raízes espécie *Mucuna pruriens* e afetando seu crescimento.

Observando ainda os dados da Tabela 9, pode constatar que ocorreu diferença significativa para altura de plantas em textura média para o atrazina (H3) e o sulfentrazone

(H1), quando comparados com o clomazone (H2), em que o atrazina obteve maior altura de plantas no solo de textura média quando comparado com o clomazone, também ocorreu para o sulfentrazone quando comparado com o clomazone. Isso mostra que o atrazina pode se comportar de maneira similar ao sulfentrazone no solo. Correia; Langenbach(2006), em pesquisa com a distribuição e degradação do atrazina no solo, apontam que 75% do total aplicado se fixou nos primeiros 5 cm do solo e o restante foi dispersado gradativamente e decrescentemente até os 25 cm de profundidade do solo.

Para a mucuna preta (*M. pruriens*) ocorreu significância quanto ao número de folhas, diâmetro e massa seca, em solo de textura muito argilosa, no qual o sulfentrazone obteve maiores valores em relação ao tratamento com o clomazone, em que este apresentou maior injúria. Em estudo feito por Bressanin et al. (2015), sobre tolerância da mucuna preta, em pré-emergência o sulfentrazone obteve um controle de 97%, ou seja, ocasionando maior injúria na mucuna preta que nos demais herbicidas testados, já em pós-emergência, houve 100% de controle para as mucuna tratadas com sulfentrazone e atrazina. Em outro estudo de aplicação em pós emergência feito por Silva et al. (2012), o clomazone foi o que apresentou maior tolerância dentre os herbicidas estudados. Contrariando o resultado obtido em relação ao número de folhas, fato este, que o clomazone teve o valor zero em sua média. Houve diferença significativa no solo de textura média em relação a massa seca, em que houve significância somente para o sulfentrazone, os valores obtidos sobressaíram em relação ao clomazone, o atrazina obteve médias próximas ao sulfentrazone.

Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de *Mucuna pruriens* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	45,28 (26,81)a**	2,20 (3,81)b	30,83 (34,44) a*	30,33 (12,66)a*	7,10 (6,18)b	33,00 (19,84)a**
Número de plantas	2,00 (1,00)	0,33 (0,58)	1,00 (1,00)	2,00 (1,00)	0,67 (0,58)	2,00 (1,73)
Número de folhas	24,67 (18,01)a**	0,00 (0,00)b	8,67 (9,02)ns	19,00 (10,58)	11,00 (18,19)	14,83 (11,27)
Diâmetro (mm)	2,24 (0,49)a*	0,67 (1,15)b	1,57 (1,39)ns	2,37 (0,39)	1,25 (1,10)	2,30 (0,34)
Massa fresca (g)	14,74 (4,12)	2,65 (4,58)	8,97 (7,81)	18,33 (11,43)	5,70 (4,94)	17,05 (11,58)
Massa Seca (g)	8,85 (0,89)a**	2,42 (4,19)b	5,64 (4,89)ns	9,52 (2,19)a*	4,89 (4,23)b	9,08 (2,37)ns

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina), desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura.

O nabo forrageiro (*Brassica rapa sub. rapa*) apresentou diferenças significativa no teste de comparação (Tabela 10), para o número de folhas no solo de textura média, em que o herbicida sulfentrazone (H1) sobressaiu perante os demais herbicidas. Diante do fato, houve significância no sulfentrazone entre as texturas de solo estudada, em que o solo de textura média teve um melhor desempenho em relação ao de textura muito argilosa. Guimarães, (1987) elucida que quando foi aplicado doses iguais de herbicidas para solos muito argilosos e de textura média, a eficiência em solo de textura média tende a ser maior e mais persistente, levando em consideração a baixa adsorção e umidade. Também houve diferença significativa para o diâmetro no tratamento com sulfentrazone entre as duas texturas de solo, evidenciando maior diâmetro para o solo de textura argilosa. Nota-se que os valores da média do diâmetro para o nabo forrageiro são maiores em todos os herbicidas testados do que no solo de textura média.

A massa fresca do nabo forrageiro ocorreu significância para textura média, em que as plantas tratadas com atrazina obteve maior massa fresca do que o sulfentrazone. A persistência do atrazina é bastante influenciada pelas características do solo. Esse processo é maior quando mais elevados forem os teores de argila e matéria orgânica (WEBER; WEED; WARD, 1969; REINHARDT; EHLERS; NEL, 1990; JENKS et al., 1998). De acordo com os resultados experimentais, os sintomas de injúria do herbicida H1 foi averiguado pela clorose apresentada nas folhas, fato este que não evidenciado com o H2 e H3. O clomazone não apresentou diferença significativa, mas se comportou melhor do que o sulfentrazone. Em comparação com as texturas de solo, o sulfentrazone em solos de textura muito argilosa apresentou maior massa fresca do que em solo de textura média.

Tabela 10 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados em plantas de *Brassica rapa sub. rapa* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	21,15 (10,91)	24,57 (1,20)	32,12 (17,29)	21,25 (2,14)	21,88 (4,40)	29,03 (1,76)
Número de plantas	7,67 (4,51)	8,33 (0,58)	8,33 (1,53)	6,00 (2,00)	6,33 (0,58)	8,33 (1,15)
Número de folhas	6,33 (1,53)B	7,50 (2,18)	6,83 (3,25)	26,83 (33,92)aA*	7,00 (1,00)b	7,67 (1,61)b
Diâmetro (mm)	3,38 (0,81)A*	4,58 (0,62)	3,97 (0,98)	2,09 (0,23)B	3,73 (2,63)	3,32 (1,18)
Massa fresca (g)	47,67 (29,90)A**	53,96 (7,03)	55,66 (29,59)	30,43 (9,15)bB	42,98 (25,96)ns	67,14 (0,71)a*
Massa Seca (g)	10,12 (1,91)	10,80 (0,72)	12,26 (3,20)	8,69 (0,69)	10,53 (3,08)	12,66 (1,26)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina), desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letras maiúsculas para efeitos significativos em diferentes texturas de solos e letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura.

3.3.2 Espécie bioindicadora (soja) – Efeito individual das plantas fitorremediadoras

Com relação a espécie bioindicadora, ou seja, a soja utilizada no experimento, observa-se as Tabelas 11 e 12, que não houve efeito significativo em nenhum dos fatores testados, nos tratamentos com as espécies de adubos verdes de *Crotalaria spectabilis* e com a *Brassica rapa sub. rapa*.

Tabela 11 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da *Crotalaria spectabilis* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	59,33 (9,78)	56,50 (16,58)	48,17 (0,58)	68,67 (25,62)	65,50 (22,52)	55,83 (7,32)
Número de plantas	4,67 (2,52)	4,67 (2,52)	5,67 (0,58)	3,67 (0,58)	4,00 (1,73)	4,33 (1,53)
Número de folhas	26,67 (10,28)	32,50 (19,49)	20,17 (0,29)	33,83 (1,89)	37,67 (11,43)	35,33 (13,75)
Diâmetro (mm)	3,40 (0,93)	3,20 (0,69)	2,86 (0,38)	3,68 (0,09)	3,29 (0,79)	3,43 (0,34)
Massa fresca (g)	25,48 (17,51)	25,69 (21,15)	16,86 (1,26)	25,85 (7,33)	33,69 (13,84)	23,28 (1,58)
Massa Seca (g)	9,86 (4,87)	12,29 (4,84)	8,81 (3,59)	11,19 (0,78)	11,14 (2,29)	10,18 (0,96)
Toxicidade	1,33 (0,58)	3,33 (2,52)	2,33 (0,58)	2,33 (0,58)	4,67 (3,21)	3,00 (3,46)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses.

Tabela 12 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da *Brassica rapa sub. rapa* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	54,17 (9,29)	60,83 (4,54)	51,00 (6,54)	58,17 (10,75)	60,00 (6,95)	50,17 (1,26)
Número de plantas	5,67 (1,53)	5,00 (2,00)	6,33 (0,58)	4,00 (1,73)	4,67 (0,58)	5,67 (0,58)
Número de folhas	34,00 (7,26)	32,67 (18,13)	30,17 (4,04)	33,33 (14,87)	26,00 (4,77)	22,83 (0,76)
Diâmetro (mm)	3,43 (0,69)	3,37 (0,36)	2,81 (0,32)	3,47 (0,86)	3,25 (0,37)	3,20 (0,44)
Massa fresca (g)	25,90 (7,50)	26,86 (11,42)	19,42 (1,64)	24,54 (1,78)	25,00 (5,88)	18,77 (1,26)
Massa Seca (g)	10,08 (2,45)	10,37 (2,16)	8,99 (1,24)	11,27 (5,22)	10,68 (1,76)	9,92 (1,26)
Toxicidade	3,33 (3,21)	3,67 (1,15)	4,33 (2,52)	4,33 (2,08)	3,33 (2,08)	2,00 (1,00)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses.

No experimento com as testemunhas, solo onde não foi colocado cultura de adubo verde (Tabela 13), houve efeito significativo quanto à altura da cultura da soja em textura média, o solo que foi aplicado atrazina (H3) verificou-se melhor desempenho do que no solo com aplicação de sulfentrazone (H1), não diferenciando estatisticamente no solo com clomazone (H2). Demonstrando quando os solos não recebem tratamento, como é o caso das testemunhas, sofrem maiores injúrias quando tratados com sulfentrazone do que com o atrazina ou clomazone. Para o número de folhas teve significância no teste de comparação para o solo de textura média, em que o clomazone (H2) teve maior número de folha quando comparado com a testemunha do sulfentrazone (H1), segundo Rodrigues; Almeida (2011), a destruição da planta com sulfentrazone ocorre por clorose, seguida de rápida dessecação foliar, e conforme EMBRAPA (2008), a destruição da planta com atrazina ocorre de forma lenta, através da destruição da clorofila e subsequente das membranas. A testemunha também diferenciou quanto a massa fresca e seca, no solo de textura média para os herbicidas utilizados, sobressaindo o clomazone em relação ao sulfentrazone. Também ocorreu significância para as duas texturas de solo, para massa fresca, em que a bioindicadora teve melhor desempenho em solo de textura média do que em solo de textura muito argilosa. A testemunha apresentou maior fitotoxicidade para o solo de textura média, quando tratada com sulfentrazone obteve maior média de fitotoxicidade que o atrazina. Evidenciando que de fato o sulfentrazone causa maiores injúrias nas bioindicadoras do que o clomazone e o atrazina.

Tabela 13 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da testemunha em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	57,83 (0,76)	59,17 (11,88)	51,83 (5,35)	43,83 (10,69)b	59,00 (5,89)ns	60,17 (9,07)a*
Número de plantas	5,33 (0,58)	5,33 (1,15)	5,00 (1,00)	4,33 (1,53)	3,67 (1,15)	4,00 (1,00)
Número de folhas	30,83 (10,61)	30,50 (8,67)	32,17 (11,86)	22,33 (14,25)b	39,33 (5,01)a*	32,50 (11,65)ns
Diâmetro (mm)	3,42 (0,45)	2,98 (0,34)	3,37 (0,67)	3,45 (0,15)	3,84 (0,31)	3,90 (1,08)
Massa fresca (g)	23,42 (4,70)	21,42 (5,35)B	21,88 (6,49)	19,80 (5,88)b	42,96 (17,82)a**· A**	34,11 (20,26)ns
Massa Seca (g)	9,97 (1,12)	9,80 (2,39)	9,80 (1,44)	7,88 (2,18)b	17,52 (11,21)a**	12,74 (5,75)ns
Toxicidade	2,33 (1,53)B	3,33 (3,21)	3,33 (0,58)	6,00 (2,65)a,A**	3,67 (2,31)ns	1,33 (0,58) b

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letras maiúsculas para efeitos significativos em diferentes texturas de solos e letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura.

Para a altura da bioindicadora da *Crotalaria breviflora* (Tabela 14), apresentou diferença significativa em solo de textura média, tratada com atrazina teve maior altura de planta, diferenciando significativamente do sulfentrazone. Demonstrando maior eficiência com o atrazina e com o clomazone na *Crotalaria breviflora*. O número de plantas teve diferença significativa para o atrazina (H3), em que o solo de textura argilosa obteve maior número de plantas do que textura arenosa.

Para o diâmetro, observa-se melhor desempenho no tratamento com atrazina em relação ao do clomazone, no solo de textura média, já o sulfentrazone obteve valor relativamente próximo ao do clomazone. Ocorreu diferença significativa para massa fresca em relação as texturas de solo para o tratamento com atrazina, em que a quantidade foi maior no solo de textura média, do que o de textura muito argilosa.

Tabela 14 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da *Crotalaria breviflora* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	58,67 (5,06)	56,00 (2,78)	49,00 (15,02)	52,17 (8,55)b	62,33 (6,66)ns	68,17 (12,66)a*
Número de plantas	6,67 (0,58)	6,00 (1,00)	6,33 (1,15)A*	4,67 (0,58)	5,00 (1,00)	3,00 (1,00)B
Número de folhas	23,33 (2,02)	30,67 (14,18)	25,17 (12,01)	30,33 (4,65)	30,83 (8,01)	33,50 (6,73)
Diâmetro (mm)	2,90 (0,19)	3,04 (1,09)	2,94 (0,23)	3,59 (0,26)ns	2,78 (0,35)b	3,99 (0,53)a**
Massa fresca (g)	17,71 (1,89)	22,92 (16,86)	18,30 (6,84)B	21,97 (1,41)	23,02 (3,16)	36,78 (6,60)A*
Massa Seca (g)	9,00 (0,12)	8,54 (0,05)	8,71 (1,70)	11,36 (2,97)	8,60 (3,28)	10,28 (7,47)
Toxicidade	1,67 (1,15)	1,67 (0,58)	3,67 (2,08)	2,00 (1,00)	4,33 (2,89)	1,00 (0,00)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letras maiúsculas para efeitos significativos em diferentes texturas de solos e letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura.

De acordo com os dados da Tabela 15, ocorreu significância estatística da soja, em solo cultivado com o *Cajanus cajan* na altura de plantas, em solo de textura média, na qual a planta bioindicadora obteve maior altura no sulfentrazone (H1), do que no clomazone (H2), os valores do clomazone não distinguiram dos valores obtidos pelo atrazina (H3). De acordo com pesquisa de Madalão et al. (2012), espécies de *Cajanus cajan* e *Leucaena leucocephala*, apresentaram tolerância ao sulfentrazone em dose de até 400 g ha⁻¹. Desta forma pode-se considerar que o feijão guandu apresentou certa eficiência para fitorremediação do

sulfentrazone, uma vez que este herbicida é classificado como I (extremamente tóxico), Para a textura muito argilosa houve diferença significativa para o tratamento com o clomazone quando comparado com o atrazina, possivelmente pela forma de fixação e lixiviação do clomazone, uma vez que sua lixiviação é maior quando comparado com o atrazina e o sulfentrazone, logo sua fixação na superfície é menor. Também houve diferença significativa em relação a textura de solo para o sulfentrazone, em que obteve maior altura em textura média do que o de textura muito argilosa.

O número de plantas de soja em solo de textura média (Tabela 15), sofreu efeito significativo no tratamento com o atrazina, vez que nessa textura obteve maior número de plantas por vaso do que o sulfentrazone. Já quando testado entre as texturas de solo, o sulfentrazone apresentou melhor desempenho em solo de textura muito argilosa do que em solo de textura média. Segundo seleção de espécies de Pires et al. (2005), a *Cajanus cajan* está entre as capazes de fitorremediar solos com tebuthiuron a dose de 500 g ha⁻¹. Os resultados obtidos evidenciam que de fato o *Cajanus cajan* pode ser usado para fitorremediar tanto texturas muito argilosas quanto de texturas médias, uma vez que o número de plantas foi eficiente em ambos os casos testados.

Com relação ao diâmetro da soja, como fitoextratora do *Cajanus cajan*, obteve maior diâmetro no herbicida sulfentrazone em solo de textura média do que textura muito argilosa. A massa seca teve diferença significativa quando comparada a textura de solo, o solo de textura média teve melhor desempenho para o tratamento com sulfentrazone do que o solo de textura muito argilosa. Centeno et al. (2017), relatam que solos de textura média, mantem proporções semelhantes de partículas de areia, silte e argila, logo apresenta boa drenagem e capacidade de retenção de água e com erosão média. E os solos com teores elevado de argila, acaba dificultando a penetração das raízes das plantas, aparentando um solo mais pesado para fazer o manejo (KLEIN, 2014).

Tabela 15 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da *Cajanus cajan* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	53,00 (13,75)ns,B	63,50 (5,01)a*	45,00 (5,01)b	69,67 (2,25)a*,A*	50,83 (3,55)b	55,83 (8,98)ns
Número de plantas	7,00 (1,73)A*	7,00 (1,73)	6,00 (0,58)	3,67 (1,15)aB	4,33 (0,58)ns	5,67 (0,58)a*
Número de folhas	20,00 (5,69)	22,50 (18,35)	23,00 (3,79)	35,33 (6,37)	31,50 (9,99)	25,50 (5,68)
Diâmetro (mm)	2,69 (0,14)B	3,03 (0,87)	3,06 (0,31)	3,85 (1,07)A**	3,20 (0,36)	3,48 (0,77)
Massa fresca (g)	16,75 (2,47)	21,25 (11,62)	18,99 (3,10)	29,89 (8,39)	20,16 (8,06)	30,42 (10,16)
Massa Seca (g)	7,78 (0,24)B	8,56 (0,72)	8,48 (1,28)	13,18 (3,91)A*	10,06 (1,53)	9,96 (4,13)
Toxicidade	2,00 (1,00)	3,00 (2,08)	4,00 (1,53)	2,00 (0,00)	4,67 (2,08)	2,00 (1,00)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letras maiúsculas para efeitos significativos em diferentes texturas de solos e letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura

Na bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da mucuna preta (*Mucuna pruriens*), houve efeito significativo (Tabela 16), quando comparado ao solo de textura média, em que o tratamento com o clomazone obteve maior diâmetro em relação ao atrazina. Já em comparação entre texturas, o solo de textura média teve um melhor desempenho do que em textura muito argilosa para o clomazone. Com relação a massa fresca também ocorreu diferença significativa para o solo de textura média, o herbicida clomazone obteve melhor resultado do que o atrazina. No tratamento com sulfentrazone, ocorreu melhor desempenho em textura média do que em textura muito argilosa. Houve também significância para fitotoxicidade na *Mucuna pruriens*, em que os tratamentos com sulfentrazone e com clomazone apresentaram maior toxicidade em textura média, quando comparados com o atrazina. Quando os solos foram tratados com sulfentrazone apresentou maior sintomas de fitotoxicidade em textura média do que em muito argiloso, de maneira oposta quando tratados com atrazina, exibiu maior fitotoxicidade em solo de textura muito argilosa do que o de textura média. Centeno et. al. (2017) explanaram que os efeitos positivos ou negativos do tipo de textura de solo dependeram das exigências de desenvolvimento de culturas empregadas. Elucidando o resultado contraditório entre os herbicidas avaliados.

Tabela 16 - Valores médios e desvio padrão para os componentes avaliados na soja, bioindicadora dos efeitos fitorremediadores da *Mucuna pruriens* em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019

	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Altura de Planta (cm)	49,50 (11,82)	54,50 (7,97)	48,00 (8,13)	56,00 (7,81)	63,33 (4,54)	65,17 (9,71)
Número de plantas	7,00 (1,00)	6,00 (1,15)	6,00 (1,53)	5,00 (1,00)	3,33 (1,53)	4,67 (2,52)
Número de folhas	19,50 (4,77)	27,50 (15,07)	22,50 (5,75)	33,33 (1,36)	33,33 (10,40)	27,17 (10,25)
Diâmetro (mm)	2,48 (0,84)	2,98 (0,50)B	3,16 (0,27)	3,16 (0,12)ns	4,15 (0,54)a*,A*	3,12 (0,55)b
Massa fresca (g)	16,56 (4,90)B	20,25 (7,12)	14,46 (5,99)	30,36 (9,44)ns,A*	43,15 (7,11)a**	21,84 (12,03)b
Massa Seca (g)	7,86 (0,60)	9,67 (1,69)	8,63 (0,64)	9,91 (0,29)	14,58 (1,57)	10,66 (3,55)
Toxicidade	2,00 (1,00)B	2,00 (1,53)	3,00 (3,21)A*	6,67(0,58) a**, A**	4,67 (2,08)a*	1,00 (0,00)bb,B

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. *, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente. Letras maiúsculas para efeitos significativos em diferentes texturas de solos e letra minúscula para diferença herbicidas na mesma textura

3.3.3 Espécie bioindicadora (Soja) – Efeito comparativo entre as plantas fitorremediadoras

De acordo com os resultados quanto altura de plantas (Tabela 17), entre a bioindicadora dos efeitos fitorremediadores dos adubos verdes, pode-se averiguar que houve efeito significativo para o solo de textura média, em vasos aplicados o herbicida sulfentrazone (H1), em que a *Crotalaria spectabilis* e o *Cajanus cajan* apresentou significância com relação a testemunha e não houve diferença significativa com os demais adubos verdes testados. Desta forma o solo que havia introduzido a *Crotalaria spectabilis* e o *Cajanus cajan*, em textura média, teve melhor desempenho com relação ao solo que não houve a introdução de adubos verdes. Demonstrando que a *Crotalaria spectabilis* e o *Cajanus cajan*, tem potencial fitorremediadora para o sulfentrazone, uma vez que ambas apresentaram um bom desempenho quanto à altura da bioindicadora, ou seja, a soja.

Tabela 17 Valores médios e desvio padrão para altura de plantas de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

Altura de Plantas de Soja	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Testemunha	57,83 (0,76)	59,17 (11,88)	51,83 (5,35)	43,83 (10,69)b	59,00 (5,89)	60,17 (9,07)
<i>Crotalaria spectabilis</i>	59,33 (9,78)	56,50 (16,58)	56,50 (16,58)	68,67 (25,62)a**	65,50 (22,52)	55,83 (7,32)
<i>Crotalaria breviflora</i>	58,67 (5,06)	56,00 (2,78)	49,00 (15,02)	52,17 (8,55)ns	62,33 (6,66)	68,17 (12,66)
<i>Cajanus cajan</i>	53,17 (13,75)	63,50 (5,01)	45,00 (5,01)	69,67 (2,25)a**	50,83 (3,55)	55,83 (8,98)
<i>Mucuna pruriens</i>	49,50 (11,82)	54,50 (7,97)	48,00 (8,13)	56,00 (7,81)ns	63,33 (4,54)	65,17 (9,71)
<i>Brassica rapa sub. rapa</i>	54,17 (9,29)	60,83 (4,54)	51,00 (6,54)	58,17 (10,75)ns	60,00 (6,66)	50,17 (1,26)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. ** e ns, significativos a 1% e não significativo, respectivamente. Letra minúscula em comparação por coluna da espécie bioindicadora dos adubos verdes.

Com relação aos parâmetros avaliados de número de plantas e número de folhas, observam-se as Tabelas 18 e 19, que não houve efeito significativo entre a testemunha e a bioindicadora dos efeitos fitorremediadores dos adubos verdes utilizados.

Tabela 18 -Valores médios e desvio padrão para a número de plantas de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

Número de Plantas de Soja	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Testemunha	5,33 (0,58)	5,33 (1,15)	5,00 (1,00)	4,33 (1,53)	3,67 (1,15)	4,00 (1,00)
<i>Crotalaria spectabilis</i>	4,67 (2,52)	4,67 (2,52)	5,67 (0,58)	3,67 (0,58)	4,00 (1,73)	4,33 (1,53)
<i>Crotalaria breviflora</i>	6,67 (0,58)	6,00 (1,00)	6,33 (1,15)	4,67 (0,58)	5,00 (1,00)	3,00 (1,00)
<i>Cajanus cajan</i>	7,00 (1,73)	7,00 (1,73)	6,00 (0,58)	3,67 (1,15)	4,33 (0,58)	5,67 (0,58)
<i>Mucuna pruriens</i>	7,00 (1,00)	6,00 (1,15)	6,00 (1,53)	5,00 (1,00)	3,33 (1,53)	4,67 (2,52)
<i>Brassica rapa sub. rapa</i>	5,67 (1,53)	5,00 (2,00)	6,33 (0,58)	4,00 (1,73)	4,67 (0,58)	5,67 (0,58)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses.

Tabela 19 - Valores médios e desvio padrão para número de folhas de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

Número de Folhas de Soja	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Testemunha	30,83 (10,61)	30,50 (8,67)	32,17 (11,86)	22,33 (14,25)	39,33 (5,01)	32,50 (11,65)
<i>Crotalaria spectabilis</i>	26,67 (10,28)	32,50 (19,49)	20,17 (0,29)	33,83 (1,89)	37,67 (11,43)	35,33 (13,75)
<i>Crotalaria breviflora</i>	23,33 (2,02)	30,67 (14,18)	25,17 (12,01)	30,33 (4,65)	30,83 (8,01)	33,50 (6,73)
<i>Cajanus cajan</i>	20,00 (5,69)	22,50 (18,35)	23,00 (3,79)	35,33 (6,37)	31,50 (9,99)	25,50 (5,68)
<i>Mucuna pruriens</i>	19,50 (4,77)	27,50 (15,07)	22,50 (5,75)	33,33 (1,36)	33,33 (10,40)	27,17 (10,25)
<i>Brassica rapa sub. rapa</i>	34,00 (7,26)	32,67 (18,13)	30,17 (4,04)	33,33 (14,87)	26,00 (4,77)	22,83 (0,76)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses.

Para o diâmetro de hastes da bioindicadora dos efeitos fitorremediadores dos adubos verdes (Tabela 20), houve efeito significativo para o sulfentrazone (H1) em solo de textura muito argilosa, em que a testemunha apresentou diferença significativa quando comparada com a bioindicadora da *Mucuna pruriens*, não diferindo significativamente das demais espécies avaliadas. Com relação ao solo de textura média, apresentou significância para o herbicida clomazone (H2), em que a testemunha apresentou maior média quando comparado com a bioindicadora da *crotalaria breviflora*. Desta forma pode-se averiguar que com relação ao diâmetro, as bioindicadoras dos adubos verdes não obtiveram um desempenho positivo em relação a soja da testemunha.

Tabela 20 - Valores médios e desvio padrão para diâmetro de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

Diâmetro da haste de Soja	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Testemunha	3,42 (0,45)a*	2,98 (0,34)	3,37 (0,67)	3,45 (0,15)	3,84 (0,31)a*	3,90 (1,08)
<i>Crotalaria spectabilis</i>	3,40 (0,93)ns	3,20 (0,69)	2,86 (0,38)	3,68 (0,09)	3,29 (0,79)ns	3,43 (0,34)
<i>Crotalaria breviflora</i>	2,90 (0,19)ns	3,04 (1,09)	2,94 (0,23)	3,59 (0,26)	2,78 (0,35)b	3,99 (0,53)
<i>Cajanus cajan</i>	2,69 (0,14)ns	3,03 (0,87)	3,06 (0,31)	3,85 (1,07)	3,20 (0,36)ns	3,48 (0,77)
<i>Mucuna pruriens</i>	2,48 (0,84)b	2,98 (0,50)	3,16 (0,27)	3,16 (0,12)	4,15 (0,54)ns	3,12 (0,55)
<i>Brassica rapa sub. Rapa</i>	3,43 (0,69)ns	3,37 (0,36)	2,81 (0,32)	3,47 (0,86)	3,25 (0,37)ns	3,20 (0,44)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. * e ns, significativos a 5% e não significativo, respectivamente. Letra minúscula em comparação por coluna da espécie bioindicadora dos adubos verdes.

A Tabela 21 apresenta os resultados para a massa fresca, em que a testemunha apresentou média maior no solo de textura média, para o clomazone (H2), quando comparada com a bioindicadora da *Crotalária breviflora* a *Cajanus cajan* e a *Brassica rapa sub. rapa*.

Também ocorreu significância para o herbicida atrazina (H3), no solo de textura média, em que a testemunha apresentou média maior quando comparada com a *Brassica rapa sub. rapa*. Pode-se constatar que com relação a massa fresca, as bioindicadoras dos adubos verdes não obtiveram um desempenho positivo em relação a soja da testemunha.

Tabela 21 - Valores médios e desvio padrão para massa fresca de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

Massa Seca de Soja	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Testemunha	23,42 (4,70)	21,42 (5,35)	21,88 (6,49)	19,80 (5,88)	42,96 (17,82)a**	34,11 (20,26)a*
<i>Crotalária spectabilis</i>	25,48 (17,51)	25,69 (21,15)	16,86 (1,26)	25,85 (7,33)	33,69 (13,84)ns	23,28 (1,58)ns
<i>Crotalária breviflora</i>	17,71 (1,89)	22,92 (16,86)	18,30 (6,84)	21,97 (1,41)	23,02 (3,16)b	36,78 (6,60)ns
<i>Cajanus cajan</i>	16,75 (2,47)	21,25 (11,62)	18,99 (3,10)	29,89 (8,39)	20,16 (8,06)b	30,42 (10,16)ns
<i>Mucuna pruriens</i>	16,56 (4,90)	20,25 (7,12)	14,46 (5,99)	30,36 (9,44)	43,15 (7,11)ns	21,84 (12,03)ns
<i>Brassica rapa sub. rapa</i>	25,90 (7,50)	26,86 (11,42)	19,42 (1,64)	24,54 (1,78)	25,00 (5,88)b	18,77 (1,26)b

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. ** e ns, significativos a 1% e não significativo, respectivamente. Letra minúscula em comparação por coluna da espécie bioindicadora dos adubos verdes.

A massa seca (Tabela 22) apresentou maior média no solo de textura média, para a bioindicadora da testemunha, quando comparada com a bioindicadora da *Crotalária spectabilis*, *Crotalária breviflora* a *Cajanus cajan* e *Brassica rapa sub. rapa*, para o herbicida clomazone (H2), elucidando que as bioindicadoras dos adubos verdes não obtiveram um desempenho positivo em relação a soja da testemunha.

Tabela 22 - Valores médios e desvio padrão para massa seca de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

Toxicidade	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Testemunha	9,97 (1,12)	9,80 (2,39)	9,80 (1,44)	7,88 (2,18)	17,52 (11,21)a**	12,74 (5,75)
<i>Crotalária spectabilis</i>	9,86 (4,87)	12,29 (4,84)	8,81 (3,59)	11,19 (0,78)	11,14 (2,29)b	10,18 (0,96)
<i>Crotalária breviflora</i>	9,00 (0,12)	8,54 (0,05)	8,71 (1,70)	11,36 (2,97)	8,60 (3,28)b	10,28 (7,47)
<i>Cajanus cajan</i>	7,78 (0,24)	8,56 (0,72)	8,48 (1,28)	13,18 (3,91)	10,06 (1,53)b	9,96 (4,13)
<i>Mucuna pruriens</i>	7,86 (0,60)	9,67 (1,69)	8,63 (0,64)	9,91 (0,29)	14,58 (1,57)ns	10,66 (3,55)
<i>Brassica rapa sub. rapa</i>	10,08 (2,45)	10,37 (2,16)	8,99 (1,24)	11,27 (5,22)	10,68 (1,76)b	9,92 (1,26)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. ** e ns, significativos a 1% e não significativo, respectivamente. Letra minúscula em comparação por coluna da espécie bioindicadora dos adubos verdes.

Para a Toxicidade (Tabela 23), o solo de textura média, quando tratado com sulfentrazone (H1), apresentou maior injúria para a bioindicadora da testemunha, quando compara com a bioindicadora da *Crotalária spectabilis*, *Crotalária breviflora* a *Cajanus cajan*. Demonstrando que após a introdução dos adubos verdes, a bioindicadora teve menor dano, já para a bioindicadora da testemunha, constatou-se maior dano, pois a mesma não teve tratamento antecedente.

Tabela 23 - Valores médios e desvio padrão para toxicidade de soja, entre as diferentes plantas fitorremediadoras, em função da textura do solo e do tipo de herbicida. Bandeirantes-PR, 2019.

Toxicidade	Textura Muito Argilosa			Textura Média		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3
Testemunha	2,33 (1,53)	3,33 (3,21)	3,33 (0,58)	6,00 (2,65)a*	3,67 (2,31)	1,33 (0,58)
<i>Crotalária spectabilis</i>	1,33 (0,58)	3,33 (2,52)	2,33 (0,58)	2,33 (0,58)b	4,67 (3,21)	3,00 (3,46)
<i>Crotalária breviflora</i>	1,67 (1,15)	1,67 (0,58)	3,67 (2,08)	2,00 (1,00)b	4,33 (2,89)	1,00 (0,00)
<i>Cajanus cajan</i>	2,00 (1,00)	3,00 (2,08)	4,00 (1,53)	2,00 (0,00)b	4,67 (2,08)	2,00 (1,00)
<i>Mucuna pruriens</i>	2,00 (1,00)	2,00 (1,53)	3,00 (3,21)	6,67 (0,58)ns	4,67 (2,08)	1,00 (0,00)
<i>Brassica rapa sub. Rapa</i>	3,33 (3,21)	3,67 (1,15)	4,33 (2,52)	4,33 (2,08)ns	3,33 (2,08)	2,00 (1,00)

H1 (sulfentrazone), H2 (clomazone) e H3 (atrazina) e desvio padrão é apresentando entre parênteses. * e ns, significativos a 5% e não significativo, respectivamente. Letra minúscula em comparação por coluna da espécie bioindicadora dos adubos verdes.

Conforme os dados apresentados na Tabela 24, pode-se ressaltar, que de modo geral o solo de textura média obteve diferença significativa nos valores para altura de

plantas, número de folhas, diâmetro, massa fresca e seca, quando comparado com o de textura muito argilosa, independentemente dos herbicidas e adubos verdes utilizados no experimento, fato esse pode estar ligado com a diferença das texturas de solo. Uma vez que a dinâmica de coesão e adesão entre as partículas do solo, influência em sua resistência e na da água (HE et al., 2014), apenas para número de plantas o solo de textura muito argilosa obteve melhor desempenho do que o de textura média, logo, a dinâmica entre as partículas do solo interfere significativamente na persistência de herbicidas no solo.

Tabela 24 – Resumo da análise de variância (P-valor) para a espécie bioindicadora utilizada no experimento, nas duas texturas de solo testada, independente dos herbicidas e de adubos verdes empregados.

	Altura de Planta (cm)	Número de plantas	Número de folhas	Diâmetro da haste (cm)	Massa Fresca (g)	Massa seca (g)	Fitotoxicidade
Solo	0,0115*	< 0,0001**	0,0429*	0,0005**	0,0003**	0,0087**	0,3140ns

*, ** e ns, significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente para efeitos significativos nas texturas de solos.

Desta forma observou-se o potencial fitorremediador promovido pelos adubos verdes por meio da bioindicadora, ou seja, do efeito residual na cultura de soja. Averiguou-se que os valores médios obtidos nos parâmetros avaliados foram relativamente próximos, evidenciando que os adubos verdes testados possuem potencial fitorremediador para o sulfentrazone, clomazone e atrazina, nas doses utilizadas para cultura de cana-de-açúcar. Do mesmo modo que se pode esclarecer que o solo de textura média possui melhor comportamento com as plantas fitorremediadoras, quando comparado com o de textura muito argilosa. Contudo, são necessários novos estudos para se obter uma visão mais singular e detalhada de como as diferentes texturas se comportam juntamente com cada herbicida, em diferentes dosagens.

3.4 CONCLUSÕES

Os adubos verdes apresentaram melhores desempenhos em solos de textura média do que em solo muito argilosa, independentemente do tipo de herbicida, mas ambos permitiram o desenvolvimento da planta bioindicadora.

Os herbicidas clomazone e atrazina são mais suscetíveis a fitorremediação do que o herbicida sulfentrazone.

A *Crotalaria spectabilis* e *Cajanus cajan* são os mais promissores potenciais fitorremediadores, para as diferentes texturas de solo e herbicidas.

REFERÊNCIAS

- ADAPAR – AGENCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ. **Sulfentrazone**. Disponível em < <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas> >. Acesso em 24 de janeiro de 2019.
- ALBUQUERQUE, M. A.; SCHAEFER C. E. G. R.; FOLONI, J. M.; KER, J. C.; FONTES, L. E. F. Mineralização e sorção de atrazina em Latossolo roxo sob cultivo convencional e plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, n.1, p. 179-188, 2001.
- ALVES, C.; GALON, L.; HOLZ, C. M.; KAIZER, R. R.; WINTER, F. L.; CONCENÇO, G.; NONEMACHER, F.; PERIN, G. F. Características fisiológicas de plantas hibernais com potencial fitorremediador sob influência dos herbicidas fomesafen e sulfentrazone. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2019.
- ANDRADE, S. R. B.; SILVA, A. A.; QUEIROS, M. E. L. R.; LIMA, C. F.; D'ANTONINO, L. Sorção e dessorção do ametryn em argissolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 177-184, 2010.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITÁRIO. **Agrotóxicos**. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/agrotoxicos/>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2019.
- AUGUSTO, L. G. S.; CARNEIRO, F. F.; PIGNATI, W.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; FARIA, N. M. X.; BÚRIGO, A. C.; FREITAS, V. M. T.; GUIDUCCI FILHO. **Dossiê ABRASCO – Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Parte 2 - Agrotóxicos, Saúde, Ambiente e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2012.
- BELO, A. F.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, E. A.; AGUIAR, L. M.; SANTOS, J. B.; CECON, P. R. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15 n.2, p. 165-174, abr./jun. 2016.
- BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, J. F.; SILVEIRA, A. J.; SEDIYAMA, C. S.; COSTA, L. M.; OLIVA, M.A. Resistência de espécies e cultivares de algodão (*Gossypium spp*) ao herbicida diuron. **Planta Daninha**, v. 1, n. 1, p. 72-75, 1983.
- BLANCO F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005.
- BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D.; BATISTA FILHO, A. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 71-75, 2010.
- BRAIBANTE, M. E. F.; ZAPPE, J. A. A química dos agrotóxicos. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 1, p. 10-15, 2012.
- BRASIL. **Lei nº 7.802**, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre diretrizes de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1989.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 001**, de 23 de janeiro de 1986 Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 17 de fevereiro de 1986.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 420**, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores para a qualidade do solo. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 30 de dezembro de 2009.

BRESSANIN, F. N.; GIANCOTTI, P. R. F.; NETO, N. J.; AMARAL, C. L.; ALVES, P. L. C. A.; Eficácia de herbicidas aplicados isolados em pré e pós – emergência no controle de mucuna – preta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 10, p. 426 – 431, 2015.

CABRAL, C. M.; SANTOS, J. B. Grupo INOVAHERB: excelência em pesquisas sobre fitorremediação de ambientes com resíduos de herbicidas no Brasil. **Revista Científica Vozes dos Vales**, MG, n. 9, p. 1-11, 2016.

CCANCCAPA, A.; MASIÁ, A.; ORTEGA, N. A.; PICÓ, Y.; BARCELÓ, D. Pesticides in the ebro river basin: Occurrence and risk assessment. **Environmental Pollution**, v. 211, p. 414-424, 2016.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Circular 80, Londrina: IAPAR, 1995. 118p.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado – Adubação Verde**. 1. ed. EMBRAPA. 2006. 269 p.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de engenharia e Sustentabilidade**. v.4, n. 1, p. 31-37, jul. 2017.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Áreas Contaminadas – Conceituação**, São Paulo: CETESB, 2001. 16 p.

CORTEZ, A. O. **Sorção, dessorção e seleção de espécies vegetais para remediação de solo contaminado com ametryn**. 2017. 62p. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) - Universidade Federal Rural do Semi-árido. Mossoró. 2017.

CONCENÇO, G.; ANDRES, A.; SCHEREIBER, F. MOISINHO, I. S.; BEHENCK, J. P.O.; MARQUES, R. F.; Emergência de sorgo sacarino sob efeito residual de herbicidas utilizados em área de cana-de-açúcar. **Reunião técnica anual de pesquisa de milho, 62. Reunião técnica anual de pesquisa de sorgo, 45**. 2017, Embrapa Clima Temperado, Atas e resumo, Sertão: IFRS, 2017.

CORREIA, F. V.; LANGENBACH, T. Dinâmica da distribuição e degradação de atrazina em argilossolo vermelho – amarelo sob condições de clima tropical úmido. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 30, n. 1, p. 183 – 192. 2006.

COUTINHO, P. W. R.; CADORIN, D. A.; NORETO, L. M.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação. **Nucleus**, v.12, n.1, p.59-68, 2015.

DUTTA, A.; MANDAL, A.; MANÁ, S.; SINGH, S. B.; BERNIS, 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, n. 10, p. 620, 2015.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Herbicidas: mecanismo de ação e uso**. 1. ed. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2008. 34 p.

_____. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas**. 1. ed. Aracaju/SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 34 p.

_____. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: Fundamentos e Práticas, Volume 1**. 1 ed. EMBRAPA. 2014. 507 p.

_____. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica – ageitec**. Disponível em <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fohgb6co02wyiv8065610dc2ls9ti.html>>. Acesso em 05 de agosto de 2017.

FAUSTINO, L. A.; FREITAS, M. A. M.; PASSO, A. B. R. J.; SARAIVA, D. T.; FARIA, A. T.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. **Planta Daninha**. v. 33, n. 4, p. 795 – 802. 2015.

FELIPE, R. T. A.; OLIVEIRA, J. A.; LEÃO, G. A. R. Potencial de cajanus cajan e crotalaria spectabilis para fitorremediação: absorção de arsênio e respostas antioxidativas. **Revista Árvore**, v.33, n.2, p.245 - 254, 2009.

FERRAÇO, M.; PIRES, F. R.; BELO, A. F.; CELIN, A. F.; BONOMO, R. Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 32-40, jan-mar, 2017.

FMC CORPORATION. **Technical bulletin of sulfentrazone**. Philadelphia, 1995. 6 p.

FRANCO, M. H. R.; FRANÇA, A. C.; ALBUQUERQUE, M. T.; SCHIAVON, N. C.; VARGAS. Fitorremediação de solos contaminados com picloram por *urochloa brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia – GO, v. 44, n. 4, p. 406 -467, out/dez. 2014.

GONZALEZ, J. M.; SHIPITALO, M. SMITH, D.; PAPPAS, E.; LIVINGSTON, S. Atrazine sorption by biochar, tire chips, and steel slag as media for blind inlets: a kinetic and isotherm sorption approach. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 13, p. 1266, 2016.

GUERRA, N.; OLIVEIRA, R. S, J.; CONSTANTIN, J. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**. v. 11, n. 1, p. 42 – 53, jan./jul., 2016.

GUIMARÃES, G. L. Impactos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. **Série Técnica**, v. 4, p. 159-180, 1987.

HE, Y.; HOU, L.; WANG, H.; HU, K.; MCCONKEY, B. A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rainfed condition. **Scientific reports**, v. 4, p. 1-12, 2014.

HESS D. LIGHT-dependent herbicides: an overview. **Weed Science**. v. 48. n. 2. p. 160-170, 2000.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Produtos Agrotóxicos e afins comercializados em 2009 no Brasil: Uma abordagem ambiental**. Brasília- DF, 2010. 84 p.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos do ano de 2014**. Brasília –DF, 2016.

JENKS, B. M.; ROETH, F. W.; MARTIN, A. R. Influence of surface and subsurface soil properties on atrazine sorption and degradation. **Weed Science**, v. 46, p. 132-138, 1998.

JIA M.; WANG, F.; BIAN, Y.; JIN, X.; SONG, Y.; KENGARA, F.O.; XU, R.; JIANG, X. Effects of pH and metal ions on oxytetracycline sorption to maize-straw-derived biochar. **Biores Technol**, v. 136, p. 87-93, 2013.

KLEIN, V. A. Física do solo. Ed. Universidade de Passo Fundo. 3º edição, 2014.

LAMBERT, L. F. M.; SOARES, R. P. S.; CRISTINO, S. Fitorremediação como solução para recuperação de solos contaminados pelo petróleo. In: VII Congresso norte nordeste de pesquisa e inovação, 2012, Tocantins. **Anais IFAC**. p. 31-36, 2012.

LINDINO, C. A.; TOMCZAK, A. P.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Fitorremediação de solos utilizando *Crotalaria spectabilis* para remoção de Cd e Pb. **Scientia Agraria Paranaenses**, v.11, n.4, p.25-32, 2012.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; NASCIMENTO, A. F.; CHAGAS, K.; FILHO, A. C.; PROCÓPIO, S. O. Fitorremediação do Solo Contaminado com Sulfentrazone em Função do Tempo de Cultivo de *Canavalia esiformis*. **Agro@mbiente On-line**. v.10, n. 1, p. 36-43, jan/mar, 2016.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI, A. F.; NASCIMENTO, A. F.; CHAGAS, K.; PROCÓPIO, S. O.; ARAUJO, R. S.; BONOMO, R.; TAUFNER, G. A.; Seleção de espécies tolerantes ao herbicida sulfentrazone com potencial para a fitorremediação de solos contaminados. **Ciências Agrárias**, v.33, n. 6, p. 299, nov/dez. 2012.

MADALÃO, J. C. **Seleção de espécies para a fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia; Recursos Florestais) - UFES- Centro de Ciências Agrárias, Alegre, ES. 2011.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E. Palhada do sorgo de guiné-gigante no estabelecimento de plantas daninhas em área de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39, n. 6, p. 539-542, 2004.

MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, G. L.; PAES, F. A. S. V.; REIS, M. R. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

MONQUERO, P. A.; CORREA, M. C.; BARBOSA, L. N.; GUTIERREZ, A.; ORZARI, I.; HIRATA, A. C. S. Seleção de Espécies de Adubos Verdes Visando à Fitorremediação de Diclosulam. **Planta Daninha**, Viçosa – MG, v. 31, n. 1, p. 127-135, 2013.

MORAIS, P. L. D.; PINHEIRO, E. B.; ARAUJO, E. L.; AMBRÓSIO, Q. M. M.; PONTES, F. M. Diagnóstico fitossanitário da produção integrada de manga no Vale do Assu (RN). **Magistra**, Cruz das Almas –BA, v. 26, n. 2, p. 231 -240, abri. /jun. 2014.

NALON, L. Potencial do eucalipto na fitorremediação de um solo contaminado por chumbo. 2008, 129f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, Jaboticabal. 2008.

NUNES, A. L.; VIDAL, R. A. Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia**, v. 19, n. 1, p. 19-28, 2009.

OHMES, G. A.; HAYES, R. M.; MUELLER, T. C. Sulfentrazone dissipation in a Tennessee soil. **Weed Technology**. v. 14, n. 1 p.100-105, 2000.

OLIVEIRA, M. L. **Herbicidas imidazolinonas: fitotoxicidade em arroz tolerante, azevém na entressafra e efeito do resíduo em soja**. 2017. 66 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017.

OLIVEIRA NETO, A. M. D.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, R. S. D.; BARROSO, A. L. L.; MENEZES, C. C. E. D.; GUERRA, N.; TAKANO, H. K. Seletividade dos herbicidas fomesafen e clomazone associados com outros herbicidas aplicados em pré-emergência do algodoeiro. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v.14, n. 3, p. 210-219, 2015.

PAPADAKIS, E.; TSABOULA, A.; KOTOPOULOU, A.; KINTZIKOGLU, K.; VRYZAS, Z.; PAPADOPOULOU, E. Pesticidas nas águas superficiais da bacia do Lago Vistonis, Grécia: Ocorrência e avaliação de risco ambiental. **A Ciência do Ambiente Total**, 536, p. 793-802, 2015.

PEREIRA, V. G. M.; RANGEL, L. F.; FERREIRA, K. D.; REIS, A. B.; SANTOS, H. C. S.; BELARMINO, A. J.; SOUZA, D. C.; SILVA, D. R. A.; CHACON, A. C. S. R.; SANTOLIN, T. S.; NUNES, L. O. A relação entre o uso de agrotóxicos e o aumento do índice de câncer no Brasil. **Gestão em Foco**. São Lourenço – MG, 9. ed., p. 164 – 170, 2017.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa -MG, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; CECON, P. R.; PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 711-717, 2005.

PIRES, F.R.; PROCOPIO, S. O.; SOUZA, C. M.; SANTOS, J. B.; SILVA, G. P.; Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebuthiuron. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 1, p. 92-97, janeiro/março2006.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; PIRES, F. R.; RIBEIRO JUNIOR, J. I.; SANTOS, E. A. Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 9-16. 2005.

PROCÓPIO, S. O.; CARMO, M. L.; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; BRAZ, G. B. P.; SILVA, W. F. P.; BARROSO, A. L. L.; SILVA, G. P.; CARMO, E. L.; BRAZ, A. J. B. P. Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2517-2524, 2008.

POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment-Elsevier**, v. 200, p. 33–41, 2015.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, v. 46, n. 4, p. 494-500, 1998.

REINHARDT, C. F.; EHLERS, J. G.; NEL, P. C. Persistence of atrazine as affected by selected soil properties. **South African Journal Plant and Soil**, v. 7, p. 182-187, 1990.

REIS, M. R.; SILVA, A. A.; COSTA, M. D.; GUIMARAES, A. A.; FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.323- 331, 2008.

RIBEIRO, D. H. B.; VIEIRA, E. **Avaliação do potencial de impacto dos agrotóxicos no meio ambiente.** 2010 Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/agrotoxicos/index.htm>. Acesso em 07 de março de 2019.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F, S. **Guia de herbicidas.** 6.ed. Londrina. 697p. 2011.

RONCHI, C. P.; SERRANO, L. A. L.; SILVA, A. A.; GUIMARÃES, O. R. Manejo de plantas daninhas na cultura do tomateiro. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 215-228, 2016.

ROBINSON D. E. Atrazine accentuates carryover injury from mesotrione in vegetable crops. **Weed Technology**, v.22, n.4, p.641-645, 2008.

SANTOS, J. B.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; PIRES, F. R.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; SANTOS, E. A.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v.22, n.2, p.223-330, 2004.

SAS Institute Inc., SAS/STAT® User's Guide, Version 9, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1999.

SCHALL, R. Estimation in Generalized Linear Models with Random Effects. **Biometrika**. v.78, nº. 4, 719-727, 1991.

SCHEIL, V.; KIENLE, C.; OSTERAUER, R.; KOHLER, H. Effects of 3,4-dichloroaniline and diazinon on different biological organisation levels of zebrafish (*Danio rerio*) embryos and larvae. **Ecotoxicology** v.18, n.3, p.355-363, 2009.

SCHMIDT, T. D.; SALTON, J. C.; SCORZA, R. P. J. Sorção e dessorção de tiametoxam e atrazina em solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n. 16, p. 613 – 618, 2015.

SILVA, G. B. F.; AZANIA, C. A.M.; NOVO, M. C. S. S.; WUTKE, E. B.; ZERA. F. S.; AZANIA, A. A. P. M. Tolerância de espécies de mucuna a herbicidas utilizados na cultura de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.30, n. 3, p. 589-597, 2012.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p

TEIXEIRA, R. S. **Caracterização e avaliação da contaminação do solo laterítico da area do depósito de resíduos sólidos urbanos de londrina por metais pesados**. 2008. 253 f..Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

TEODOROVICZ, T.; ALVAREZ, V. M. P.; GUIMARAES, T. A. Os mercados relevantes do ramo de agrotóxicos. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 36, n. 4, p. 869-892, mar. 2016.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, CL. **Microbiologia**. 10. ed., Porto Alegre: Artmed, 2010.

TREVAN, J.W. The error of determination of toxicity. **Proceedings of the Royal Society**, v. 101, n.712, p. 483-514, 1927.

VARGAS L.; SILVA, D. R. O.; AGOSTINETTO, D.; MATALLO, M. B.; SANTOS, F. M.; ALMEIDA, S. D. B.; CHAVARRIA, G.; SILVA, D. F. P. Glyphosate influence on the physiological parameters of *Conyza bonariensis* biotypes. **Planta Daninha**, v. 32, n. 1, p. 151-159, 2014.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V.S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, v.34, n.83, p.261-267, 2012.

VIANNA, G. S. S. M.; FLECK, N. G. Atividade residual de herbicidas aplicados em pós-emergencia para controle de inços em duas condições ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 2, n. 11, p. 1095-1105, out. 1988.

VIDAL, R. A. **Herbicidas: mecanismo de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre, 1997. 165 p.

ZANELLA R., PRIMEL E.G., GONÇALVES F. F., MARTINS M. L., ADAIME M. B., MARCHESANC E. and MACHADOC S. L. O. Study of the degradation of the herbicide clomazone in distilled and in irrigated rice field waters using HPLC-DAD and GC-MS **Journal of Brazilian Chemical Society**, v. 19, n. 5, p. 987-995, 2008.

WU, Q.; YANG, Q.; ZHOU, W.; ZHU, L. Sorption characteristics and contribution of organic matter fractions for atrazine in soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 11, p. 2210-2219, 2015.

WEBER, J. B.; WEED, S. B.; WARD, T. M. Adsorption of s-triazines by soil organic matter. **Weed Science**, v. 17, p. 417- 420, 1969.