

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola**

**FITORREMEDIAÇÃO DO GLIFOSATO UTILIZANDO O  
CAPIM MARANDU**

**RITA DE CÁSSIA ANDRÉ**

RONDONÓPOLIS - MT

2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola**

**FITORREMEDIAÇÃO DO GLIFOSATO UTILIZANDO O  
CAPIM MARANDU**

**RITA DE CÁSSIA ANDRÉ**

Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Profa. Dra. MARIA APARECIDA PERES DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada na  
Universidade Federal de  
Rondonópolis, para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia  
Agrícola e Ambiental.

RONDONÓPOLIS - MT

2020



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO-GROSSO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
Avenida dos Estudantes, 5055 - Cidade Universitária, - CEP: 78736-900 - Rondonópolis/MT  
Tel.: (66) 3410-4121 - E-mail: spgeagri@hotmail.com

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “FITORREMEDIÇÃO DO GLIFOSATO UTILIZANDO CAPIM MARANDU”**

AUTOR: Mestranda Rita de Cássia André

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2020.

---

Presidente da Banca / Orientadora: Doutora Maria Aparecida Perez de Oliveira  
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Interno: Doutora Edna Maria Bonfim da Silva  
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Externo: Doutor Paulo Roberto Alves de Oliveira  
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Suplente: Doutora Adriane Barth  
Instituição: Instituto Federal de Mato Grosso

Rondonópolis, 27 de fevereiro de 2020.

**Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

A555f André, Rita de Cássia.  
FITORREMEDIAÇÃO DO GLIFOSATO UTILIZANDO  
CAPIM MARANDU / Rita de Cássia André. -- 2020  
74 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Maria Aparecida Peres de Oliveira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato  
Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,  
Rondonópolis, 2020.

1. Urochloa brizantha. 2. Chuva simulada. 3. Herbicida.  
4. Bioindicadora. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**

## *Agradecimentos*

*Agradeço ao meu esposo Júnior e a minha filha Adele pelo apoio durante todo o mestrado, contribuindo com muita paciência e amor. A minha pequena Elis que esteve presente no meu ventre durante a pesquisa sendo forte e me dando forças para essa conquista.*

*Á minha mãe Aidê que sempre me apoiou com muito amor, ao meu pai Walter que onde estiver sei que me guia me orienta e aos meus irmãos Fátima, Ângela, Júnior e Sílvia (em memória) que mesmo distantes sempre me apoiaram com muito carinho.*

*Agradeço à professora Maria Aparecida Peres-Oliveira, pela sua orientação, disposição para sanar minhas dúvidas, pelo grande aprendizado e paciência com minha gravidez no meio da pesquisa e por todo seu empenho para a realização desse projeto.*

*Aos professores Tonny da Silva, Edna Bomfim-Silva e Jefferson Vieira, pelo apoio que me deram durante a pesquisa e a atenção que um aluno requer para sentir-se que está no caminho correto.*

*Aos meus colegas da pós-graduação que são maravilhosos, inteligentes e parceiros.*

*Obrigada aos orientados da professora Maria Peres: Elison, Pedro, Kárita, Lucas e Aline, que foram essenciais para a realização dessa pesquisa, que sempre se mostraram dispostos mesmo nas madrugadas.*

*E à Deus por ter dado essa oportunidade na minha vida de conquistar um mestrado.*

## **FITORREMEDIAÇÃO DO GLIFOSATO UTILIZANDO O CAPIM MARANDU**

**RESUMO** - A utilização de herbicidas tem contribuído para controle de plantas daninhas em culturas, sendo o glifosato um dos herbicidas mais utilizados no Brasil. A técnica de fitorremediação, possui a capacidade de remediação dos herbicidas do solo. O trabalho avaliou o efeito da chuva simulada no cultivo da braquiária (*Urochloa brizantha*), para fitorremediação do herbicida glifosato em Latossolo Vermelho do Cerrado, utilizando a soja (*Glycine max L.*) como planta bioindicadora. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 5x3, com cinco períodos de aplicação do herbicida antes da semeadura (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e três regimes de chuva simulada (0, 20 e 30 mm), resultando em 60 parcelas experimentais. Foram avaliadas as variáveis de índice de velocidade de emergência (IVE), porcentagem de emergência (%), índice de clorofila SPAD, fitointoxicação visual (%) aos 17, 24 e 30 dias após a semeadura da *U. brizantha* e aos 3, 16 e 23 dias após semeadura da *G. max*, altura das plantas (cm), massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea e raiz. Os resultados foram submetidos a análise de variância, comparados por análise de regressão quantitativas ( $P > 0,05$ ). A interação entre os tratamentos causou variações nas duas espécies em solo, sendo índice de velocidade de emergência, porcentagem de emergência, altura da planta, massa fresca aérea, massa fresca da raiz e massa seca da raiz para *U. brizantha* e nas variáveis massa fresca aérea, massa seca da raiz e índice de clorofila SPAD para *G. max*. Os valores obtidos das variáveis foram maiores com o aumento da lâmina de chuva e um período mais distante entre a pulverização e a semeadura, inversamente a variável índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência que obteve maior valor com um período da pulverização e semeadura mais próximo. A *U. Brizantha* mostrou resistência ao herbicida glifosato, porém não remediou totalmente o efeito do herbicida em solo, pois a *G. Max* apresentou sintomas de fitointoxicação.

**Palavras-chave:** *Urochloa brizantha*, chuva simulada, herbicida, bioindicadora.

## GLYPHOSATE PHYTORREMIATION USING MARANDU GRASS

**ABSTRACT** - The use of herbicides has contributed to weed control in crops, with glyphosate being one of the most widely used herbicides in Brazil. The phytoremediation technique has the ability to remedy soil herbicides. The work evaluated the effect of simulated rain on the cultivation of brachiaria (*Urochloa brizantha*), for phytoremediation of the herbicide glyphosate in Oxisol of the Cerrado, using soybeans (*Glycine max L.*) as a bioindicator plant. The experimental design was in randomized blocks in a 5x3 factorial scheme, with five periods of application of the herbicide before sowing (0, 3, 6, 9 and 12 days) and three regimes of simulated rain (0, 20 and 30 mm), resulting in 60 experimental plots. The variables of emergency speed index (IVE), percentage of emergency (%), chlorophyll SPAD index, visual phytointoxication (%) were evaluated at 17, 24 and 30 days after sowing of *U. brizantha* and at 3, 16 and 23 days after sowing of *G. max*, plant height (cm), fresh weight (g) and dry weight (g) of the aerial part and root. The results were subjected to analysis of variance, compared by quantitative regression analysis ( $P > 0.05$ ). The interaction between the treatments caused variations in the two species in soil, with emergence speed index, percentage of emergence, plant height, fresh air weight, fresh root weight and dry root weight for *U. brizantha* and in the fresh weight variables air weight, dry root weight and SPAD chlorophyll index for *G. max*. The values obtained from the variables were higher with the increase of the rain blade and a more distant period between spraying and sowing, inversely the variable emergence speed index and percentage of emergence that obtained the highest value with a longer spraying and sowing period next. The *U. Brizantha* showed resistance to the herbicide glyphosate, however it did not completely remedy the effect of the herbicide in soil, as *G. Max* showed symptoms of phytointoxication.

**Key – words:** *Urochloa brizantha*, simulated rain, herbicide, bioindicator.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principais consumidores em US\$ bilhões em 2013.....	16
<b>Figura 2.</b> Ranking da FAO sobre uso de defensivos por hectare cultivado.....	19
<b>Figura 3.</b> Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins. (IA – Ingrediente Ativo).....	19
<b>Figura 4.</b> Estrutura dos compostos: Glifosato e AMPA.....	23
<b>Figura 5.</b> Pulverização dos tratamentos com herbicida Glifosato.....	31
<b>Figura 6.</b> Bico aspersor VEEJET 80-100 da SPRAYING COMPANY®.....	32
<b>Figura 7.</b> Equipamento regulador de oscilações com display de leitura de oscilações acoplado. .....	33
<b>Figura 8.</b> Esquema simplificado do sistema simulador de chuva, contendo um reservatório de polietileno (1), uma bomba hidráulica (2), uma mangueira de polietileno (3) com saída na estrutura metálica (4). ....	33
<b>Figura 9.</b> Adubação dos tratamentos.....	35
<b>Figura 10.</b> Semeadura da U. Brizantha.....	36
<b>Figura 11:</b> Tratamento da G. Max com fungicida sistêmico e de contato .....	36
<b>Figura 12.</b> Semeadura da G. Max.....	37
<b>Figura 13:</b> Estádios fenológicos do período de avaliação do índice de velocidade de emergência, do desde a fase inicial ainda no estágio VE (a) até o fim do estágio VC (b). .....	38
<b>Figura 14:</b> Aspecto Visual do ensaio: Bloco com 11 tratamentos com G. max germinados e 1 tratamento sem germinação (a), 4 tratamentos com as mesmas variáveis, com quantidades diferentes de plantas germinadas (b), folha fitointoxicadas com presença de clorose e necrose (c).....	40
<b>Figura 15:</b> Medição da altura da planta U. Brizantha.....	41
<b>Figura 16:</b> Corte da planta U. Brizantha.....	42
<b>Figura 17:</b> Índice de velocidade de emergência das plântulas de U. brizantha: dias antes da semeadura (DAS). ....	46
<b>Figura 18:</b> Índice de velocidade de emergência das plântulas de G. Max: dias antes da semeadura (DAS).....	47
<b>Figura 19:</b> Percentual de emergência (%): dias antes da semeadura (DAS) para U. brizantha.....	48
<b>Figura 20:</b> Percentual de emergência (%): dias antes da semeadura (DAS) para G. max. .....	48



<b>Figura 21:</b> Análise Visual de fitointoxicação: regime de chuva (mm) para U. brizantha (a); dias antes da semeadura (DAS) para U. brizantha (b); regime de chuva (mm) para G. max (c); dias antes da semeadura (DAS) para G. max (d).....	49
<b>Figura 22:</b> Análise visual do ensaio: planta germinada e levada a morte (a); planta com necrose (b); vaso sem germinação (c); folha com sintomas de clorose e necrose (d).	50
<b>Figura 23:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para altura da planta (cm) U. brizantha. ....	51
<b>Figura 24:</b> Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a altura da planta (cm) U. brizantha.....	52
<b>Figura 25:</b> Altura da planta (cm) G. max referente ao tratamento de regime de chuva (mm). ....	52
<b>Figura 26:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca aérea (g) da U. brizantha. ....	53
<b>Figura 27:</b> Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa fresca aérea (g) da U. brizantha. ....	54
<b>Figura 28:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca aérea (g) da G. max. ....	54
<b>Figura 29:</b> Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa fresca aérea (g) da G. max.....	55
<b>Figura 30:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca da raiz (g) da U. brizantha. ....	56
<b>Figura 31:</b> Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa fresca da raiz (g) da U. brizantha.....	57
<b>Figura 32:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca da raiz (g) da G. max.....	57
<b>Figura 33:</b> Massa seca aérea (g): e regime de chuva (mm) dias antes da semeadura (DAS) para U. brizantha. ....	58

<b>Figura 34:</b> Massa seca aérea (g): regime de chuva (mm) e dias antes da semeadura (DAS) para G. max.....	58
<b>Figura 35:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa seca da raiz (g) da U. brizantha.....	59
<b>Figura 36:</b> Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa seca da raiz (g) da U. brizantha.....	60
<b>Figura 37:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa seca da raiz (g) da G. max.....	61
<b>Figura 38:</b> Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa seca da raiz (g) da G. max.....	61
<b>Figura 39:</b> Índice de clorofila SPAD inferior: regime de chuva 0, 20 e 30 (mm) para G. max.....	62
<b>Figura 40:</b> Índice de clorofila SPAD inferior: dias antes da semeadura 0, 3, 6, 9 e 12 (DAS) para G. max.....	63
<b>Figura 41:</b> Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para índice de clorofila SPAD médio da G. max.....	64
<b>Figura 42:</b> Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para índice de clorofila SPAD médio da G. max.....	64
<b>Figura 43:</b> Índice de clorofila SPAD superior: regime de chuva 0, 20 e 30 (mm) para G. max.....	65
<b>Figura 44:</b> Índice de clorofila SPAD superior: dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS para G. max.....	65

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002.....	18
<b>Tabela 2.</b> Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002.....	20
<b>Tabela 3.</b> Caracterização química de Latossolo Vermelho, na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade.....	30
<b>Tabela 4.</b> Umidade relativa do ar e temperatura nos dias de pulverização.....	31
<b>Tabela 5.</b> Escala de fitointoxicação pelo aspecto visual do bioindicador utilizado na cultura da soja para mensurar ação de herbicida estudado, com adaptação dos conceitos para índice de avaliação (%) e descrição da fitointoxicação.....	39
<b>Tabela 6:</b> Resumo das análises de variância das variáveis para U. brizantha. ....	44
<b>Tabela 7:</b> Resumo das análises de variância das variáveis para G. max. ....	45

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Uso de agrotóxico no Brasil e no Estado do Mato Grosso .....	16
2.2 Riscos ambientais no uso de agrotóxicos .....	21
2.3 Riscos ambientais no uso de herbicidas.....	21
2.4 Herbicida Glifosato .....	23
2.5 Fitorremediação de solos contaminados .....	26
2.6 <i>Urochloa brizantha</i> na fitorremediação do glifosato .....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1. Pulverização .....	30
3.2. Simulação de chuva .....	32
3.3. Adubação .....	35
3.4. Semeadura das plantas .....	35
3.5. Variáveis Analisadas e Coleta de dados .....	37
3.6. Índice de velocidade de emergência de plântulas .....	37
3.7. Percentual de emergência de plântulas .....	38
3.8. Fitointoxicação pelo aspecto visual das plantas.....	39
3.9. Altura das plantas .....	41
3.10. Massa fresca de parte aérea.....	41
3.11. Massa seca da parte aérea .....	42
3.12. Massa fresca de raízes.....	42
3.13. Massa seca de raízes .....	42
3.14. Índice de Clorofila - SPAD.....	43
3.15. Análise estatística .....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1. Índice de velocidade de emergência de plântulas .....	46
4.2. Percentual de emergência de plântulas .....	47
.....	48
4.3. Análise Visual de Fitointoxicação.....	49
4.4. Altura das plantas .....	51
4.5. Massa fresca da parte área das plantas.....	53
4.6. Massa fresca da raiz das plantas .....	56
4.7. Massa seca da parte aérea das plantas .....	58

<b>4.8. Massa seca da raiz das plantas.....</b>	<b>59</b>
<b>4.9. Índice de Clorifila - SPAD.....</b>	<b>62</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>67</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira desde a década de 1960 iniciou um processo de transformação, tornando-se um dos maiores exportadores mundiais de alimentos. Isso foi possível através de pesquisas de melhoramento genético para adaptação das espécies cultivadas ao clima tropical, ocorrendo uma ampliação de produtividade brasileira (VIEIRA FILHO et al., 2016).

Conforme Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na região Centro-Oeste, na safra de 2018, foram produzidos 53 milhões de toneladas de soja, significando aproximadamente 45% da produção nacional, que teve um total de 117 milhões de toneladas (IBGE, 2019).

Em consequência dessa alta produtividade, ocorreu um crescimento no uso de agrotóxicos. O aumento deve-se também a uma política oficial de incentivo, reforçada em 1975, pelo lançamento do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas – PNDA (ARAÚJO, 2017).

No final da década de 1960, a soja começou a ser vista como um produto comercial utilizado como uma opção para a época quente do ano substituindo o trigo e para produção de farelo para suínos e aves. Em 1970, explodiu seu preço mundialmente sendo o Brasil um grande competidor mundial. Desde então o País começou a investir em tecnologias para a adaptação da cultura às condições brasileiras, sendo o Brasil o segundo maior produtor do grão, sendo os Estados Unidos da América o primeiro lugar (EMBRAPA, 2020).

O melhoramento genético das plantas, surgiu efeito na resistência aos defensivos agrícolas, sendo preciso uma inovação dos herbicidas, provocando uma relação direta entre transgênicos e agrotóxicos, impactando em uma maior quantidade de aplicação do agrotóxico. O consumo alto de agrotóxicos está associado a contaminações ambientais e humanas (ARAÚJO, 2017).

Os agrotóxicos que mais se destacam no Brasil são os herbicidas, seguidos pelos inseticidas, fungicidas e acaricidas. Os herbicidas são utilizados para o controle de ervas daninhas, e, o principal ingrediente ativo utilizado é o glifosato. O glifosato é um herbicida não seletivo, pós-emergente, pertencente do grupo químico das glicinas substituídas, com amplo espectro de ação. Sua aplicação em grande escala, em pesquisas científicas geram dúvidas referente ao seu impacto com meio ambiente e saúde, o faz importante para estudo da sociedade (BARROS, 2017).

O herbicida glifosato utilizado como dessecante de ervas daninhas, é altamente solúvel em água. As formulações impactam na absorção do ingrediente ativo pela planta e condições ambientais, como a quantidade e intensidade da chuva (WERLANG, 2003).

A utilização contínua de herbicidas possui um valor negativo no solo devido ao longo efeito residual, propagando a lixiviação das moléculas originais ou seus metabólitos, para camadas profundas do solo, ocorrendo o risco de contaminação de lençol freático e também toxicidade de culturas sensíveis plantadas após uso de herbicida (COUTINHO et al., 2007).

Coutinho et al. (2007) também dizem que a técnica de fitorremediação, possibilita o emprego de espécies vegetais para descontaminar solos e águas. A planta remediadora precisa ser resistente ao poluente, sendo preciso realizar análises e testes para verificar se a mesma tem resistência e sobrevive ao agente químico e assim, ter efeito remediador. A planta necessita ter uma boa capacidade de absorção, um sistema radicular profundo e uma boa capacidade de desenvolvimento em diversos ambientes.

Objetivou-se avaliar a fitorremediação do herbicida glifosato no cultivo da espécie *Urochloa brizantha*, utilizando a soja (*Glycine max L.*) como planta bioindicadora.

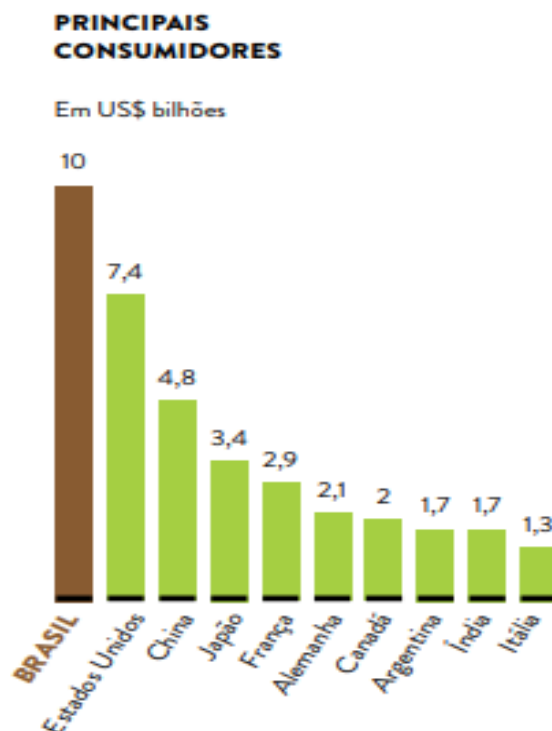
## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Uso de agrotóxico no Brasil e no Estado do Mato Grosso

A utilização de agrotóxicos se iniciou da década 1950 nos Estados Unidos, com a “Revolução Verde”, com o objetivo de modernização agrícola e maior produtividade. No Brasil iniciou na década de 1960, e com o surgimento do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas - PNDA, impulsionou o uso do agrotóxico no país (LOPES, 2018).

A agricultura brasileira utiliza cada vez mais agrotóxicos e fertilizantes químicos em sua produção. Uma das justificativas é o aumento populacional, demandando um maior consumo de produtos agrícolas, e conseqüentemente uma maior produtividade. No ano de 2008, o Brasil ultrapassou os Estados Unidos, tornando-se o maior mercado mundial de agrotóxicos. O mercado mundial de agrotóxicos cresceu em dez anos 93%, enquanto no mercado brasileiro houve um aumento de 190% (CARNEIRO et al., 2015).

Conforme comparação mundial dos principais consumidores de agrotóxicos em US\$ bilhões, no ano de 2013 (**Figura 1**), o Brasil encontrava-se em primeiro lugar, e ainda continua a ter o maior mercado mundial de agrotóxicos (VASCONCELOS, 2018).



**Figura 1.** Principais consumidores em US\$ bilhões em 2013.

Fonte: VASCONCELOS, 2018, com base em dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO e da Consultoria Phillips McDougall.



O pacote tecnológico da Revolução Verde favoreceu a intensificação do uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos. O surgimento da soja transgênica contribuiu para que o Brasil se tornasse um recordista mundial no uso de agrotóxicos (CARNEIRO et al., 2015).

Em 2018, a venda de agrotóxicos e afins no Brasil, indicou que a região Centro-Oeste foi o maior vendedor, sendo que o estado do Mato Grosso é o que se destacou (**Tabela 1**) (IBAMA, 2018).

**Tabela 1.** Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002.

<b>Total das Vendas de Agrotóxicos e Afins nas Regiões e Estados Brasileiros – 2018</b>	
<b>Região/ Estado(UF)</b>	<b>2018 Vendas (toneladas de ingrediente ativo)</b>
<b>Norte</b>	<b>23019,61</b>
AC	777,20
AM	142,48
AP	106,15
PA	9003,44
RO	5104,13
RR	305,55
TO	7580,66
<b>Centro-Oeste</b>	<b>177699,36</b>
DF	747,79
GO	44186,52
MS	33946,29
MT	98818,76
<b>Nordeste</b>	<b>48637,35</b>
AL	1717,88
BA	27068,79
CE	629,93
MA	9115,24
PB	902,55
PE	2630,66
PI	5112,12
RN	364,86
SE	1095,32
<b>Sudeste</b>	<b>127003,91</b>
ES	4078,47
MG	40593,55
RJ	837,04
SP	81494,86
<b>Sul</b>	<b>133715,69</b>
PR	58769,72
RS	64069,29
SC	10876,67
Sem definição(*)	<b>39204,52</b>
<b>Total</b>	<b>549280,44</b>

Fonte: Adaptado de IBAMA (2019).

Conforme ranking da FAO sobre uso de defensivos agrícolas, o Brasil aparece na 44ª posição com uso relativo de 4,31 quilos de defensivos por hectare cultivado em 2016 (**Figura 2**) entre os países europeus.

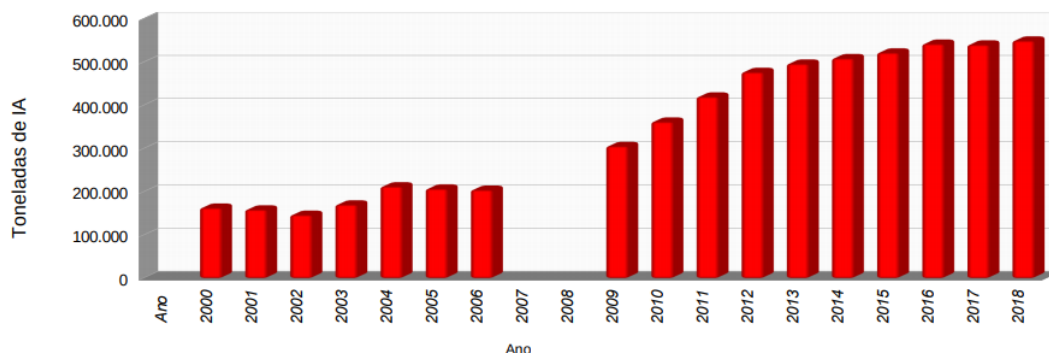


**Figura 2.** Ranking da FAO sobre uso de defensivos por hectare cultivado.

Fonte: FAO, 2016.

Entre os anos de 2000 e 2018, ocorreu um crescimento na utilização de agrotóxicos e afins (**Figura 3**), conforme dados fornecidos por empresas registrantes dos produtos.

### Utilização de agrotóxicos e afins (2000-2018)



**Figura 3.** Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins. (IA – Ingrediente Ativo).

Fonte: Adaptado de IBAMA, (2019).

A utilização de herbicidas em áreas de pastagem para combate de ervas daninhas tem sido significativa. O método de controle químico tem sido o mais utilizado com objetivo de provocar a morte e/ou inibir o desenvolvimento das ervas daninhas (FRANCO, 2013).

O glifosato tem se destacado entre os ingredientes ativos mais utilizados (**Tabela 2**), sendo o mais vendido no Brasil.

**Tabela 2.** Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002.

<b>OS 10 ingredientes ativos mais vendidos - 2018</b>		
<i>Unidade de medida: toneladas de IA (Ingrediente Ativo)</i>		
<b>Ingrediente Ativo</b>	<b>Vendas (ton. IA)</b>	<b>Ranking</b>
Glifosato e seus sais	195056,02	1º
2,4-D	48921,25	2º
Mancozebe	40549,92	3º
Atrazina	28799,34	4º
Acefato	24656,79	5º
Dicloreto de paraquate	13199,97	6º
Enxofre	10409,69	7º
Imidacloprido	10021,22	8º
Óleo mineral	9112,53	9º
Oxicloreto de cobre	8018,65	10º

Fonte: Adaptado de IBAMA (2019).

De acordo com o Decreto nº 4.074/2002, os agrotóxicos, seus componentes e afins só poderão ser produzidos, manipulados, importados, exportados, comercializados e utilizados no território nacional se previamente registrados no órgão federal competente, atendidas as diretrizes e exigências dos órgãos federais responsáveis pelos setores de agricultura, saúde e meio ambiente.

Para obter o registro no Brasil, o agrotóxico deve passar pela avaliação de três órgãos do governo federal: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa).

Cada um desses órgãos realiza um determinado tipo de avaliação do produto, de modo independente do outro. Cabe ao Ibama a realização de um dossiê ambiental, no qual é avaliado o potencial poluidor do produto. Ao Mapa é atribuída a responsabilidade de avaliar a eficiência e o potencial de uso na agricultura, por meio de um dossiê agrônomo. Já a Anvisa realiza o dossiê toxicológico, avaliando o quão tóxico é o produto para a população e em quais condições o seu uso é seguro.

## 2.2 Riscos ambientais no uso de agrotóxicos

Devido aos impactos ocorridos pelas pragas, como insetos, patógenos e plantas invasoras, nas produções agrícolas, são utilizados produtos químicos para combate, como os inseticidas, fungicidas, acaricidas, nematicidas, bactericidas e herbicidas (VASSÃO, 2019).

O uso acentuado de agrotóxicos e fertilizantes é a segunda causa de contaminação das águas superficiais no Brasil, sendo a primeira causa o lançamento de esgoto doméstico. O grande impacto é que essa contaminação pode atingir o abastecimento público de água, afetando a saúde humana, bem como extinguir espécies aquáticas e degradar os recursos hídricos. A contaminação ocorre pelos processos de erosão, lixiviação de solos contaminados, deriva de pulverizações, embalagens descartadas e lavadas de forma irregular, escoamento superficial, dentre outros. (VEIGA, 2017).

A contaminação pode ser causada por algum elemento, quando houver concentrações em excesso em relação as concentrações naturais, enquanto a poluição é considerada quando os níveis de concentração afetam os componentes bióticos do ecossistema (VASSÃO, 2019).

Vários estudos comprovam os malefícios do uso de agrotóxicos para o meio ambiente. O impacto ocorre na água, no solo e peixes, prejudicando insetos, peixes, por exemplo, muitas vezes alterando seu habitat natural. O escoamento do agrotóxico é um dos impactos a ser levado em consideração, devido a contaminação de reservatórios de águas, rios, bacias fluviais, mares, podendo influenciar nos organismos vivos presentes (LOPES, 2018).

O agrotóxico também pode ser prejudicial no desenvolvimento de insetos, alterando sua biodiversidade local. Conforme Moura et al., (2011), os agrotóxicos carbaril, fenitrotiona e metidationa, utilizados na produção de frutas no Brasil, causaram 100% de mortalidade das larvas *Chrysoperla externa*, inseto utilizado em pomares como predadores, contribuindo com o controle biológico por exemplo do pulgão.

Vassão (2019) verificou que o solo tem a capacidade de absorção de grandes quantidades de contaminantes sem sofrer transformações, porém conforme com o aumento do tempo as transformações ocorrem, sendo muitas vezes irreversíveis, tornando complexa a sua recuperação.

## 2.3 Riscos ambientais no uso de herbicidas

Para equilibrar a produtividade agrícola com uso de herbicidas de forma segura e sustentável, foi preciso criar produtos com baixa toxicidade e fácil

decomposição ao meio ambiente, surgindo o embate sobre o uso do herbicida glifosato considerando-o como ideal para este objetivo ou apresentando riscos ambientais. Ressalta-se que as plantas daninhas são capazes de desenvolver resistência ao agrotóxico utilizado, fazendo com que o mesmo perca gradativamente sua eficácia, levando os agricultores a aumentar a dose aplicada ou utilizar novos produtos, impactando em um desequilíbrio ambiental e conseqüentemente surgindo novas pragas para as lavouras (BARROS, 2017).

Os herbicidas quando aplicados ao sistema solo-planta chegam ao solo pela aplicação direta ou incorporação de resteva cultural, e são classificados como micropoluentes na área ambiental (TONI et al., 2006).

O comportamento de uma molécula de herbicida no solo depende de três processos: retenção, transformação e/ou transporte. Devido à vários fatores envolvidos, é difícil prever o tempo exato para dissipação das moléculas (FRANCO, 2013).

O processo de retenção, também denominado de processo de sorção, trata-se da retenção de herbicidas na fase sólida do solo, sendo que quando as moléculas sorvidas dos herbicidas retornam à solução do solo chama-se de processo de desorção, ou são retidas de uma forma indisponível no solo, denominada de resíduo ligado. A transformação ou degradação do herbicida pode ser completa dando origem a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e sais minerais, ou parcial, dando origem à metabólitos. O transporte é a movimentação do herbicida no solo, podendo ser pelo processo de lixiviação, onde o herbicida percorre em profundidade no solo. No escoamento superficial ocorre o caminhamento sobre a superfície do solo, e na volatilização, o herbicida é transportado do solo para atmosfera (CHRISTOFFOLETI, et al. 2008).

As moléculas de herbicidas possuem risco de contaminação pois apresentam toxicidade, bioacumulação e persistência. Quando as moléculas atingem o solo inicia os processos de redistribuição e degradação. O tempo é variável conforme o tipo de molécula. Para moléculas mais simples e não persistentes pode ser curto, porém para os compostos altamente persistentes pode durar por meses ou até anos (FERRAÇO et al., 2017).

O efeito residual dos herbicidas no solo, tem causado toxicidade para culturas sensíveis cultivadas em sequência, além de ocasionar impactos ambientais devido a lixiviação de moléculas originais ou de seus metabólicos (PIRES, 2003).

A lixiviação de moléculas originais de herbicidas ou de seus metabólitos é um fator de risco ambiental pois atingem camadas profundas do solo e conseqüentemente pode contaminar aquíferos subterrâneo (CARMO et al., 2008).

Na maioria dos casos o glifosato não é metabolizado pela planta, não apresentando seletividade, e conseqüentemente toda a aplicação do ingrediente ativo chega ao solo na sua forma original (TONI et al.,2006).

O herbicida glifosato em contato com o solo tende a ser inativo desde que ocorra uma adsorção. Os estudos ainda estão em processo de compreensão, porém supõe-se que é devido às ligações semelhantes às do fosfato inorgânico. Os íons (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>) complexam com o glifosato levando a ser um mecanismo de ligação com as partículas do solo. Quando o composto está livre no solo é degradado rapidamente a dióxido de carbono, porém quando está adsorvido ao solo, sua degradação é lenta ou permanece inativo por longo período de tempo. Outro fator, é que o glifosato possui relação com a inibição da fixação anaeróbica de nitrogênio. (AMARANTE JR.. et al., 2002).

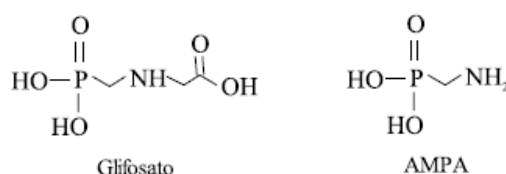
Análises indicaram que níveis de vestígios do herbicida glifosato podem persistir no solo de ano para ano (GONZÁLEZ-VALENZUELA et al., 2018).

## 2.4 Herbicida Glifosato

O herbicida glifosato foi desenvolvido por Dr. Henri Martin, químico suíço, que trabalhava em uma companhia farmacêutica. Porém para fins de utilização como herbicida, apenas em 1971 foi descoberto por Monsanto, através do químico John E. Franz. Em 1974, o composto chegou ao mercado como ingrediente ativo do herbicida Roundup (BARROS, 2017).

O glifosato [N-(fosfonometil)glicina] é classificado como herbicida não-seletivo, sistêmico e pós-emergente, com elevada eficiência para combate de ervas daninhas. Sua estrutura possui como principal produto de degradação o ácido aminometilfosfônico (AMPA) (AMARANTE JR., et al., 2002).

Na **Figura 4**, são apresentadas as estruturas do glifosato e de seu principal produto de degradação, o ácido aminometilfosfônico (AMPA).



**Figura 4.** Estrutura dos compostos: Glifosato e AMPA.

Fonte: Amarante Júnior et al., 2002.

O glifosato, ([N-fosfonometil]glicina) bloqueia a biossíntese de aminoácidos aromáticos, inibindo a atividade da 5-enol-piruvil-chiquimato-3-fosfato sintase - EPSPS cuja rota sintetiza proteínas, vitaminas (K e E), hormônios, alcalóides e outros produtos essenciais para que a planta possa se desenvolver (EMBRAPA, 2019)

Os sintomas aparentes na planta após aplicação do glifosato são a clorose foliar seguida de necrose, o enrugamento ou malformações e necrose de meristema e também de rizomas e estalões de plantas perenes (BARROS, 2017).

Ao aplicar o herbicida glifosato na cultura de interesse, uma parte do produto é absorvida pela planta e a outra parte fica presente no solo, sendo biodegradado. A parte não atinge o alvo, é então depositada no ambiente, surgindo alguns processos, como a formação de complexos em água com íons metálicos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , interação com sedimentos ou partículas suspensas em água e solo, absorção e metabolismo por plantas e biodegradação por microorganismos (MORAES et al., 2010).

As plantas absorvem o glifosato a partir de suas folhas e calículos novos, em seguida é transportado por todas as partes das plantas, atingindo sistemas enzimáticos e bloqueando o metabolismo de aminoácidos (AMARANTE JR., et al., 2002).

Moraes et al. (2018) disseram que a interação do herbicida no solo é um processo importante, pois determina quanto do herbicida ficará retido no solo e quanto estará disponível na solução do solo.

Barros (2017) cita que a degradação do glifosato é mais rápida no solo do que na água, devido a quantidade elevada de microorganismos existentes no solo.

González-Velenzuela et al., (2018) estudaram que *Lysinibacillus sphaericus*, uma bactéria encontrada no solo, degradou a molécula do glifosato, com interesse de produzir fósforo e carbono para sua própria utilização.

No solo, a interação do glifosato ocorre em duas fases. A primeira fase é praticamente instantânea, ocorrendo retenção de mais 90% do total aplicado. A segunda fase é um processo mais lento. As propriedades físico-químicas do glifosato o torna imóvel ou ligeiramente imóvel no solo, variando conforme o pH do solo. O AMPA se decompõe rapidamente, contribuindo para processo de lixiviação nos solos (MORAES et al., 2010).

Uma vez no solo possui elevada capacidade de sorção, impedindo sua degradação na solução do solo, fazendo com que o herbicida permaneça no solo como um resíduo-ligado. O resíduo-ligado, influencia no processo de retardo da lixiviação, pois a maior parte da fração do herbicida está pouco solúvel no solo. A meia vida ( $t_{1/2}$ ) do glifosato, relaciona-se com o tipo de solo, e principalmente ao processo de resíduo-ligado. A meia vida do glifosato é normalmente de 20 dias, entretanto a meia-vida de mineralização pode ir até a 22,7 anos em solos vulcânicos (PRATA, 2002).



A molécula do herbicida em contato com o solo pode sofrer degradação e/ou adsorção. Estudos buscam explicar a ligação entre glifosato e solo. Os mecanismos de ligação mais comuns são a troca de ligantes com os óxidos de ferro e alumínio e as pontes de hidrogênio formadas entre o glifosato e as substâncias húmicas presentes no solo. O glifosato é altamente adsorvido ao solo por ligações com silicatos, óxidos, materiais não cristalinos ou matéria orgânica. O processo de adsorção minimiza a concentração dos herbicidas na fração solubilizada do solo, removendo parte de sua ação potencial. Após adsorção, o glifosato pode permanecer como um resíduo no ambiente até sua completa mineralização, por um período de dias ou meses, conforme as características do solo como textura, pH, conteúdo de carbono orgânico, entre outras (MORAES et al., 2010).

Moraes et al. (2010) citam que os microorganismos são os principais responsáveis pela degradação do glifosato no solo. Sua degradação é muito rápida, e usa o produto como fonte de energia, fósforo, nitrogênio e carbono, por meio de duas rotas catabólicas, produzindo como o principal metabólito o AMPA, e a sarcosina como metabólito intermediário. O AMPA é o produto da biodegradação do glifosato em sistemas naturais antes da mineralização final e a quebra do produto em complexos fosfonados. O AMPA por sua vez é degradado em dióxido de carbono e amônia.

Um oxigênio do grupo metilfosfônico do glifosato, consegue se ligar através da ligação covalente dativa com os átomos metálicos dos sesquióxidos do solo, sendo um mecanismo de ligação de grande importância para solos de climas tropicais (PRATA, 2002).

Em solos arenosos, conforme estudos, a adsorção aumentou com a quantidade de ferro e alumínio e diminuiu com aumento de carbono, e para solos com teor de  $Fe^{3+}$  e  $Al^{3+}$  são maiores que 1%, o glifosato e o AMPA, ficam imobilizados. Outro fator é que o pH é considerado o mais importante para o processo de adsorção. Para solos argilosos, a capacidade de adsorção do glifosato está ligada à capacidade de troca catiônica (CTC), para um pH 7, a argila montmorilonita (argila trilaminar do grupo 2:1), apresenta uma maior CTC e conseqüentemente uma maior adsorção do glifosato, enquanto para a caulinita (argila bilaminar do grupo 1:1) ocorre o inverso. Porém para um pH 4,5, a caulinita apresentou uma maior adsorção em comparação a montmorilonita (TONI, 2006).

Toni (2006) também avaliou que a adsorção do glifosato no solo, relaciona-se com a presença de matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, e também a argila que está presente no solo, sendo a fração inorgânica a de maior significância para o processo de adsorção. A adubação fosfatada é uma das mais utilizadas na agricultura. Estudos mostram que o fosfato provoca dessorção do glifosato. Nesses casos, o

glifosato é deslocado do óxido de ferro pelo fosfato e com altas concentrações de fosfato, este retira o glifosato da argila. O processo de adsorção do glifosato no solo também é maior quanto maior a concentração do fósforo no solo

Estudos mostram que a extração do glifosato no solo é maior com o aumento do pH. Quanto maior o pH do meio, maior a carga líquida negativa do herbicida. Quando ocorre a ausência de fósforo no solo, o herbicida glifosato serve como fonte de nutrição à determinadas espécies de microorganismos. Esse processo é chamado de catabolismo (PRATA, 2002).

## **2.5 Fitorremediação de solos contaminados**

A biorremediação é uma técnica que tem como objetivo a descontaminação de solo e água utilizando organismos vivos para minimizar o efeito tóxico dos contaminantes (ACCIOLY et al., 2000).

É uma tecnologia que tem como objetivo usar agentes biológicos para a degradação e transformação de poluentes orgânicos em baixas concentrações (COUTINHO et al, 2007).

Conforme Coutinho et al. (2007), a efetividade no uso da biorremediação, depende dos fatores como condições do solo, disponibilidade de nutrientes, umidade, temperatura, ao pH, à concentração de minerais, ao potencial redox, a presença de microorganismos, à natureza do contaminante e às características físicas e químicas dos ambientes contaminados.

Dentro da biorremediação encontra-se a fitorremediação, que consiste em remediar o solo ou água utilizando como organismo vivo, as plantas (ACCIOLY et al., 2000).

A fitorremediação é uma técnica utilizada para áreas contaminadas com substâncias orgânicas e/ou inorgânicas, conforme resultados satisfatórios para metais pesados, metaloides, hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos de indústrias (PIRES et al., 2003).

A efetividade da fitorremediação para contaminação em solo, está relacionada em o solo absorver ou sequestrar os contaminantes, sendo que a interação entre planta, poluente e solo é primordial para técnica de fitorremediação (VASSÃO, 2019).

Scramin et al. (2001), identificaram espécies vegetais tolerantes a pesticidas ou a misturas de pesticidas, e a determinação do papel sistema planta-solo-microorganismo na fitorremediação do solo, em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Espécies vegetais persistentes mais frequentemente encontradas foram herbáceas e

subarbustivas, todas invasoras, identificando uma possível tolerância ao herbicida utilizado na cultura de cana-de-açúcar.

Conforme Vivo et al. (2011), existe uma relação de resistência de plantas daninhas em relação aos herbicidas, sendo um mecanismo da planta que degrada o herbicida antes que cause danos irreversíveis através de enzimas, porém depende do estado de desenvolvimento da planta e a temperatura que está exposta.

Custos e despesas de energia são reduzidos e os recursos naturais são conservados porque as plantas usam energia solar. Plantas possuem a adaptação em condições ambientais e são capazes de modificar as condições do ambiente, em certa medida. Além disso como as plantas não têm a capacidade de se mover, muitas plantas desenvolveram bioquímicas únicas sistemas de aquisição de nutrientes, desintoxicação, e controlar as condições geoquímicas locais (SCRAMIN, et al., 2001)

Algumas plantas que crescem bem em solos pobres em nutrientes, podem ter mecanismos úteis para remover e transformar os contaminantes que se assemelham, a certos nutrientes. As raízes da planta arejam o solo, que pode estimular a atividade microbiana. Assim, as plantas podem contribuir de muitas maneiras para melhorar a biodegradação da molécula no solo. A fitorremediação fornece uma alternativa esteticamente agradável para remediação estrutural e descontaminação (SUSARLA et al., 2002).

Para solos contaminados com herbicidas, existe algumas limitações na fitorremediação, comparados aos outros contaminantes orgânicos ou inorgânicos, podendo ser uma das causas sua alta toxicidade para as plantas, principalmente para os compostos com a característica de amplo espectro de ação. Em contrapartida, existem estudos com resultados positivos na técnica de fitorremediação de solos contaminados por agrotóxicos (PIRES et al., 2003).

Os mecanismos principais de fitorremediação de solos são fitoextração que absorve o herbicida pelas raízes da planta remediadora, e a fitoestimulação, onde a planta remediadora libera compostos que estimulam a microbiota do solo a metabolizar o contaminante. Subsequentemente a planta poderá fazer a volatilização ou degradação parcial ou completa por meio da transformação em compostos menos tóxicos (FRANCO et al., 2014).

Para que a técnica de fitoextração seja efetiva, é preciso que o solo não esteja com altos níveis de contaminação e a planta remediadora seja tolerante ao contaminante, apresente um sistema radicular abundante, possua uma taxa de crescimento rápida e tenha um alto ganho de biomassa no campo (VASSÃO, 2019).

A fitorremediação possui algumas vantagens sendo algumas o menor custo em relação às técnicas convencionais; os compostos orgânicos podem ser degradados

a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, removendo toda a fonte de contaminação, não havendo a necessidade de retirada das plantas fitorremediadoras da área contaminada contribuindo também para incorporação de matéria orgânica; o monitoramento de plantas possui maior facilidade do que de microorganismos; as propriedades do solo são mantidas e muitas vezes melhoradas; em leguminosas pode ocorrer a fixação de nitrogênio atmosférico (PIRES et al., 2003).

De acordo com Pires et al. (2003), existe algumas limitações, dentre elas, dificuldade na seleção das plantas fitorremediadoras; o tempo necessário para o processo de descontaminação satisfatória pode ser longo; a zona radicular precisa estar em contato com o contaminante; possibilidade da planta fitorremediadora tornar-se uma planta daninha; necessidade de melhorias na condição do solo. Ao utilizar a técnica de fitorremediação em solos contaminados, primeiramente é preciso utilizar uma planta que possua características remediadoras, exemplos, capacidade de absorção e tolerância ao contaminante; sistema radicular profundo e denso; alta taxa de crescimento e produção de biomassa; capacidade transpiratória elevada; fácil remoção da planta quando houver a necessidade; resistência à praga e doenças; fácil aquisição e controle; capacidade de desenvolvimento em ambientes diversos.

Fatores como a expansão do plantio direto, avanços na biotecnologia, contribuíram para comercialização de variedades geneticamente modificadas resistindo ao herbicida glifosato, exemplo a cultivar soja, conseqüentemente causando o aumento do uso do herbicida, elevando assim a presença dessa molécula no ambiente, especialmente no solo, contribuindo para contaminação e afetando os componentes bióticos do ecossistema, por exemplo a microbiota do solo e simbioses radiculares, como as bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), associados às raízes da soja, influenciando na nutrição e sanidade dessa cultura (MALTY et al., 2006).

## **2.6 *Urochloa brizantha* na fitorremediação do glifosato**

O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de sementes de plantas forrageiras. As pastagens cultivadas são em torno de 115 milhões de hectares, das quais aproximadamente 51,4 milhões de hectares encontram-se estabelecidas com *Urochloa brizantha* cv. Marandu também conhecida como *Brachiaria brizantha*. Suas principais características importantes para utilizá-la como planta remediadora, são resistências às pragas, alta produção de biomassa, persistência, tolerância à frio, à seca e ao fogo. (EMBRAPA, 2019).

Os benefícios da *U. Brizantha* são vários, contribuem para redução de plantas invasoras no sistema, melhoria das propriedades física, química e biológica do solo devido ao aumento da matéria orgânica. Recentes estudos, indicaram que a cultivar promoveu atributos físico-hídricos do solo favorecendo um aumento de disponibilidade de água no solo. O sistema biológico do solo torna-se mais ativo, produtivo, resiliente e suporte para situações de estresse. Suas raízes podem chegar até quatro metros de profundidade, atuando como recicladora de nutrientes do solo (EMPRAPA, 2018).

O uso do cultivar *U. brizantha* como planta remediadora do herbicida glifosato, é um estudo recente, possuindo pouca literatura para referência. As pesquisas existentes com esta cultivar fazem uso de outros herbicidas, em destaque são o picloram e o 2,4-D.

Um potencial fitorremediador é o capim braquiária (*Braquiária Decumbens*). Conforme estudo feito por Martinez et al., 2013, foi avaliada a capacidade de fitorremediação a extrair metais de Latossolo Roxo, utilizando o capim braquiária. O capim braquiária removeu melhor os metais chumbo (40%), cromo (62%) e níquel (88%), demonstrando uma boa opção para fitorremediar solos.

Franco et al., 2014, estudou a fitorremediação de solos contaminados com picloram por *Urochloa brizantha*. O picloram é um herbicida que pode causar danos severos a plantas cultivadas em sucessão e o meio ambiente. Foi analisado a influência do tempo de cultivo, e conforme estudo, conclui-se que a braquiária atuou de maneira efetiva na fitorremediação dos solos contaminados, sendo que, quanto maior o período de cultivo, maior foi o seu potencial fitorremediador.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade Federal de Rondonópolis, latitude 16°28'15" sul e 54°38'08" de longitude oeste e altitude de 284 m, em condição de estufa e laboratório.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados composto de um fatorial de 5 x 3, correspondentes a cinco períodos de aplicação antes da semeadura da *U. brizantha* (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e três regimes de chuva simulada (0, 20 e 30 mm), em 4 repetições com um total de 60 parcelas.

O solo utilizado no estudo foi o Latossolo Vermelho distrófico conforme classificação da Embrapa (EMBRAPA, 2018). O solo foi coletado em área sob vegetação nativa de cerrado, na camada de 0 e 20 cm de profundidade, peneirado em malha de 2 mm, sendo retirada amostras para análises químicas e granulométricas realizadas em laboratório (**Tabela 3**), conforme metodologia da Embrapa (2017). O solo

foi caracterizado como Argiloso Arenosa com quantidade de areia, silte e argila de 520, 100 e 380 g/kg respectivamente.

**Tabela 3.** Caracterização química de Latossolo Vermelho, na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade.

pH	P	S	K	Zn	Mn	Cu	Fe	B	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	M.O.
CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>							Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%	g kg <sup>-1</sup>			
4.2	7.3	2	37	0.2	6.1	0.2	122	0.1	0.2	0.1	1.1	4.9	0.39	5.29	7.4	73.8	9.6

Foi realizado ensaio para capacidade de campo à 80%, conforme metodologia proposta por Bonfim-Silva et al. (2011), com densidade do solo de 1 dm<sup>3</sup> de solo seco.

De acordo com os resultados da cultura, o solo foi corrigido por meio de calagem (para a correção do pH do solo).

A correção do pH do solo foi realizada pelo método da Saturação por Bases (V%), considerando para cultura de soja de V=60% e o calcário utilizado apresentou um Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT de 86%. O calcário foi misturado ao solo coletado com peneira de malha de 4 mm, sendo em cada vaso com 5 dm<sup>3</sup> de volume de solo, em sacos plásticos, e molhados de acordo com a capacidade máxima de retenção de água no solo de 80%, e posteriormente fechados para incubação e armazenados na estufa durante 20 dias, tempo necessário para correção do solo.

Após o período de incubação os sacos plásticos foram abertos e o solo foi submetido a aplicação do herbicida e simulação de chuva, de forma que os sacos e os vasos não foram furados retendo todo o herbicida nas unidades experimentais.

Após finalização do experimento, o material foi descartado em local adequado para evitar contaminação ao meio ambiente.

### 3.1. Pulverização

A pulverização foi realizada no período matutino, ao ar livre. O procedimento seguiu as normas de segurança na aplicação de agrotóxicos da Norma Regulamentadora NR 38.1 – Prevenção de Acidentes com Defensivos Agrícolas (**Figura 5**).



**Figura 5.** Pulverização dos tratamentos com herbicida Glifosato.

Fonte: O autor.

A **Tabela 4** mostra as condições de umidade relativa do ar e temperatura no momento da pulverização (INMET, 2019).

**Tabela 4.** Umidade relativa do ar e temperatura nos dias de pulverização

Dias Antes da Semadura	Horário (h)	Tempeturura (°C)	Umidade (%)
12	06:08	21.5	80
9	08:04	23.8	86
6	05:30	24.0	77
3	06:09	23.5	76
0	05:30	23.4	80

Após uma hora da aplicação, os vasos foram relocados ao interior da estufa.

O pulverizador utilizado foi o modelo costal pressurizado a CO<sub>2</sub> da Herbicat, com barra de pulverização munida com quatro pontas tipo Magno 11002 AD, espaçadas de 0,5m e posicionadas a 0,5m de altura em relação a superfície dos alvos. O equipamento foi operado com pressão constante de 2 bar e a dose constante de 2000 g. ha<sup>-1</sup> para 200 L de calda, foi calibrado e foram inspecionadas as pontas para evitar possíveis obstruções no sistema que pudessem interferir na uniformidade da aplicação, assim como a pressão informada pelos manômetros do sistema pulverizador.

### 3.2. Simulação de chuva

O processo de simulação de chuva ocorreu uma hora após a pulverização do herbicida. O equipamento utilizado possui dimensões de 3 x 3 m, feito de hastes de alumínio com um perfil retangular. Para simular a chuva, o simulador possui um motor limpador de para-brisas de tensão 12 V, com sistema eletrônico que realiza movimentos oscilantes controlados por um regulador de tensão e tempo, regulado pelo temporizador, proporcionando maior área de abrangência na parcela, conforme Silva et al., (2017). Esses movimentos também possibilitam o efeito do vento na chuva simulada mudando a direção da queda das gotas.

O movimento oscilatório adequado é de 40 oscilações por minuto. Acoplado ao motor, com o objetivo de fragmentar as gotas nas parcelas, simulando uma chuva à condição próxima a natural, tem-se um bico aspersor VEEJET 80-100 da SPRAYING COMPANY® feito em aço inoxidável, com ângulo de abertura tipo leque de 80°, operante a uma pressão de serviço de 34,47 a 3447,38 kPa e vazão de  $0,3 \times 10^3$  a  $2,2 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (**Figura 6**).



**Figura 6.** Bico aspersor VEEJET 80-100 da SPRAYING COMPANY®.

Para manter a tensão de saída do circuito elétrico, o sistema possui um regulador de oscilação (**Figura 7**), para equilíbrio dentro dos limites exigidos pelo sistema eletrônico do simulador de chuvas, a alimentação do dispositivo regulador de tensão é de 220 V. O dispositivo regulador de tensão possui acoplado em sua estrutura um frequencímetro, dispositivo eletrônico capaz de mensurar a frequência promovida por movimento periódico do motor de limpador de para-brisas.

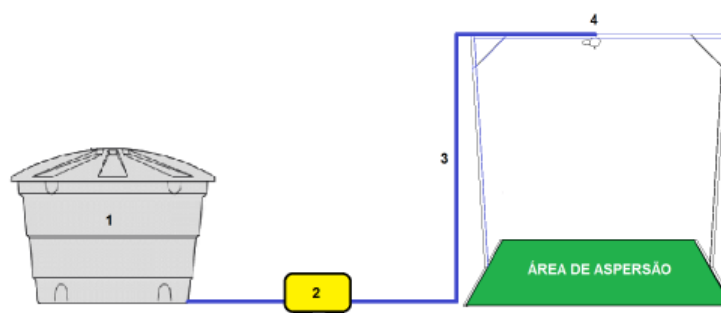




**Figura 7.** Equipamento regulador de oscilações com display de leitura de oscilações acoplado.

Fonte: O autor.

Para a água alimentar o sistema, foi utilizado uma bomba centrífuga com potência de 367,749 W, tensão de 220 V, pressão de 147,1 kPa e sucção de 5 m, responsável por gerar a carga hidráulica, para aspergir pelo bico pulverizador. A carga hidráulica é succionada do reservatório e levada por mangueiras de polietileno de 0,025 m de diâmetro. A pressão de serviço ideal para promoção das gotas de chuva no tamanho e energia cinética para o simulador de chuvas é igual a 137,2 kPa, monitorada por manômetro instalado na estrutura metálica antes do bico aspersor. O esquema simplificado do sistema simulador de chuva é apresentado na **Figura 8**.



**Figura 8.** Esquema simplificado do sistema simulador de chuva, contendo um reservatório de polietileno (1), uma bomba hidráulica (2), uma mangueira de polietileno (3) com saída na estrutura metálica (4).

Fonte: Silva et al. (2017).

Foi determinado o coeficiente de uniformidade, utilizando a metodologia proposta por Meyer & Harmon (1976), e a eq. (1) de Christiansen para o cálculo, sendo realizado dias antes da primeira simulação da chuva. A água aspergida foi coletada por

5 copos coletores de plástico com abertura de 100 cm<sup>2</sup> de diâmetro, dispostos sob o simulador de chuva por 12,15 minutos para lâminas de 20 mm e 18,7 minutos para lâminas de 30 mm. O volume de água acumulada em cada copo foi pesado e feito o cálculo conforme **Equação 1**.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_m|}{n x_m} \right) \quad (1)$$

Em que:

CUC: coeficiente de uniformidade (%);

$x_i$ : lâmina precipitada em cada coletor (mm);

$x_m$ : lâmina média precipitada (mm);

$n$ : número de copos coletores.

O resultado encontrado do CUC foi de 95,25% para lâmina de 20 mm, e de 98,69% para lâmina de 30mm.

Durante a simulação de chuva foram colocados 5 copos coletores posicionados junto aos vasos experimentais, sendo monitorado o tempo de simulação de chuva para cada lâmina por cronômetro digital. No intervalo médio de 12 minutos para lâmina de 20 mm, o sistema de simulação de chuva foi desligado, os coletores foram retirados e mensurados para cálculo da lâmina aspergida. Ao atingir a lâmina de 20 mm, os tratamentos foram retirados da área de aspersão do simulador de chuva e identificados, em seguida o mesmo processo foi feito para a lâmina de 30 mm, com tempo médio de 18 minutos. Finalizando a pulverização dos tratamentos, estes repousaram na estufa por um período de 24 horas e após.

Diariamente, em toda condução do experimento, os vasos foram pesados para garantir a capacidade de campo à 80% de água em solo, conforme metodologia proposta por Bonfim-Silva (2011), pelo método gravimétrico.

### 3.3. Adubação

A adubação foi realizada 12 horas após a última simulação de chuva no período vespertino no dia 0 antes da semeadura da *U. brizantha*. Foram realizadas adubação fosfatada, na qual se utilizou o superfosfato simples ( $P_2O_5$ ); a adubação potássica na qual utilizou o cloreto de potássio ( $K_2O$ ), e micronutrientes FTE Br12 (FTE - Fritted Trace Elements. Composição) com recomendações respectivamente de 300, 150 e 150 mg  $dm^{-3}$ .

Após 17 dias da semeadura da *U. brizantha*, foi realizada a adubação nitrogenada como fonte a uréia (N) com recomendação de 150 mg  $dm^{-3}$ .

Para a planta bioindicadora utilizou o mesmo solo da planta fitorremediadora não ocorrendo nova adubação.

Foram realizados a abertura de 3 sulcos no solo, de modo a depositar a adubação, a 2,5 cm de profundidade (**Figura 9**).



**Figura 9.** Adubação dos tratamentos.

Fonte: O autor.

### 3.4. Semeadura das plantas

A semeadura do Capim Marandu ocorreu após a adubação, 12 horas após a última pulverização. Foram utilizadas sementes da cultivar *U. Brizantha* cv. Marandu.

Foram realizados a abertura de 2 sulcos no solo paralelos aos sulcos da adubação para não correr contato com as sementes, de modo a depositar 20 sementes por parcela, semeadas a 2,5 cm de profundidade (**Figura 10**).

As plantas foram conduzidas por um período de 16 dias, tempo que atingiram a altura de 10 cm, e após foi realizado o desbaste das plantas retirando toda planta do solo, de modo a manter apenas 8 plantas por unidade experimental.

Após o desbaste, as plantas foram conduzidas por mais um período de 22 dias, totalizando 38 dias de plantio, e em seguida realizado o corte da parte aérea e remoção das raízes.



**Figura 10.** Semeadura da *U. Brizantha*.

Fonte: O autor.

Para a soja, antes da semeadura, as amostras de sementes utilizadas no experimento foram tratadas com fungicida sistêmico e de contato Vitavax – Thiram 200 SC, sendo a dose de 250 – 300 ml/100 kg de sementes de soja (**Figura 11**).



**Figura 11:** Tratamento da *G. Max* com fungicida sistêmico e de contato

Fonte: O autor.

A semeadura da soja ocorreu um dia após a retirada das raízes da *U. Brizantha* no solo. Foram utilizadas as sementes de soja, cultivar *Glycine max L*, TMG 4182 (**Figura 12**).

Foram realizados a abertura de 2 sulcos no solo, de modo a depositar 10 sementes por parcela, semeadas a 2,5 cm de profundidade.



**Figura 12.** Semeadura da *G. Max*.

Fonte: O autor.

As plantas foram conduzidas por um período de 25 dias, e em seguida realizado o corte da parte aérea e remoção das raízes.

### 3.5. Variáveis Analisadas e Coleta de dados

As variáveis avaliadas no período de desenvolvimento do fitorremediador foram: Fitointoxicação pelo aspecto visual, Índice de velocidade de emergência de plântulas, Percentual de emergência de plântulas, Altura de plantas.

As variáveis avaliadas após o corte do fitorremediador foram: Massa Seca e Fresca da parte área e raiz.

As variáveis avaliadas no período de desenvolvimento do bioindicador foram: Fitointoxicação pelo aspecto visual, Índice de velocidade de emergência de plântulas, Percentual de emergência de plântulas, Altura de plantas e Soil Plant Analysis Development - SPAD.

As variáveis avaliadas após o corte do bioindicador foram: Massa Seca e Fresca da parte aérea e raiz.

### 3.6. Índice de velocidade de emergência de plântulas

As observações foram contínuas, desde o primeiro dia de semeadura, com a identificação da germinação em todas as parcelas. Todavia, a caracterização da



emergência de plântulas ocorre somente com a ascensão do cotilédone acima da superfície do solo, de modo que esses formassem um ângulo de 90° ou mais com seus respectivos hipocótilos. Esse aspecto apenas foi observado aos 4 DAS.

Foi realizada a contagem do número de plantas emergidas por um período de quinze dias, entre o estágio fenológico VE (Estádio Vegetativo) até o estágio fenológico VC (vegetativo cotilédone – cotilédones abertos) (**Figura 13**), e o índice de velocidade de emergência foi calculado segundo a eq. 2, proposta por MAGUIRE (1962):

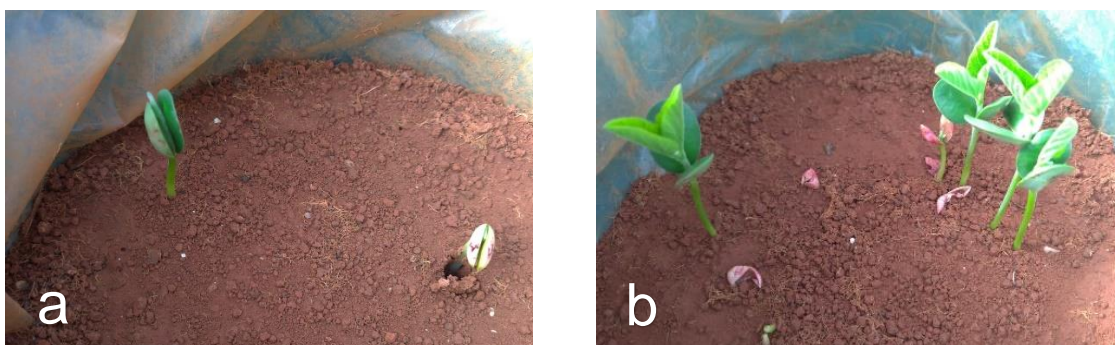
$$IVE = N1/D1 + N2/D2 + \dots + Nn/Dn \quad (2)$$

Em que:

IVE: Índice de velocidade de emergência; (Plântulas por dia)

N: Números de plântulas verificadas no dia da contagem

D: Números de dias após a semeadura em que foi realizada a contagem.



**Figura 13:** Estádios fenológicos do período de avaliação do índice de velocidade de emergência, do desde a fase inicial ainda no estágio VE (a) até o fim do estágio VC (b).

Fonte: O autor.

### 3.7. Percentual de emergência de plântulas

Após as avaliações do índice de velocidade de emergência de plântulas, a percentagem total de plântulas emergidas (%) foi calculado levando em consideração o referencial do teste de germinação pelo número de plântulas que poderiam emergir na unidade experimental. O cálculo se deu por regra de três simples do número de sementes totais plantadas e o número observado, o que possibilitou estabelecer o percentual para cada unidade experimental ao final do estágio VE.

### 3.8. Fitointoxicação pelo aspecto visual das plantas

Foram realizadas três avaliações de fitointoxicação pelo aspecto visual (EWRC, 1964) da braquiária e da soja em 3 DAS, 16 DAS, e 23 DAS.

As notas continham uma amplitude de 0 a 100%, no qual 0% corresponde a nenhuma injúria e 100% a morte das plantas, a escala utilizada proposta por Gazziero et al. (1998) e Merotto Jr et al. (2000), tiveram adaptação para o presente estudo para a porcentagem do índice de avaliação e descrição da fitointoxicação, considerando a germinação como parâmetro (**Tabela 5**).

**Tabela 5.** Escala de fitointoxicação pelo aspecto visual do bioindicador utilizado na cultura da soja para mensurar ação de herbicida estudado, com adaptação dos conceitos para índice de avaliação (%) e descrição da fitointoxicação.

ÍNDICE DE AVALIAÇÃO (%)	DESCRIÇÃO DA FITOINTOXICAÇÃO
0	Sem dano e todas as plantas germinadas.
0 - 15	Pequenas alterações (descoloração, deformação) visíveis em algumas plantas e/ou 100 a 80% germinadas
16 - 30	Pequenas alterações visíveis em muitas plantas (clorose e encarquilhamento) e/ou 100% a 80% germinadas
31 - 45	Grandes alterações visíveis em muitas plantas (clorose, encarquilhamento e necrose) ou 79% a 59% germinadas
46 - 60	Necrose de algumas folhas, acompanhadas de deformações em folhas e brotos ou 60 a 39% germinadas
61 - 75	Redução no porte das plantas, encarquilhamento e necrose das folhas ou 40% a 19% germinadas
76 - 90	Mais de 80% das folhas destruídas ou 20% a 9% germinadas
91 - 99	Danos extremamente graves, pequenas áreas verdes e 10% a 1% germinadas
100	Destruição completa da cultura ou 0% germinada

Fonte: Adaptado de Gazziero et al. (1998) e Merotto Jr et al. (2000).

A avaliação foi realizada sobre o aspecto visual das plantas (**Figura 14**), com base nos sintomas possíveis de serem apresentados por uma planta intoxicada por herbicida (**Tabela 5**) como deformações e descolorações, clorose, encarquilhamento, necrose e germinação.



**Figura 14:** Aspecto Visual do ensaio: Bloco com 11 tratamentos com *G. max* germinados e 1 tratamento sem germinação (a), 4 tratamentos com as mesmas variáveis, com quantidades diferentes de plantas germinadas (b), folha fitointoxicadas com presença de clorose e necrose (c).

Fonte: O autor.



### 3.9. Altura das plantas

A avaliação da altura de plantas (**Figura 15**) ocorreu 38 dias depois da semeadura para a *U. Brizantha* e 25 dias após a semeadura para a *G. Max*, utilizando-se uma trena. Tomou-se como referência o intervalo da base do caule, rente ao solo até a região que corresponde ao final da folha.

Para a *G. Max* foi mensurada cada planta presente na parcela e após realizado uma média ponderada das alturas. Para a *U. Brizantha*, foi considerado a folha com maior altura da parcela.



**Figura 15:** Medição da altura da planta *U. Brizantha*.

Fonte: O autor.

### 3.10. Massa fresca de parte aérea

Aos 39 dias depois da semeadura da *U. Brizantha* e 28 dias depois da semeadura da *G. Max*, ocorreu o corte das plantas com faca (**Figura 16**), na base do caule rente ao solo, onde as plantas foram colocadas posteriormente em sacos de papel.

Para compor a variável de massa fresca de parte aérea, o conteúdo coletado em cada parcela foi mensurado por seu peso em balança semi-analítica.



**Figura 16:** Corte da planta *U. Brizantha*.

Fonte: O autor.

### **3.11. Massa seca da parte aérea**

As folhas e caules foram armazenadas em sacos de papel e submetidas à secagem e estufa de ventilação forçada a 60 – 65 °C de temperatura por 72 horas. Imediatamente após a secagem, o material foi pesado em balança semi-analítica.

### **3.12. Massa fresca de raízes**

O solo de cada parcela foi peneirado em malha de 2 mm separando o conteúdo das raízes. As mesmas foram lavadas para retirar excesso de solo e colocadas para escorrer o excesso de água. Em seguida foram armazenadas em sacos de papel e sua massa aferida por balança semi-analítica.

O solo foi armazenado novamente nos sacos plásticos e inseridos nos vasos, para plantio da soja. Após remoção das raízes da *G. Max*, o solo foi descartado em local apropriado.

### **3.13. Massa seca de raízes**

As raízes foram armazenadas em sacos de papel e submetidas à secagem e estufa de ventilação forçada a 60 - 65 °C de temperatura por 72 horas. Imediatamente após a secagem, o material foi pesado em balança semi-analítica.

### 3.14. Índice de Clorofila - SPAD

Para avaliar o índice SPAD - Soil Plant Analysis Development -, foi utilizado o medidor de clorofila portátil SPAD-502-PLUS. Foram realizadas três leituras para cada unidade experimental da *G. Max*, sendo uma leitura na folha da ponta do trifólio no terço superior, médio e inferior da planta.

### 3.15. Análise estatística

Os dados experimentais foram submetidos a análise de variância ( $P > 0,05$ ) com os resultados comparados por análise de regressão das variáveis ( $P > 0,05$ ) quantitativas. Na análise dos dados, utilizou-se o software livre R Statistical 3.4.4® (R CORE TEAM, 2019). A análise estatística paramétrica foi implementada, utilizando funções disponíveis nos pacotes ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018) e ggpmisc (APHALO, 2016). A construção dos gráficos foi realizada pelo pacote ggplot2 (WICKHAM et al., 2018).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme **Tabelas 6 e 7**, as análises de variância das variáveis *U. brizantha* e *G. max*, apresentaram para as fontes de variação significâncias estatísticas de 0,1%, 1% e 5%.

**Tabela 6:** Resumo das análises de variância das variáveis para *U. brizantha*.

Fonte de Variação	G.L	IVE	PE	FI	AP	MFA	MFR	MSA	MSR
					QM				
Bloco	3	0.741	21.53	0.679	146.38***	625***	4637***	1.53	1436.1***
Período (D)	4	29.404***	533.75**	0.74	95.42***	950.6***	10795***	12.92	5004.8***
Chuva (L)	2	10.968	212.92	0	1053.7***	7355***	41040***	11.67	10021.7***
D x L	8	10.504	260.31	0.46	45.88***	305***	1147***	16.35	731***
Resíduo	42	4.862	142.06	0.546	6.4	34.2	11720	8.67	140
CV		19.51%	19.1%	21.13%	3.40%	4.55%	10.47%	8.05%	17.70%

**LEGENDA:** **IVE:** Índice de Velocidade de Emergência; **PE:** Percentual de Emergência; **FI:** Fitointoxicação pelo aspecto visual; **AP:** altura de plantas; **MFA:** Massa fresca de parte aérea; **MFR:** Massa fresca da raiz; **MSA:** Massa seca de parte área; **MSR:** Massa seca da raiz;;\*\*\*significado ao nível de 0,1% de proparabilidade ( $p < 0,001$ ); \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $0,001 \leq p < 0,01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); G.L.: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

**Tabela 7:** Resumo das análises de variância das variáveis para *G. max*.

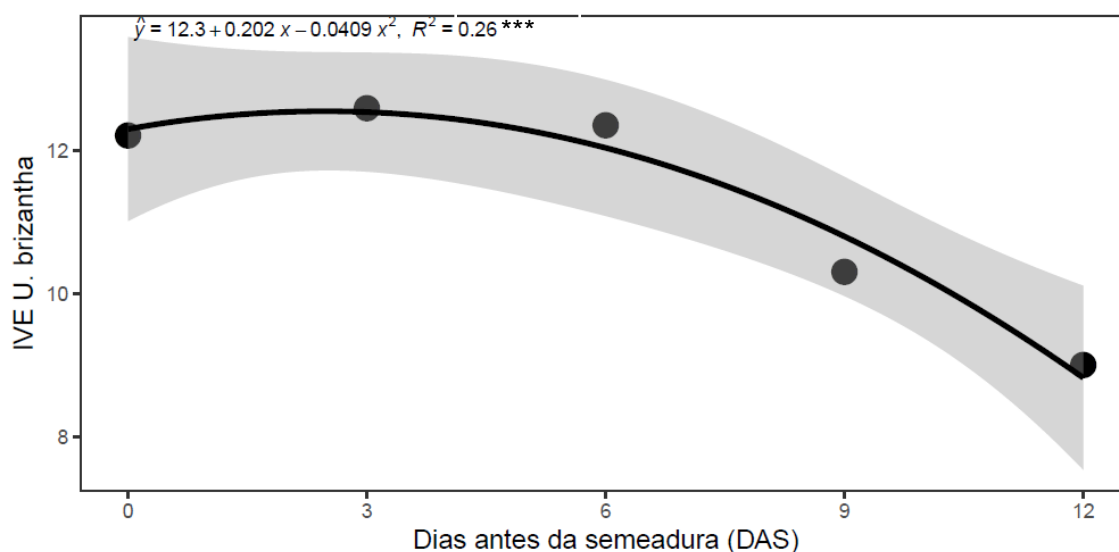
Fonte de Variação	G.L	IVE	PE	FI	AP	MFA	MFR	MSA	MSR	SPAD-S	SPAD-M	SPAD-I
						QM						
Bloco	3	3.19	170.56	375.35	83.71***	79.7***	37.76	0.97	8.92***	136*	311.48***	309.72***
Período (D)	4	19.106	916.67	1433.5	12.05	99.71***	550.92*	7.80	30.7***	137.51*	150.30***	47.65
Chuva (L)	2	7.851	420.00	661.99	392.43***	870.35***	143.28	5.85	79.84***	1410.37**	2282.52**	1889.01**
D x L	8	9.776	411.67	814.36	19.35	31.63***	226.94	8.17	4.38***	27.91	51.34*	60.28
Resíduo	42	7.513	400.32	609.75	10.04	4.59	159.61	4.27	0.46***	44.90	20.82	34.15
CV		43.34 %	42.12 %	52.57%	15.32%	12.02%	36.28%	39.90%	17.13%	20.48%	13.38%	16%

**LEGENDA:** **IVE:** Índice de Velocidade de Emergência; **PE:** Percentual de Emergência; **FI:** Fitointoxicação pelo aspecto visual; **AP:** altura de plantas; **MFA:** Massa fresca de parte aérea; **MFR:** Massa fresca da raiz; **MSA:** Massa seca de parte área; **MSR:** Massa seca da raiz; **SPAD-S:** índice de clorofila superior; **SPAD-M:** índice de clorofila médio; **SPAD-I:** índice de clorofila inferior; \*\*\*significado ao nível de 0,1% de probabilidade ( $p < 0,001$ ); \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $0,001 \leq p < 0,01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); G.L.: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

#### 4.1. Índice de velocidade de emergência de plântulas

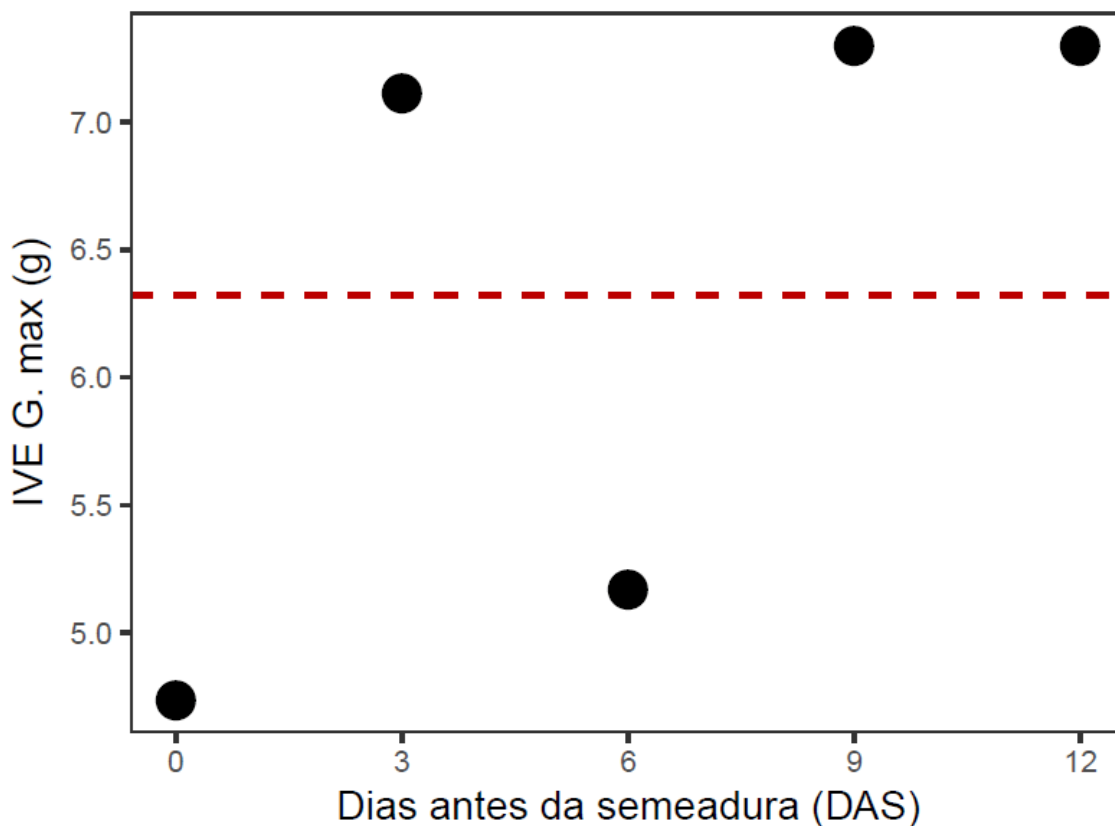
A variável índice de velocidade de emergência de plântulas da *U. brizantha* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para o fator de períodos antes da semeadura pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade. Para os regimes de chuva as médias foram estaticamente iguais.

O índice de velocidade de emergência de plântulas nos cinco períodos de pulverização antes de semeadura, apresentou um ponto de máximo para 2,5 dias com um índice de velocidade de emergência de 12,54, diminuindo conforme a pulverização executada mais distante do dia da semeadura (**Figura 17**).



**Figura 17:** Índice de velocidade de emergência das plântulas de *U. brizantha*: dias antes da semeadura (DAS).

A variável índice de velocidade de emergência de plântulas da *G. Max* não apresentou em sua análise de variância, diferença estatística para os fatores dia antes da semeadura e para os regimes de chuva sendo as médias desse fator estaticamente iguais com valores de 4,74; 7,11; 5,17; 7,30 e 7,30 DAS para os períodos de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS (**Figura 18**).



**Figura 18:** Índice de velocidade de emergência das plântulas de *G. Max*: dias antes da semeadura (DAS).

Nas plântulas da espécie *U. brizantha*, conforme o período de pulverização foi mais próximo da semeadura, o índice de velocidade de emergência foi maior, indicando que o herbicida glifosato mesmo em degradação inicial não afetou a velocidade de crescimento das plântulas da *U. brizantha* mostrando-se resistente ao herbicida.

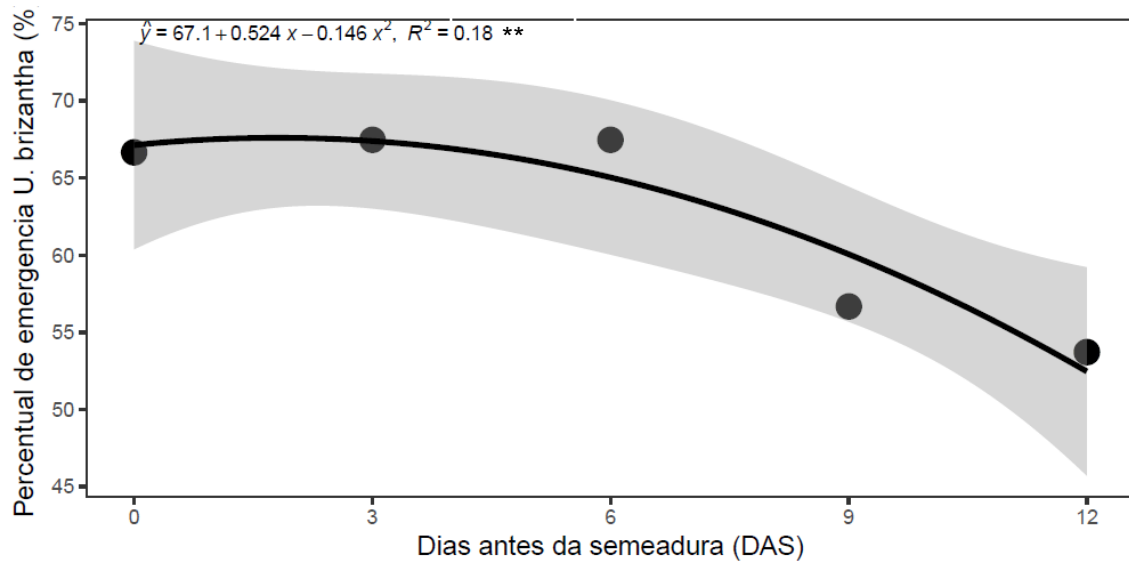
Estudos realizados com subdoses de glifosato em algumas espécies de plantas indicaram estímulo ao crescimento vegetal como um efeito hormético, sugerindo que para os tratamentos 0 DAS, o herbicida está em degradação inicial, possuindo uma maior dosagem no solo (SILVA et al., 2012).

#### 4.2. Percentual de emergência de plântulas

A variável percentual de emergência das plântulas da *U. brizantha* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para o fator de períodos antes da semeadura pelo teste de Fischer à 1% de probabilidade. Para as três lâminas de chuva simulada a análise de variância apresentou médias estaticamente iguais.

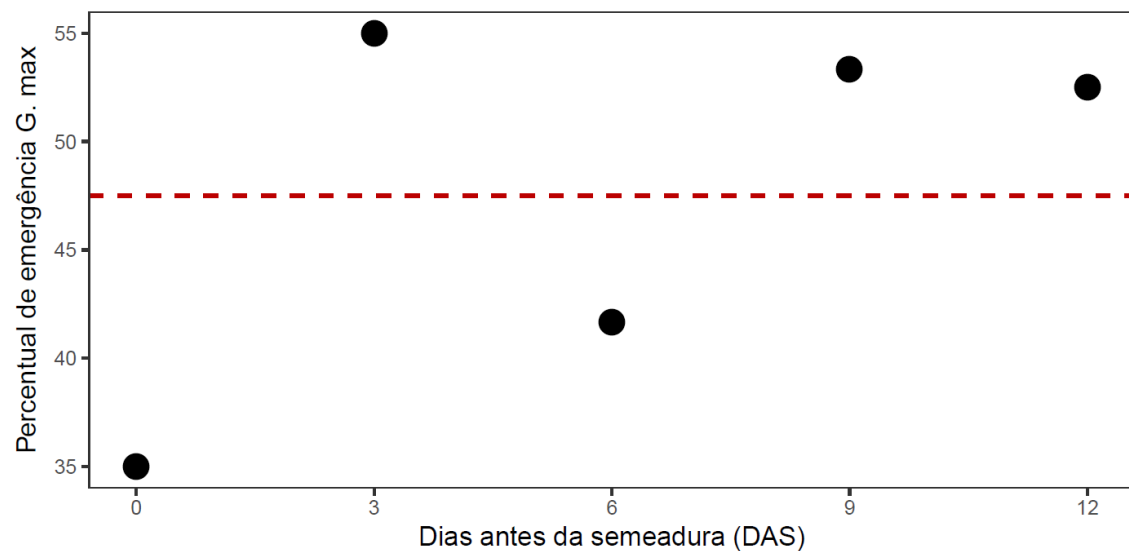
O percentual de emergência das plântulas nos cinco períodos de pulverização antes de semeadura, apresentou um ponto de máximo para 1,8 dias com um percentual

de emergência de 67,57 %, diminuindo sua porcentagem para a pulverização ocorrida mais distante do dia da sementeira (**Figura 19**).



**Figura 19:** Percentual de emergência (%): dias antes da sementeira (DAS) para *U. brizantha*.

A variável percentual de emergência de plântulas da *G. Max*, não apresentou em sua análise de variância, diferença estatística para a interação com o fator períodos antes da sementeira e regimes de chuva, com médias estaticamente iguais com valores de 35,0; 55; 41,67; 53,33 e 35,0 DAS para os períodos 0, 3, 6, 9 e 12 DAS (**Figura 20**).



**Figura 20:** Percentual de emergência (%): dias antes da sementeira (DAS) para *G. max*.



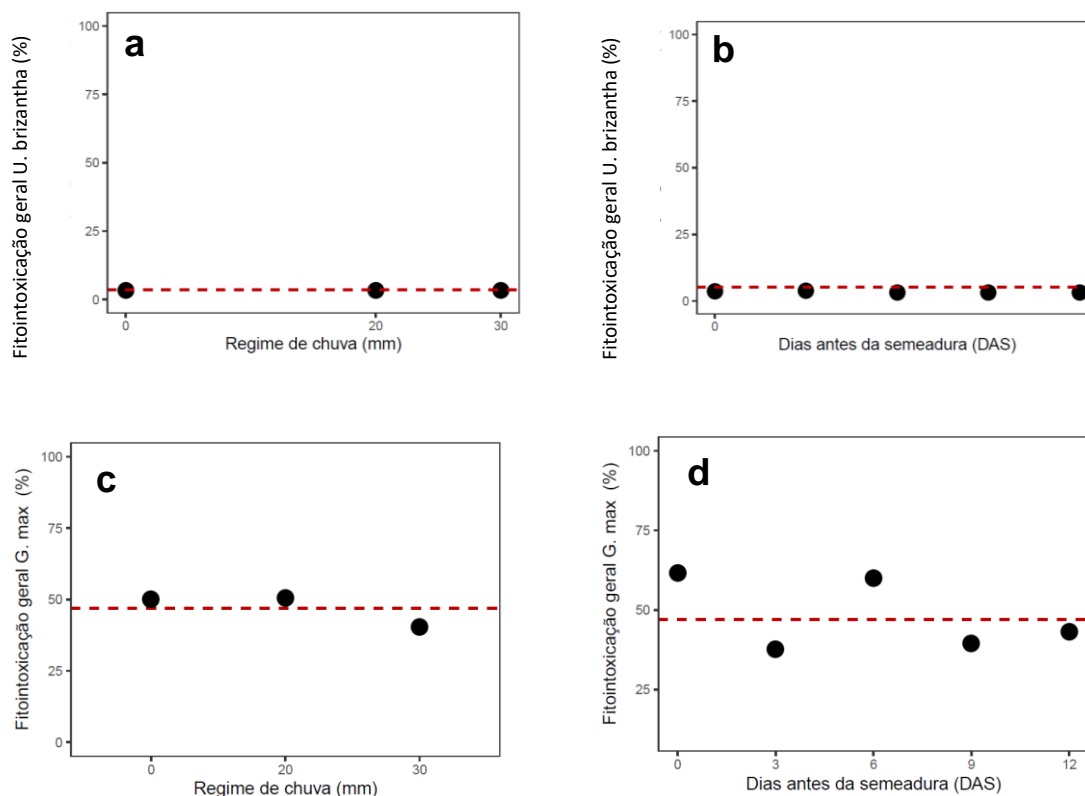
Para a *U. brizantha* conforme o período de pulverização antes da semeadura foi mais próximo, obteve um percentual maior, semelhante ao índice de velocidade de emergência, indicando que o herbicida glifosato mesmo em degradação inicial não afetou o percentual de emergência.

#### 4.3. Análise Visual de Fitointoxicação

A variável de fitointoxicação geral para a *U. brizantha* e para a *G. max*, não apresentou, em sua análise de variância, interação significativa para o teste de Fischer, apresentando médias estaticamente iguais, para chuva e período de semeadura (Figura 21).

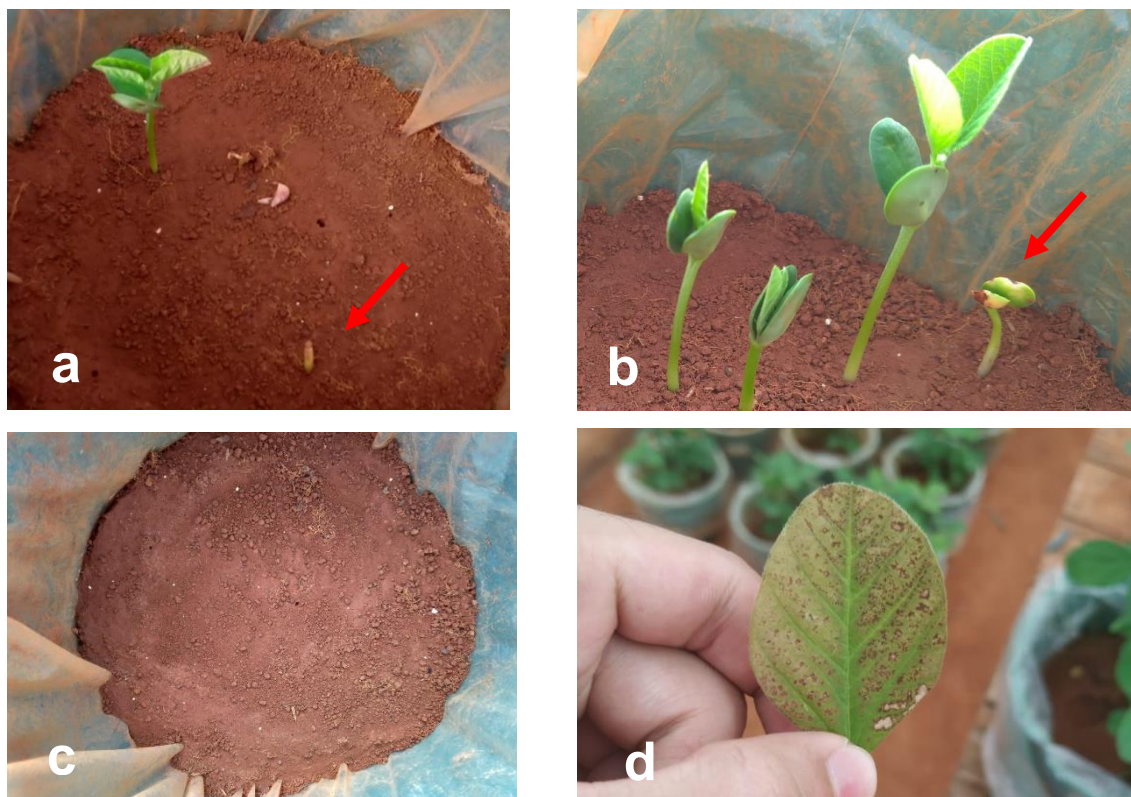
Para *U. brizantha* os valores das médias foram 5,41; 5,83; 5,0; 5,0 e 5,0 para os períodos de 0; 3; 6; 9 e 12 DAS respectivamente e 5,25 para os regimes de chuva de 0, 20 e 30 mm.

Para *G. max* os valores das médias foram 61,67; 37,78; 55,69; 39,58 e 40,14 para os períodos de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS respectivamente e 50,08; 50,50 e 40,33 para os regimes de chuva de 0, 20 e 30 mm respectivamente.



**Figura 21:** Análise Visual de fitointoxicação: regime de chuva (mm) para *U. brizantha* (a); dias antes da semeadura (DAS) para *U. brizantha* (b); regime de chuva (mm) para *G. max* (c); dias antes da semeadura (DAS) para *G. max* (d).

Visualmente, algumas parcelas apresentaram fitointoxicação para os efeitos de germinação, morte, presença de necrose, folhas com clorose ao redor no limbo foliar e necrose nas laterais (**Figura 22**).



**Figura 22:** Análise visual do ensaio: planta germinada e levada a morte (a); planta com necrose (b); vaso sem germinação (c); folha com sintomas de clorose e necrose (d).

Fonte: O autor.

Conforme Dias (2015), devido a inibição da enzima EPSPs e a síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, o crescimento das plantas começam a ser paralisado, podendo apresentar clorose, murcha das folhas e morte das plantas.

A molécula do glifosato quando não adsorvida, se inicia sua degradação após aplicação. Estudos indicam que há uma rápida degradação do herbicida no primeiro dia, seguindo a diminuição até o quadragésimo dia. A meia-vida da molécula depende das fases, sendo a da parte não-adsorvida de 6 a 9 dias e da parte adsorvida de 222 a 835 dias. A microbiota utiliza o glifosato como fonte de carbono para seu metabolismo, aumentando a respiração microbiana (ARAÚJO, et al., 2003).

Com a degradação microbiana do glifosato, o primeiro composto formado é o metabólito AMPA, sendo que nas primeiras semanas a concentração do herbicida decresce enquanto o do seu metabólito aumenta (ARAÚJO et al., 2003).

Para o estudo em questão a *G. max* apresentou sintomas de fitointoxicação, sugestivo da presença do seu metabólito AMPA, porém em relação ao período da semeadura e ao regime de chuva, não obteve uma relação estatística significativa.

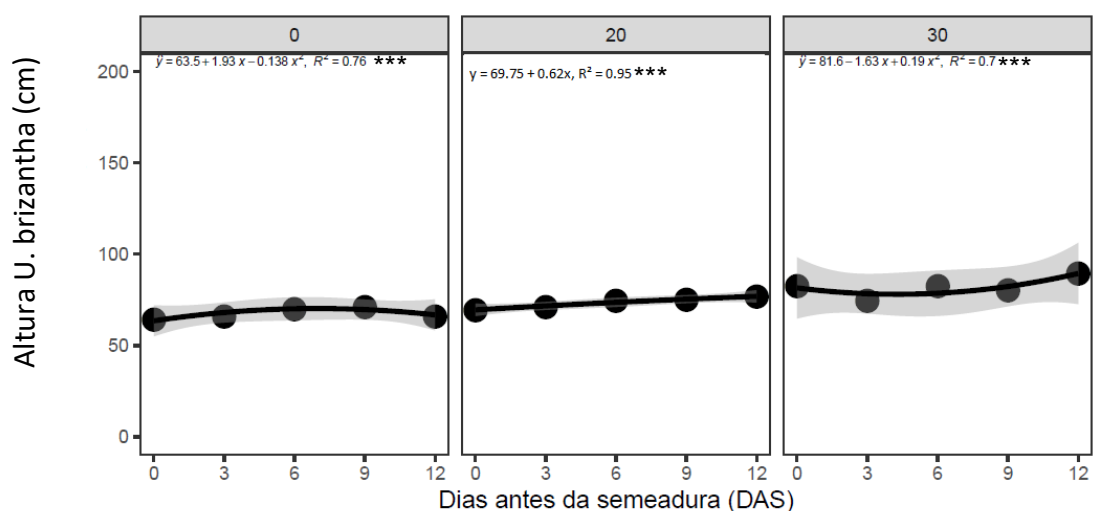
Sella et al. (2013), estudaram o efeito residual do herbicida glifosato em diferentes classes de solo, resultando a presença de sintomas de fitointoxicação, como diminuição de altura da planta e redução do teor de clorofila.

#### 4.4. Altura das plantas

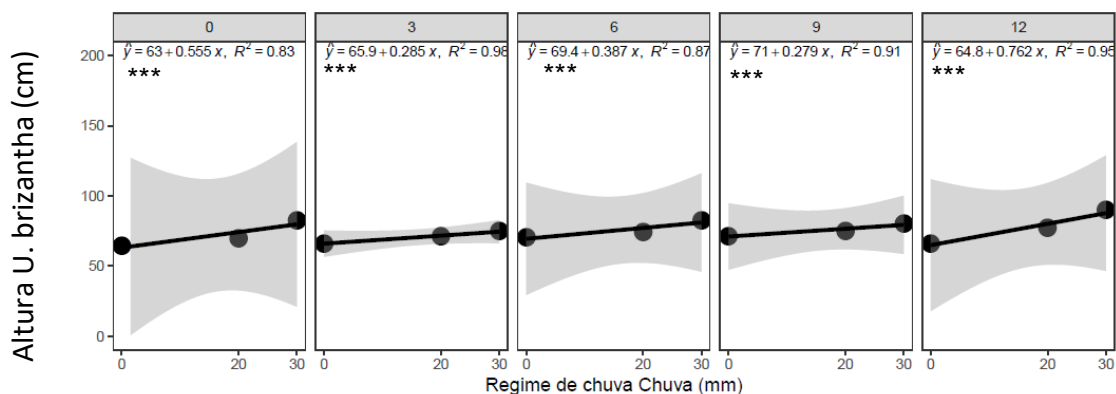
A variável da altura da *U. brizantha* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores períodos antes da semeadura e lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade.

O desdobramento dos tratamentos na interação dos períodos de pulverização antes da semeadura nas três lâminas de chuva simulada apresentou, para chuva de 0 mm, ponto de máximo de 70,15 cm de altura em torno de sete dias antes da semeadura, para a chuva de 20 mm, apresentou um crescimento linear da altura e para a chuva de 30 mm, apresentou um ponto de mínimo de 78,00 cm de altura, aproximadamente quatro dias antes da semeadura (**Figura 23**).

O desdobramento dos tratamentos na interação das lâminas de chuva nos cinco períodos de pulverização antes de semeadura, para os cinco períodos apresentou um crescimento em regressão linear com maior altura da planta para maior lâmina de chuva (**Figura 24**).

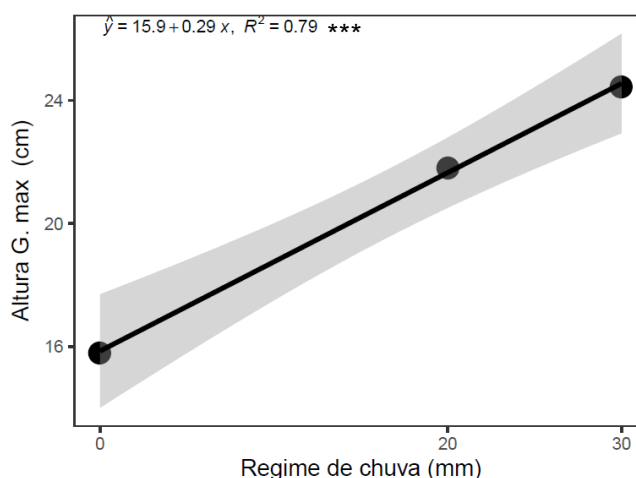


**Figura 23:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para altura da planta (cm) *U. brizantha*.



**Figura 24:** Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a altura da planta (cm) *U. brizantha*.

A variável da altura da *G. max*, em sua análise de variância apresentou interação significativa pelo teste de Fischer à 0,1% para o regime de chuva, com crescimento em regressão linear, apresentando uma maior altura para o maior regime de chuva de 30 mm (**Figura 25**).



**Figura 25:** Altura da planta (cm) *G. max* referente ao tratamento de regime de chuva (mm).

As formulações de glifosato são completamente solúveis em água dispersando rapidamente e não acumulando em altas concentrações no perfil hídrico (MORAES et al., 2010). Portanto, para chuva de 30 mm com maior quantidade de água nas primeiras 24 horas do experimento, sugere que houve uma maior solubilidade.

Dosnon-Olette et al. (2011), analisaram o efeito da taxa de crescimento de plantas aquáticas com uso do herbicida glifosato, relacionando com a concentração do

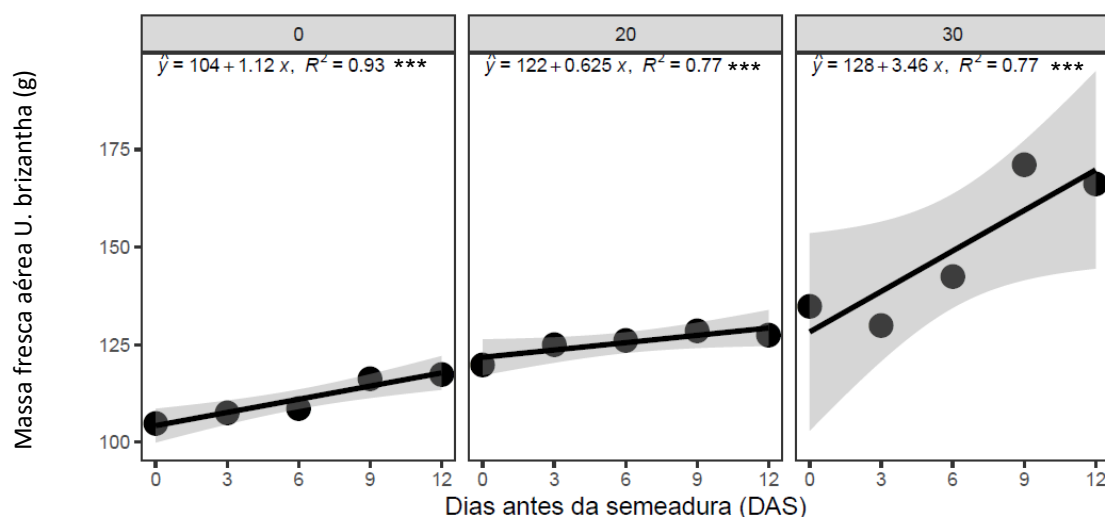
produto, e observou uma inibição da taxa de crescimento para 1 e 4 dias, podendo ser relacionada com a diminuição da concentração utilizada do herbicida. No estudo em questão, a concentração foi a mesma para os três regimes de chuva, porém com a presença de um maior regime de chuva a concentração se torna menor favorecendo um maior crescimento da planta.

#### 4.5. Massa fresca da parte aérea das plantas

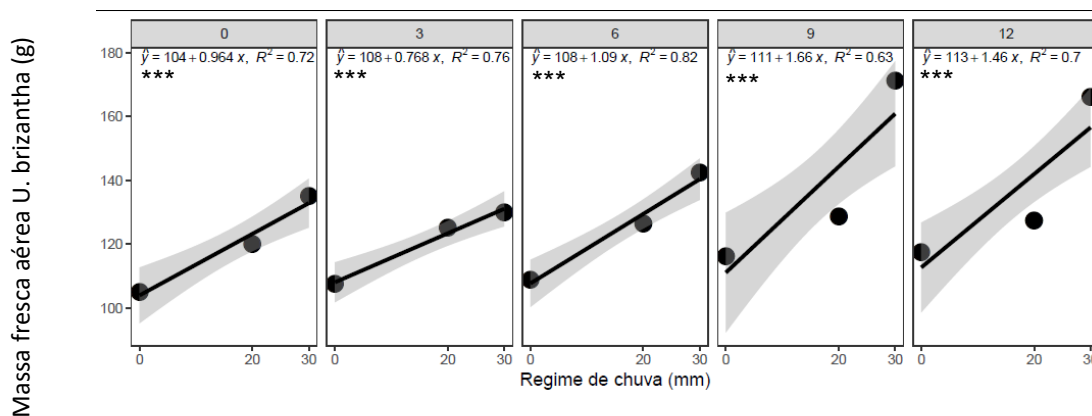
A variável da massa fresca aérea da *U. brizantha* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de períodos antes da semeadura e lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade.

O desdobramento dos tratamentos na interação dos períodos de pulverização antes da semeadura nas três lâminas de chuva simulada, para chuva de 0 mm e 30mm apresentaram um crescimento linear de massa fresca aérea para um período mais distante da pulverização com antes da semeadura. Para a chuva de 20 mm, as médias foram estaticamente iguais (**Figura 26**).

O desdobramento dos tratamentos na interação das lâminas de chuva nos cinco períodos de pulverização antes de semeadura, para os cinco períodos apresentou um crescimento em regressão linear com maior massa fresca aérea para maior lâmina de chuva (**Figura 27**).



**Figura 26:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca aérea (g) da *U. brizantha*.

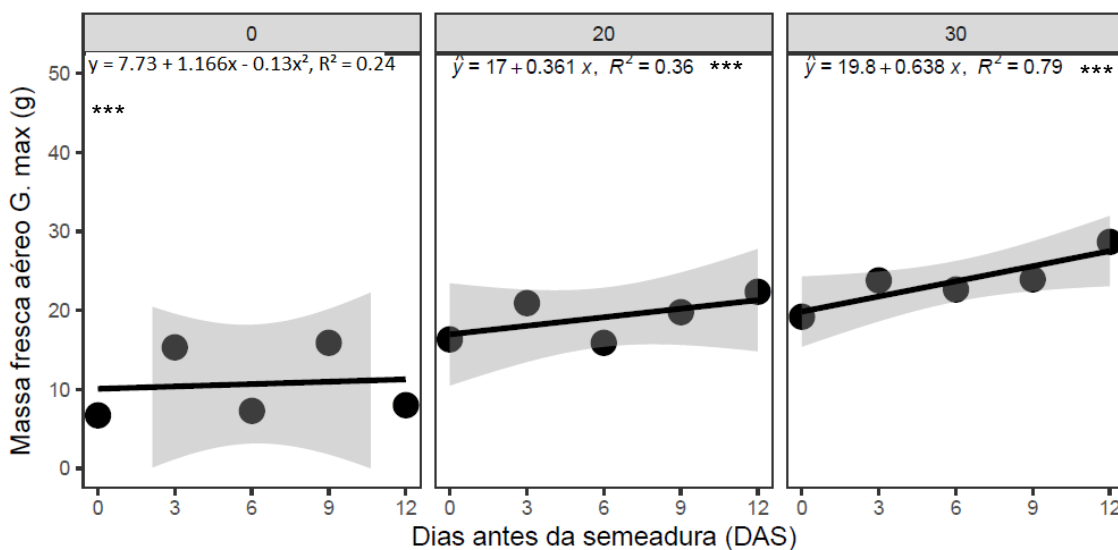


**Figura 27:** Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa fresca aérea (g) da *U. brizantha*.

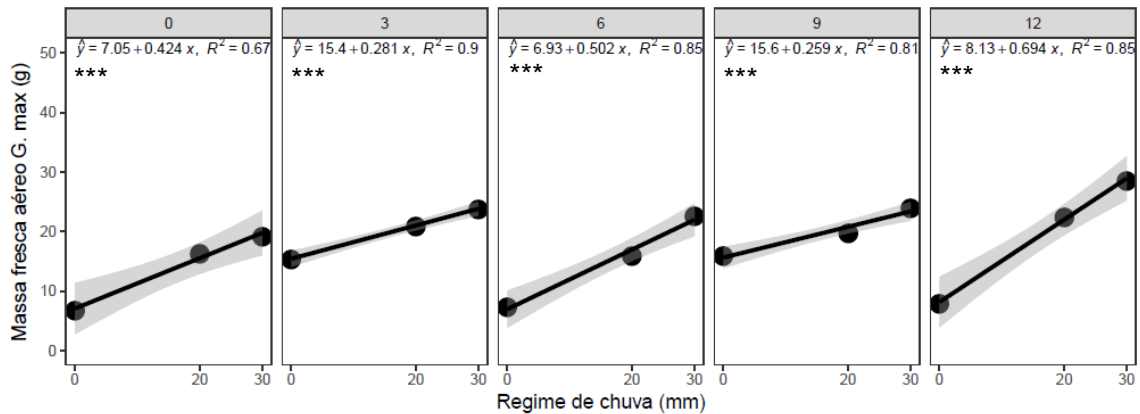
A variável da massa fresca aérea da *G. max* apresentou, em sua análise de variância, desdobramento e interação pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade para o desdobramento entre as lâminas de chuva e os períodos da pulverização antes da semeadura.

Em relação ao desdobramento do período dentro de cada nível de chuva, para chuva de 0 mm, ocorreu um ponto de máximo de 10,36 gramas de massa fresca em torno de quatro DAS. Para as lâminas de chuva de 20 mm e 30 mm, apresentaram um crescimento linear com maior massa fresca para o período de 12 DAS (**Figura 28**).

Para o desdobramento da chuva dentro de cada período da semeadura, para todos os períodos ocorreu um crescimento linear, com maior massa fresca aérea da *G. max* para chuva de 30mm (**Figura 29**).



**Figura 28:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca aérea (g) da *G. max*.



**Figura 29:** Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa fresca aérea (g) da *G. max*.

Os resultados demonstraram que para uma maior lâmina de chuva e um maior período da pulverização antes da semeadura, a quantidade de massa fresca aérea obteve um maior valor.

Conforme Peixoto, et al. (2011), a massa fresca da planta está relacionada com o atributo físico de crescimento, geralmente acompanhada pelo teor de água nos tecidos da planta.

A condução do experimento manteve a capacidade de vaso a 80% para todas as parcelas dos tratamentos, assegurando assim a mesma quantidade de água.

Galli et al., (2005), citaram que o glifosato é altamente solúvel e ocorre o processo de adsorção a sedimentos e a degradação microbiana, sugerindo que, ao realizar a simulação de chuva após a aplicação do herbicida, nas primeiras 24 horas do experimento a quantidade de água diferenciou-se devido aos três tipos de regimes de chuva, havendo maior quantidade de água para o regime de chuva de 30 mm, e consequentemente uma maior solubilidade, adsorção pelos sedimentos presentes e ação dos microorganismos.

O período de semeadura também é influenciado. Para o período 12 DAS, quando ocorreu a semeadura, o herbicida glifosato estava há 12 dias sendo degradado ou adsorvido pelas moléculas do solo, sendo que para o período 0 DAS, o dia da semeadura foi o dia da pulverização, iniciando o processo de degradação mais tardiamente e assim afetando as plantas que foram semeadas no mesmo dia da pulverização.

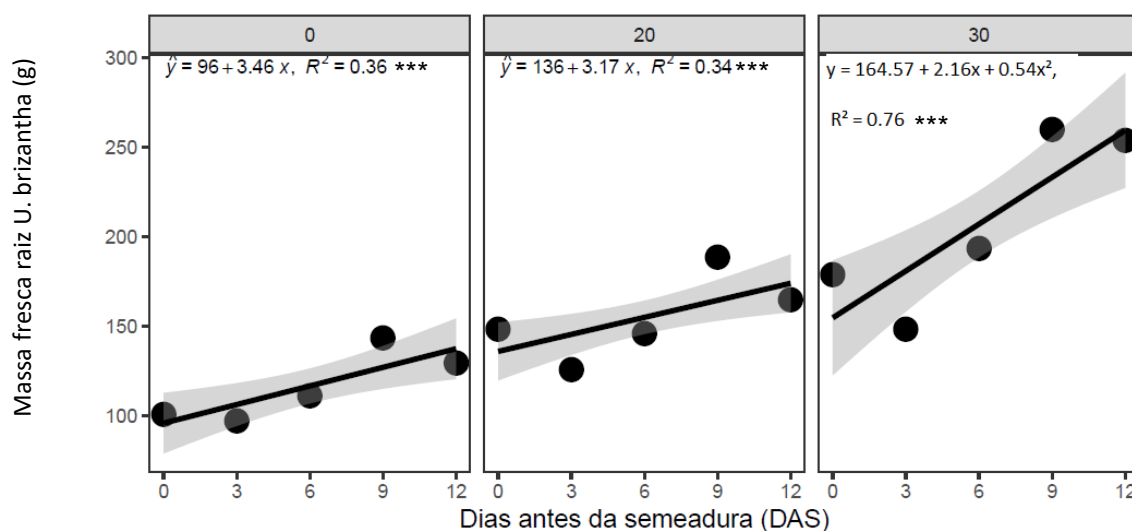


#### 4.6. Massa fresca da raiz das plantas

A variável da massa fresca da raiz da *U. brizantha* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de períodos antes da semeadura e lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade.

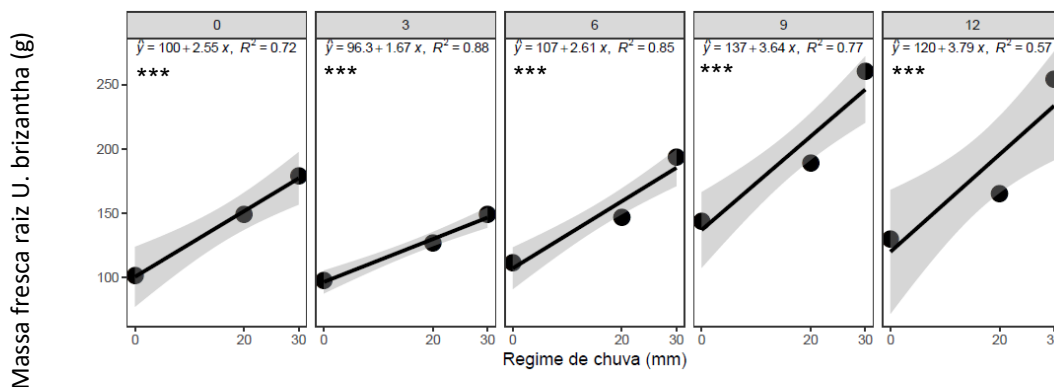
O desdobramento dos tratamentos na interação dos períodos de pulverização antes da semeadura nas três lâminas de chuva simulada, para as chuvas 0 e 20 mm apresentou um crescimento em regressão linear, com aumento da massa fresca da raiz conforme aumento do período dias antes da semeadura. Para o regime de chuva de 30 mm apresentou uma interação quadrática, porém com maior massa fresca da raiz para o período de 12 DAS (**Figura 30**).

O desdobramento dos tratamentos na interação das lâminas de chuva nos cinco períodos de pulverização antes de semeadura, para os cinco períodos apresentou um crescimento em regressão linear com maior massa fresca da raiz para maior lâmina de chuva (**Figura 31**).



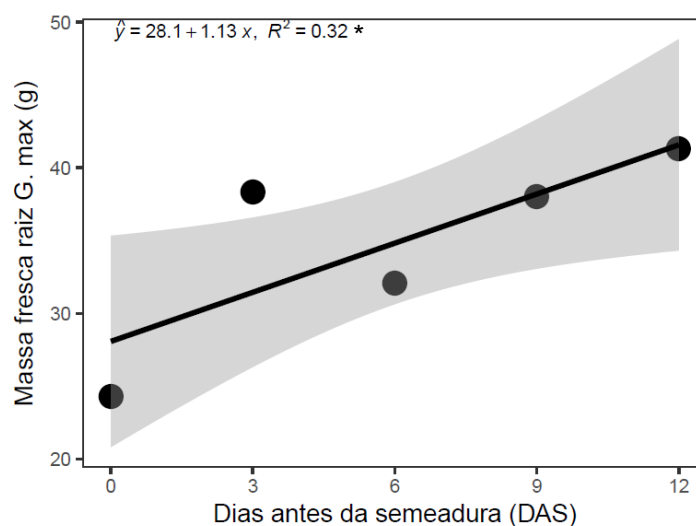
**Figura 30:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca da raiz (g) da *U. brizantha*.





**Figura 31:** Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa fresca da raiz (g) da *U. brizantha*.

A variável da massa fresca da raiz da *G. max* apresentou, em sua análise de variância, desdobramento e interação pelo teste de Fischer à 5% de probabilidade, somente para o período de dias antes da semeadura, com crescimento em regressão linear, apresentando uma massa fresca maior para o período de 12 dias antes da semeadura (**Figura 32**).



**Figura 32:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa fresca da raiz (g) da *G. max*.

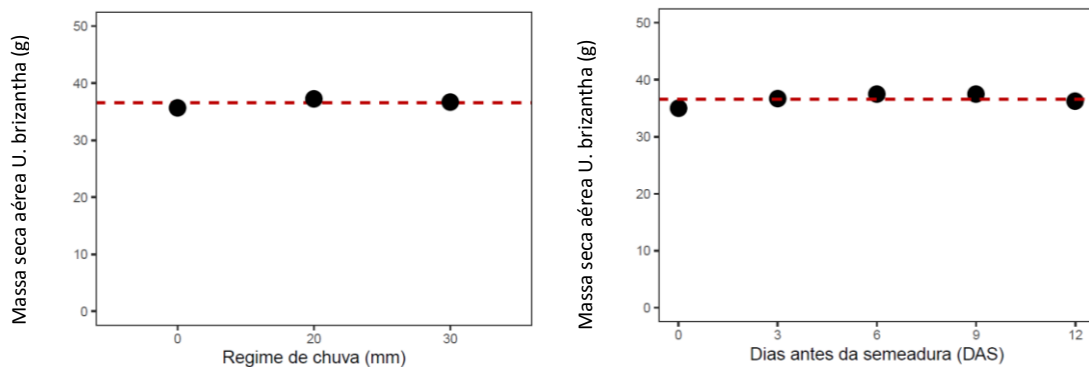
Assim como para a massa fresca aérea, os resultados demonstraram que para uma maior lâmina de chuva e um maior período da pulverização antes da semeadura,

a quantidade de massa fresca da raiz também obteve um maior valor, sugerindo a questão da solubilidade ocorrida inicialmente ao aplicar a chuva simulada e a degradação relacionada ao período de pulverização com o dia da semeadura.

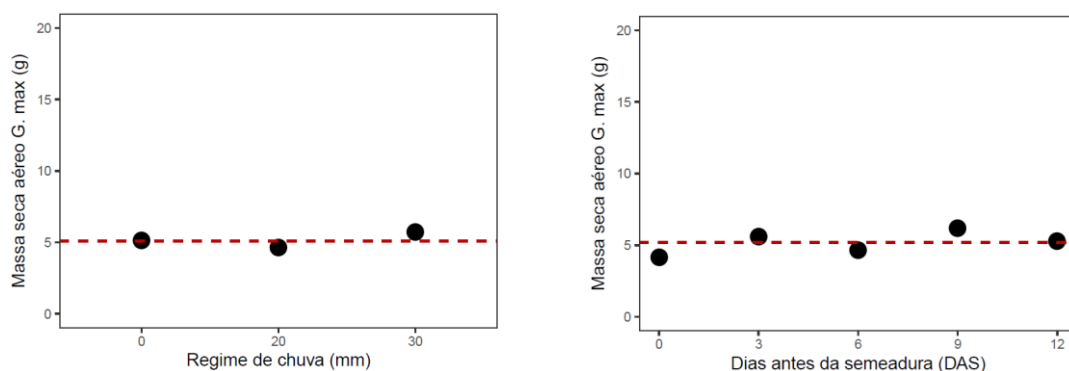
Conforme Sella et al. (2013), o início do desenvolvimento, a planta apresenta uma maior necessidade de absorção de nutrientes e água, ocorrendo um efeito negativo devido a aplicação do herbicida. Isso demonstra um maior impacto para a semeadura ocorrida no período 0 DAS.

#### 4.7. Massa seca da parte aérea das plantas

A massa seca aérea da *U. brizantha* e *G. max*, em sua análise de variância, não apresentou interação significativa para o teste de Fischer, apresentando médias estaticamente iguais. Para *U. brizantha* os valores das médias foram 35,0; 36,67; 37,5, 37,5 e 36,25 para os períodos de 0, 3, 6, 9 e 12 respectivamente e 35,75; 37,25 e 36,75 mm para os regimes de chuva 0, 20 e 30 mm respectivamente. Para *G. max* os valores das médias foram 4,15; 5,60; 4,64; 6,20 e 5,30 para os períodos de 0, 3, 6, 9 e 12 respectivamente e 5,15; 4,65 e 5,73 mm para os regimes de chuva de 0, 20 e 300 mm respectivamente (**Figuras 33 e 34**).



**Figura 33:** Massa seca aérea (g): e regime de chuva (mm) dias antes da semeadura (DAS) para *U. brizantha*.



**Figura 34:** Massa seca aérea (g): regime de chuva (mm) e dias antes da semeadura (DAS) para *G. max*.

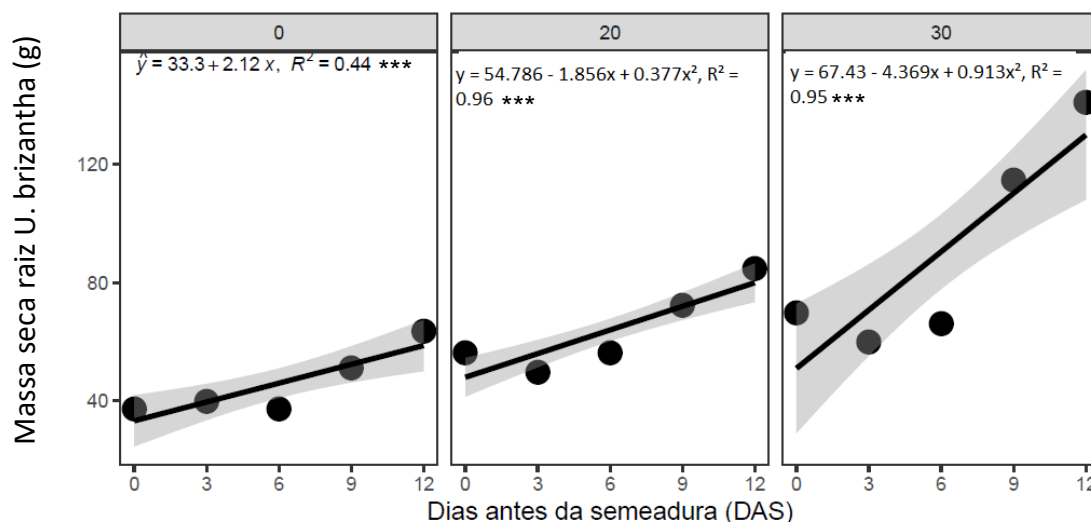
A massa seca da planta é muito utilizada para analisar produtividade, pois é uma medida mais precisa que o peso da matéria fresca (Peixoto et al., 2011). Os tratamentos de chuva simulada e período de pulverização antes da semeadura não tiveram significância para a produção de matéria seca aérea das plantas, concluindo que após toda saída de água da planta, os pesos de massa seca aérea dos foram estaticamente iguais, não apresentando interação entre os tratamentos.

#### 4.8. Massa seca da raiz das plantas

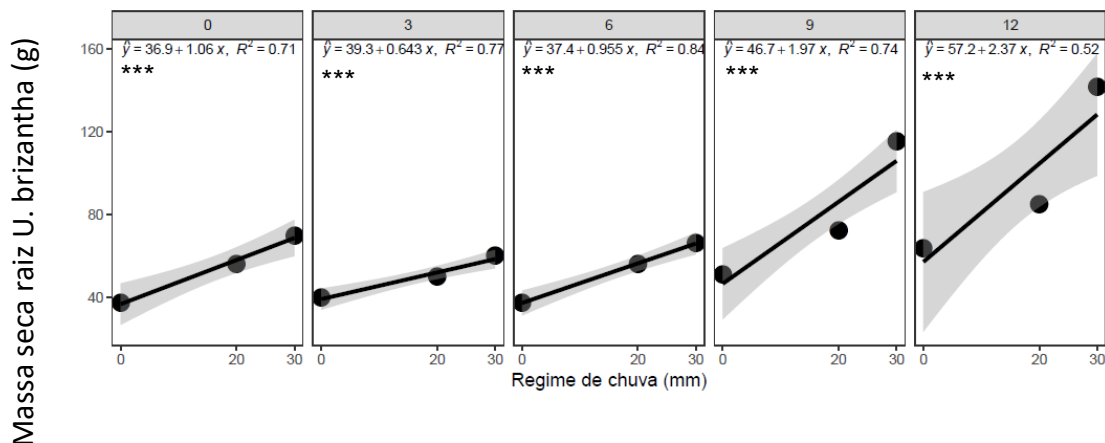
A variável da massa seca da raiz da *U. brizantha* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de períodos antes da semeadura e lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade.

O desdobramento dos tratamentos na interação dos períodos de pulverização antes da semeadura nas três lâminas de chuva simuladas, para regime de chuva 0 mm ocorreu um crescimento em regressão linear, com aumento da massa seca da raiz conforme aumento do período dias antes da semeadura. Para os regimes de chuva 20 e 30 mm, apresentou um ponto de mínimo de 52,50 gramas em torno de 2 DAS, e um ponto de mínimo de 62,20 gramas em torno de dois DAS, respectivamente (**Figura 35**).

O desdobramento dos tratamentos na interação das lâminas de chuva nos cinco períodos de pulverização antes de semeadura, para os cinco períodos apresentou um crescimento em regressão linear com maior massa seca da raiz para maior lâmina de chuva (**Figura 36**).



**Figura 35:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa seca da raiz (g) da *U. brizantha*.

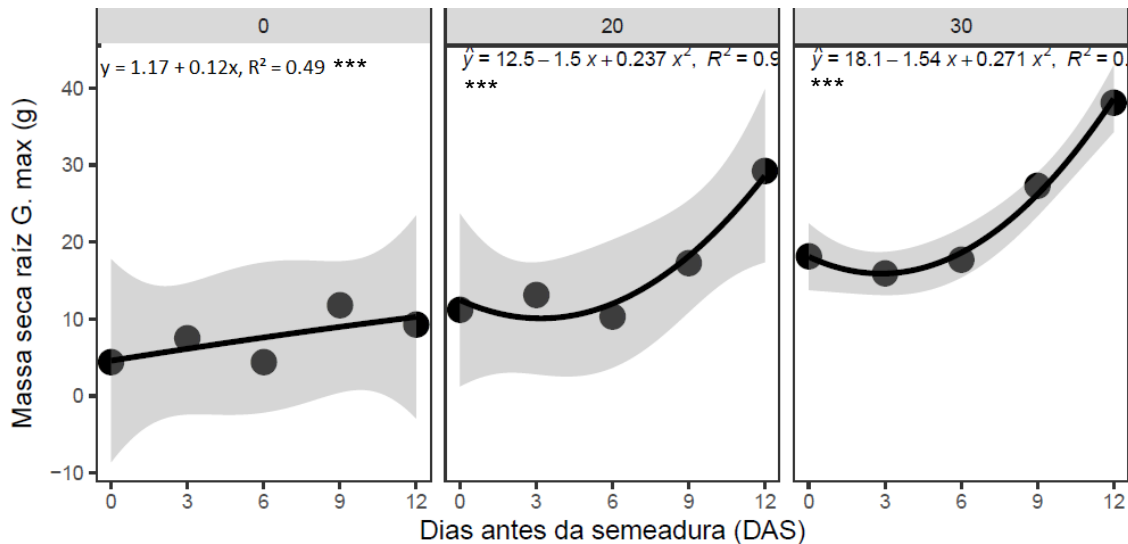


**Figura 36:** Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa seca da raiz (g) da *U. brizantha*.

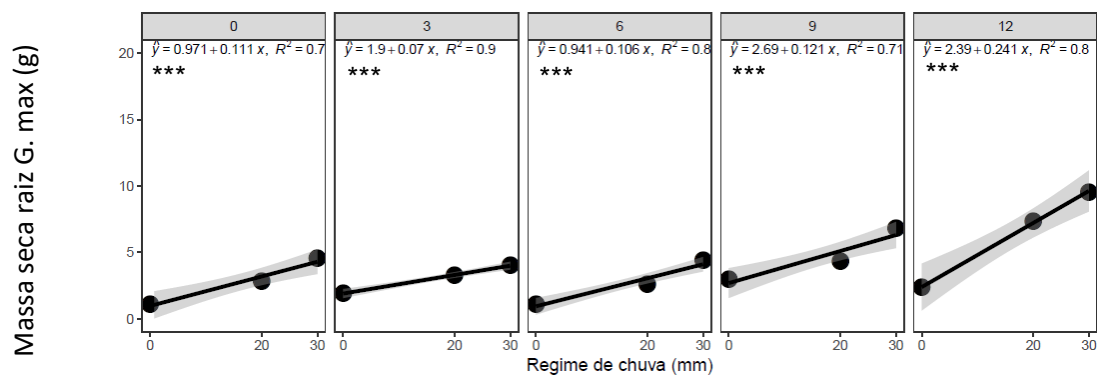
A variável da massa seca da raiz da *G. max* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de períodos antes da semeadura e lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade.

O desdobramento dos tratamentos na interação dos períodos de pulverização antes da semeadura nas três lâminas de chuva simulada, para chuva 0 mm, ocorreu um crescimento em regressão linear, com aumento da massa seca da raiz conforme aumento do período dias antes da semeadura. Para as chuvas de 20 e 30 mm, apresentou um ponto de mínimo de 10,12 gramas em torno de três DAS, e um ponto de mínimo de 15,90 gramas aproximadamente três DAS, respectivamente (**Figura 37**).

O desdobramento dos tratamentos na interação das lâminas de chuva nos cinco períodos de pulverização antes de semeadura, para os cinco períodos apresentou um crescimento em regressão linear com maior massa seca da raiz para maior lâmina de chuva (**Figura 38**).



**Figura 37:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para a massa seca da raiz (g) da *G. max*.



**Figura 38:** Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para a massa seca da raiz (g) da *G. max*.

Os resultados demonstraram que para uma maior lâmina de chuva e um maior período da pulverização antes da semeadura, a quantidade de massa seca da raiz apresentou maior peso, sugerindo a questão da solubilidade ocorrida inicialmente ao aplicar a chuva simulada e a degradação relacionada ao período de pulverização com o dia da semeadura.

Na região da rizosfera, apresenta grande presença de microorganismos, sendo um ótimo local para degradação de compostos orgânicos, muitas vezes utilizando o contaminante como fonte de nutriente. Estudos mostram que bactérias podem até proliferar na presença de agrotóxicos. Com o passar do tempo, os microorganismos vão

se adaptando ao agente contaminante, aumentando o processo de degradação (PIRES et al., 2003).

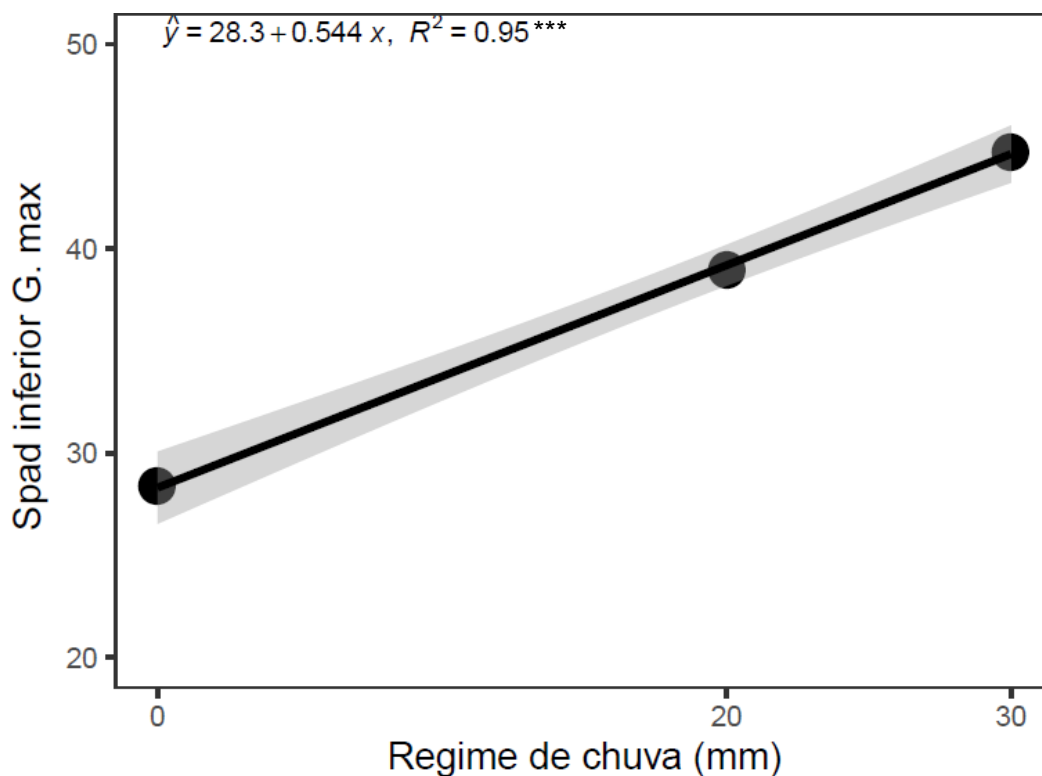
Sugere-se que para o período de 12 DAS, quando ocorreu a semeadura, o herbicida estava mais degradado do que para o período 0 DAS, sendo mais afetada sua massa seca da raiz.

#### 4.9. Índice de Clorofila - SPAD

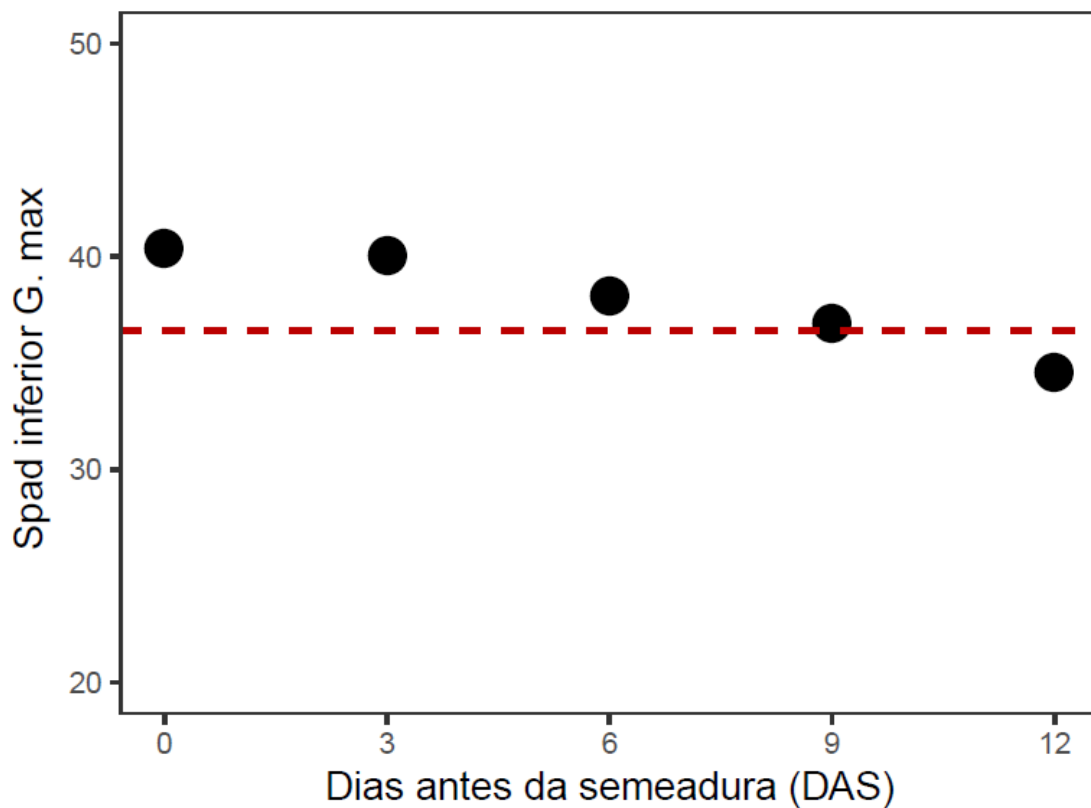
A variável índice de clorofila SPAD inferior da *G. Max* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para o fator de lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade.

O índice de clorofila SPAD inferior nas três lâminas de chuva simulada, apresentou crescimento em regressão linear com seu aumento para um maior regime de chuva (**Figura 39**).

Para o índice de clorofila SPAD inferior dentro de cada período de pulverização antes da semeadura, as médias foram estaticamente iguais com valores de 33,67; 36,70; 39,24; 36,875 e 36,10 para os períodos de 0; 3; 6; 9 e 12 DAS respectivamente, não apresentando interação entre os tratamentos (**Figura 40**).



**Figura 39:** Índice de clorofila SPAD inferior: regime de chuva 0, 20 e 30 (mm) para *G. max*.

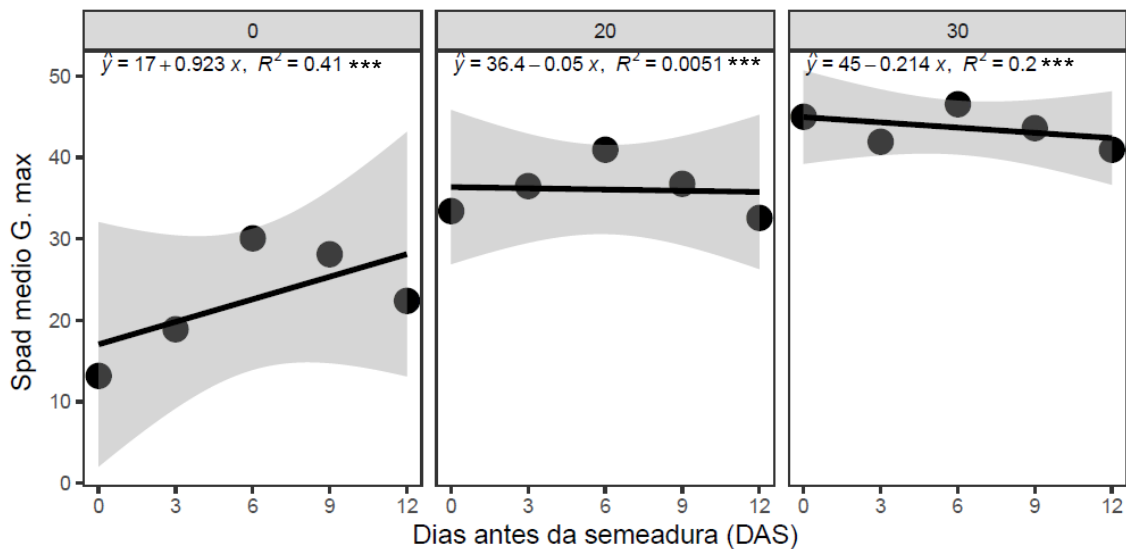


**Figura 40:** Índice de clorofila SPAD inferior: dias antes da semeadura 0, 3, 6, 9 e 12 (DAS) para *G. max*.

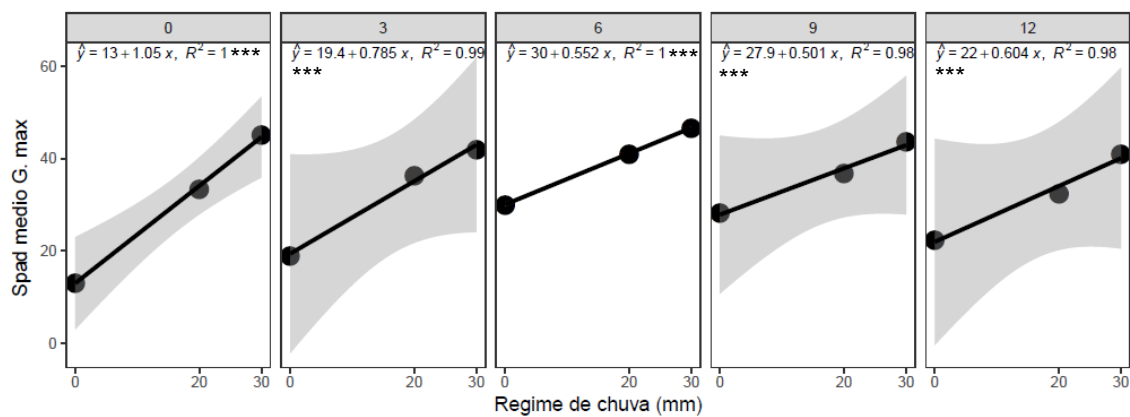
A variável índice de clorofila SPAD médio da *G. Max* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para a interação entre os fatores de períodos antes da semeadura e lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 5% de probabilidade.

O desdobramento dos tratamentos na interação do índice de clorofila SPAD médio nas três lâminas de chuva simulada, apresentou para chuva de 0 mm um crescimento em regressão linear com aumento para um maior período antes da semeadura, para as chuvas de 20 e 30 mm, apresentou um decréscimo em regressão linear (**Figura 41**).

O desdobramento dos tratamentos na interação do índice de clorofila SPAD médio dentro de cada período de pulverização antes da semeadura, apresentou para todos os períodos, um crescimento em regressão linear com aumento para uma maior lâmina de chuva (**Figura 42**).



**Figura 41:** Desdobramento da interação do tratamento dias antes da semeadura (DAS) dentro de cada regime de chuva de 0, 20 e 30 mm, para índice de clorofila SPAD médio da *G. max*.



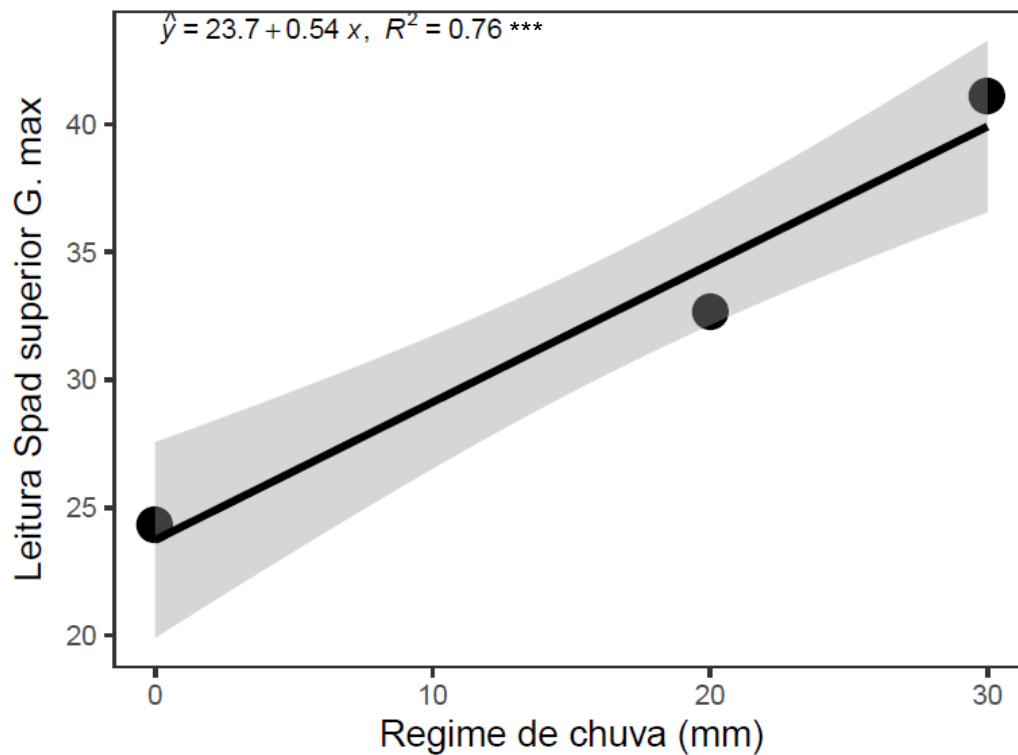
**Figura 42:** Desdobramento da interação do tratamento regime de chuva (mm) dentro de cada período de dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS, para índice de clorofila SPAD médio da *G. max*.

A variável índice de clorofila SPAD superior da *G. Max* apresentou, em sua análise de variância, diferença estatística para o fator de lâminas de chuva, pelo teste de Fischer à 0,1% de probabilidade e para o fator períodos da pulverização antes da semeadura, pelo teste de Fischer à 5% de probabilidade.

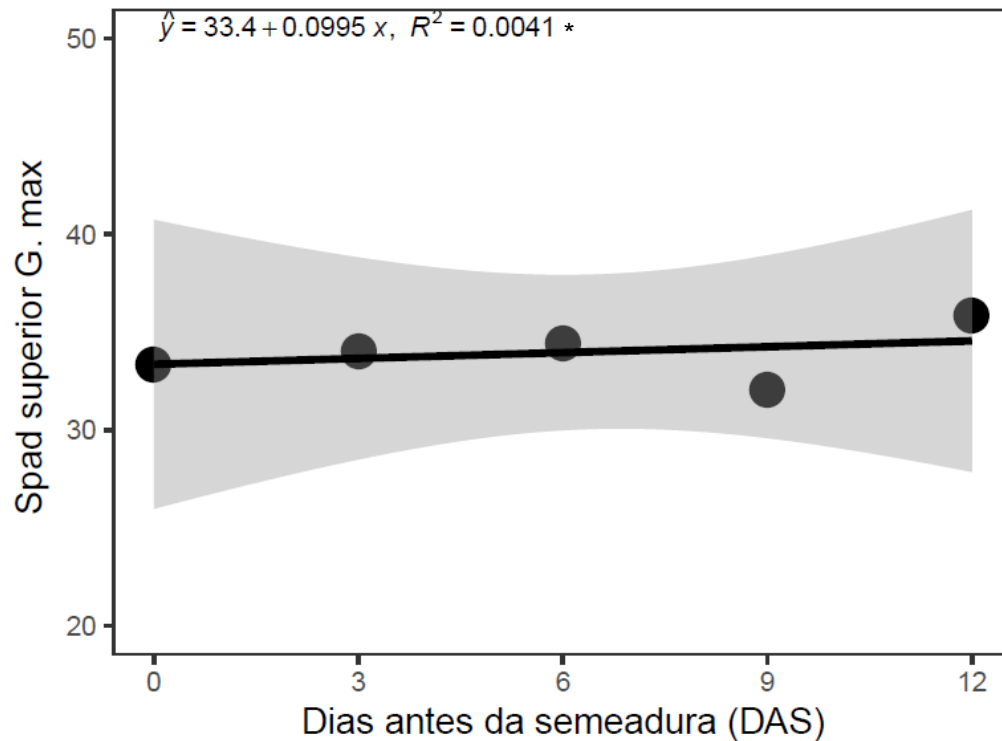
O índice de clorofila SPAD superior nas três lâminas de chuva simulada, apresentou crescimento em regressão linear com seu aumento para um maior regime de chuva (**Figura 43**).

O índice de clorofila SPAD inferior dentro de cada período de pulverização antes da semeadura, apresentou crescimento em regressão linear com seu aumento para um maior período de pulverização antes da semeadura (**Figura 44**).





**Figura 43:** Índice de clorofila SPAD superior: regime de chuva 0, 20 e 30 (mm) para *G. max*.



**Figura 44:** Índice de clorofila SPAD superior: dias antes da semeadura de 0, 3, 6, 9 e 12 DAS para *G. max*.

A análise demonstra para os três tipos de leituras SPAD realizadas (inferior, média e superior), uma relevância com um maior valor de índice de clorofila para um maior regime de chuva aplicado e o período antes da semeadura mais distante da pulverização.

Zobiolo et al. (2011), estudaram o teor de clorofila em soja com a aplicação do herbicida glifosato e verificaram que o mesmo impactou em uma redução do teor, que pode ser relacionado com a diminuição da taxa fotossintética ou a mobilização do Magnésio (Mg) e Manganês (Mn) devido à um complexo nutricional do cátion do herbicida, imobilizando esses nutrientes para a planta que comprometem para o teor de clorofila.

O primeiro metabólico fitotóxico do glifosato é o AMPA, responsável pela diminuição do teor de clorofila e massa seca da parte aérea (FIGUEIREDO et al., 2011).

Sugere-se que para o período entre a pulverização e o dia da semeadura, conforme mais distante, maior o período para degradação do glifosato, sendo que seu metabólito após a pulverização tem um alto valor, da mesma forma que a quantidade de chuva aplicada, devido à alta solubilidade do glifosato, logo após a simulação de chuva inicia o processo de degradação e possuindo uma menor dosagem para um regime de chuva maior.

## 5. CONCLUSÕES

A *U. brizantha* apresenta resistência ao herbicida glifosato, pois o seu desenvolvimento não foi totalmente prejudicado.

A *G. max* indicou presença do herbicida no solo, apresentando sintomas de fitointoxicação e restrições ao seu desenvolvimento em algumas parcelas do experimento.

O herbicida glifosato possui persistência curta em solo, pois ambas as culturas se desenvolveram após uma semana de pulverização (9 e 12 dias de semeadura antes da pulverização).

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. **Contaminação química e biorremediação do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.

Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Ranking da FAO mostra que uso de defensivos no Brasil é menor que em diversos países da Europa**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/ranking-da-fao-mostra-que-uso-de-defensivos-no-brasil-e-menor-que-em-diversos-paises-da-europa>. Acesso em: 2019 ago.

Amarante Junior, Ozelito Possidônio; Santos, Teresa Cristina Rodrigues. **GLIFOSATO: PROPRIEDADES, TOXICIDADE, USOS E LEGISLAÇÃO**. Quim. Nova, Vol. 25, No. 4, 589-593, 2002.

Amarante Junior, Ozelito Possidônio; Santos, Teresa Cristina Rodrigues. **MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO HERBICIDA GLIFOSATO: BREVE REVISÃO**. Quim. Nova, Vol. 25, No. 4, 420-428, 2002.

APHALO, P. J. **Learn R ...as you learnt your mother tongue** Leanpub, 2016. Disponível em: <https://leanpub.com/learnr>

Araújo, Isabelle Maria Mendes de; Oliveira, Ângelo Giuseppe Roncalli da Costa **AGRONEGÓCIO E AGROTÓXICOS: IMPACTOS À SAÚDE DOS TRABALHADORES AGRÍCOLAS NO NORDESTE BRASILEIRO**. Trabalho, Educação e Saúde, vol. 15, núm. 1, 2017, pp. 117-129 Fundação Oswaldo Cruz, Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio.

ARAÚJO, ADEMIR SÉRGIO FERREIRA; MONTEIRO, REGINA TERESA ROSIM, ABAKERLI, ROSÂNGELA BLOTA; SOUZA, LOURDES SILVESTRE. **BIODEGRADAÇÃO DE GLIFOSATO EM DOIS SOLOS BRASILEIROS**. Pesticidas: R.Ecotoxicol. e Meio Ambiente, Curitiba, v. 13, p. 157-164, jan./dez.2003.

Barros, Juliana Almeida. **USO DO HERBICIDA GLIFOSATO NAS LAVOURAS MARANHENSES: uma análise fundamentada na teoria da sociedade de risco**. Universidade Federal do Maranhão. Programa de pós-graduação em energia e ambiente. São Luis, MA. 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 31 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA AGRICULTURA, PECUÁRIA SILVICULTURA, EXPLORAÇÃO FLORESTAL E AQUICULTURA**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2018. Disponível em: < [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-31.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-31.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2019.

BRASIL. Presidência da República - Casa Civil. Decreto nº 4074 – 4 jan. 2002.. Brasília. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4074.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm)>. Acesso em: 20 nov. 2019.

Bomfim-Silva, Edna Maria; Silva, Tonny José Araújo. **Coleta de Solo- Análise de Fertilidade**. Universidade Federal do Mato Grosso. Programa em Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEAgri/UFMT) e do Grupo de Práticas em Água e Solo (GPAS). Rondonópolis – MT. 2011.

Carneiro FF, Rigotto RM, Augusto LGS, Friedrich K, Búrigo AC, organizadores. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV, São Paulo: Expressão Popular, 2015.

Castro A.J.V., Colares I.G., Franco T.C., Cutrim, M.V.J., Santos, R.L. **Using a toxicity test with *Ruppia maritima* (Linnaeus) to assess the effects of Roundup**. Marine Pollut Bull 91 (2015) 506-510.

Carmo, M.L., Procopio, S.O., Pires, F.R., Cargnelutti Filho, A., Braz, G.B.P., Silva, W.F.P., Barroso, A.L.L., Silva, G.P., Carmo, E.L., Braz, A.J.B.P., Pacheco, L.P. **Influência do período de cultivo do capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*) na fitorremediação do solo contaminado com picloram**. Planta Daninha, Viçosa-MG, v.26, n. 3, p. 601-609, 2008.

Christoffoleti, Pedro Jacob; Ovejero, Ramiro Fernando López; Damin, Virginia; Carvalho, Saul Jorge Pinto; Nicolai, Marcelo. **COMPORTAMENTO DOS HERBICIDAS APLICADOS AO SOLO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), Departamento de Produção Vegetal, Área de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas; Piracicaba – SP, 2008.

Coutinho, Henrique Douglas; Barbosa, Alyne Rats. **Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização**. Silva Lusitana 15(1): 103 - 117, 2007 © EFN, Lisboa. Portugal.

DIAS, GUSTAVO LUÍS SANT' ANA. **SINTOMAS DE INTOXICAÇÃO DE CULTURAS POR HERBICIDAS**. Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. VIÇOSA - MINAS GERAIS. 2015.

Dosnon-Olette, Rachel; Couderchet, Michel; Oturan, Mehmet A.; Oturan, Nihal; Eullaffroy, Philippe. **Potential Use of *Lemna Minor* for the Phytoremediation of Isoproturon and Glyphosate**. International Journal of Phytoremediation, 13:601–612, 2011.

EMBRAPA. **Soluções tecnológicas - *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/863/brachiaria-brizanthacv-marandu>. Acesso em: 2019, ago.

**Plantas daninhas na soja RR.**  
[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01\\_84\\_271020069\\_133.html#](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_84_271020069_133.html#). Acesso em: 2019, set.

**Braquiária muito além da alimentação animal.** [https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31795514/B\\_brizantha-muito-alem-da-alimentacao-animal](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31795514/B_brizantha-muito-alem-da-alimentacao-animal). Acesso em: 2019, nov.

**Soja.** <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acesso em: 2020, fev.

Ferraço, Mariana; Pires, Fábio Ribeiro; Belo, Alessandra Ferreira; Celin Filho, Ademar; Bonomo, Robson. **Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone**. Revista Ciência Agrônômica, v. 48, n. 1, p. 32-40, jan-mar, 2017. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

FIGUEIREDO, L.A., SILVA, D.H., BOARETTO, A.E., RIBEIRINHO, V.S. **EFEITO DO GLIFOSATO SOBRE A FIXAÇÃO DE N EM SOJA TRANSGÊNICA E**

**CONVENCIONAL.** Rev. bras. ol. fibros., Campina Grande, v.15, n.1, p.27-36, jan./abr. 2011.

FRANCO, MIGUEL HENRIQUE ROSA. **FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS PELO PICLORAM POR *Brachiaria brizantha*.** UFVJM. Diamantina, MG. 2013.

Franco, Miguel Henrique Rosa; França, André Cabral; Albuquerque, Marco Túlio; Schiavon, Nykolas Carvalho; Vargas, Guto Nascimento. **Fitorremediação de solos contaminados com picloram por *Urochloa brizantha*.** Pesquisa Agropecuária Tropical, vol. 44, núm. 4, outubro-diciembre, 2014, pp. 460-467. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Goiânia, Brasil

GALLI, A.J.B., MONTEZUMA, M.C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura.** ACADCOM Gráfica e Editora Ltda.2005.

GAZZIERO, D.L.P.; BRIGHENTI, A.M., MACIEL, C.D.G, CHRISTOFOLLETI, P.J.; ADEGAS, F.S.; VOLL, E. **RESISTÊNCIA DE AMENDOIM - BRAVO AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA ENZIMA ALS.** Planta Daninha, v. 16, n. 2, 1998 117. Londrina – PR.

González-Valenzuela, L.E., Dussán, J. **Molecular assessment of glyphosate-degradation pathway via sarcosine intermediate in *Lysinibacillus sphaericus*.** Centro de Investigaciones Microbiológicas CIMIC, Universidad de los Andes, Cra 1 No. 18 A – 12, Bogotá, Colombia. 2018.

IBAMA. **Os 10 ingredientes ativos mais vendidos.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-deagrotoxicos#sobreosrelatorios> . Acesso em: 2019 nov.

**Consumo de agrotóxicos e afins 2000-2018.**  
<https://ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/relatorios/2018/grafico%20-%20Consumo%20agrotoxicos%202000-2018.pdf>. Acesso em: 2019 nov.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques>. Acesso em: 2019 ago.

INMET. **Estações Automáticas.** Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTKwNw==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTKwNw==). Acesso em: 2019 ago.

Lopes, C.V.A., Albuquerque, G.S.V. **Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática.** SAÚDE DEBATE. RIO DE JANEIRO, V. 42, N. 117, P. 518-534, ABR-JUN 2018.

MAGUIRE, J. D. **Speed of germination — aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** Crop science, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

Malty, Juliano dos Santos; Siqueira, José Oswaldo; Moreira, Fátima Maria de Souza. **Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.2, p.285-291, fev. 2006.

Martinez, M.S.; Cruvinel, D.F.C.; Baratto, D.M.; **Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia.** Revista DAE, nº 191. Ribeirão Preto –SP. 2013.

MELO DA SILVA, VINÍCIUS. **Soja como bioindicador para o estudo do potencial de lixiviação do 2,4-D em Latossolo Vermelho com chuva simulada.** Universidade Federal do Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Cuiabá-MT. 2017.

MELHORANÇA FILHO, A.L. PEREIRA, M.R.R., MARTINS, D. **EFEITO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DAS CULTIVARES DE SOJA RR E CONVECIONAL.** Biosci. J., Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 686-691, Sept./Oct. 2011.

MEROTTO A. JR, A.; VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. **TOLERÂNCIA DA CULTIVAR DE SOJA COODETEC 201 AOS HERBICIDAS INIBIDORES DE ALS.** Planta Daninha, v. 18, n. 1, 2000.

MEYER, L.D.; HARMON, W. C. **Interrill runoff and erosion: Effects of row- sideslope shape, rain energy, and rain intensity.** Transactions of the ASAE, St Joseph, v.35, n.4, p.1199-1203, 1979.

MORAES, P.V.D.; ROSSI, P. **Comportamento ambiental do glifosato**. Scientia Agraria Paranaensis Volume 9, número 3 - 2010, p 22-35.

Moura A.P.D., Carvalho G.A., Cosme L.V., et al. **Toxicological and ultrastructural analysis of the impact of pesticides used in temperate fruit crops on two populations of Chrysoperla externa (Neuroptera, Chrysopidae)**. Rev. Brasil. Entomol. 2011; 55(3):411- 418.

Peixoto, Clovis Pereira; Cruz, Thyane Viana; Peixoto, Maria de Fátima da Silva Pinto. **ANÁLISE QUANTITATIVA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS: Conceitos e Prática**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011.

Pignati, W.A.; Lima, F.A.N.S.; Lara, S.S.; Correa, M.L.M.; Barbosa, J.R.; Leão, L.H.C.; Pignatti, M.G. **Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde**. Ciência & Saúde Coletiva, 22(10):3281-3293, 2017. Cuiabá-MT.

PIRES, F.R., SOUZA, C.M., SILVA, A.A., PROCÓPIO, S.O., FERREIRA, L.R. **FITORREMEDIÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM HERBICIDAS**. Planta Daninha, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.335-341, 2003.

Prata, Fábio. **Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de azatrina**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2002.

Santos, G.; Francischini, A.C.; Constantin, J.; Oliveira Jr., R.S. **Carryover proporcionado pelos herbicidas S-metolachlor e trifluralin nas culturas de feijão, milho e soja**. Planta daninha vol.30 no.4 Viçosa Oct./Dec. 2012.

SCRAMIN, S.; SKORUPA, L. A.; MELO, I. S. **Utilização de plantas na remediação de solos contaminados por herbicidas – levantamento da flora existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar**. In: MELO, I. S. et al. Biodegradação. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. p. 369-371.

Sella, Heitor Augusto; Arantes, Sayonara Andrade do Couto Moreno; Zimpel, Gilvan de Quadra; Arantes Kelte Resende; Cassol, Jéry Adriano. **Efeito residual do glifosato em**



**diferentes classes de solos.** XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis – SC. 2013.

SILVA, F. M. L.; CAVALIERI, S. D.; SÃO JOSÉ, A. R.; ULLOA, S. M.; VELINI, E. D. **Atividade residual de 2, 4-D sobre a emergência de soja em solos com texturas distintas.** Revista Brasileira de Herbicidas, v. 10, n. 1, p. 29-36, 2011.

SILVA, P. C. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA T. J. A., SILVA, M. S.; MACIEL JUNIOR, I. C. **Avaliação de um simulador de chuva acoplado a um temporizador.** XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA são Pedro SP, 2015.

Silva, Ryshardson Geovane Pereira de Oliveira; Silva, José Elienir Nunes; Melhorança Filho, André Luiz; Silva, Cristovão Francisco da Costa; Bezerra, Jessica Larissa de Souza. **EFEITO DE SUBDOSES DE GLIFOSATO SOBRE GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DO FEIJOEIRO.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 475, 2012.

SILVA, V.M.; SILVA, T. J.A.; OLIVEIRA, M.A.P; BOMFIM-SILVA, E. M.; JOSÉ, J.V.; SCHILICHTING, A. F. **Initial Development of Soybean as a Bioindicator of the Potential of Leaching 2,4 D in Red Latossol.** American Society of Agricultural and Biological Engineers. APPLIED ENGINEERING IN AGRICULTURE. V.34, p – 727 – 733, 2017.

SUSARLA, S.; MEDINA, V.F. & McCUTCHEON, S.C. **Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination.** Ecol. Engin., 18:647-658, 2002.

Toni, L.R.M., Santana, H., Zaia, D.A.M. **ADSORÇÃO DE GLIFOSATO SOBRE SOLOS E MINERAIS.** Quim. Nova, Vol. 29, No. 4, 829-833, 2006.

Vassão, C.B. **POTENCIAL DE GRAMÍNEAS (Poaceae) COMO FITORREMEIADORAS EM SOLO CONTAMINADO COM HERBICIDA.** Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

Vasconcelos, Yuri. **Agrotóxicos na berlinda.** Pesquisa Fapesp 271. Setembro 2018.

Veiga, Denise Piccirillo Barbosa. **O impacto do uso do solo na contaminação por agrotóxicos das águas superficiais de abastecimento público.** Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. São Paulo. 2017.

Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro; Gasques, José Garcia. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade.** IPEA. Brasília, 2016.

VIVO, E.A.D.V.; GALLOTI, J.F.F. **SUSCEPTIBILIDAD DE *Lolium multiflorum Lam.* A APLICACIONES DE GLIFOSATO EN RASTROJOS DE CULTIVOS DE VERANO.** UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA FACULTAD DE AGRONOMÍA. MONTEVIDEO. URUGUAY.2011.

WERLANG, R.C., SILVA, A.A., FERREIRA, L.R., MIRANDA, G.V. **EFEITOS DA CHUVA NA EFICIÊNCIA DE FORMULAÇÕES E DOSES DE GLYPHOSATE NO CONTROLE DE *Brachiaria decumbens*.** Planta Daninha, Viçosa-MG, v.21, n.1, p.121-130, 2003.

Zobiolo, L.H.S., Kremer, R.J., Oliveira Jr., R.S. a, Constantin, J. **Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation of “second generation” glyphosate-resistant soybean (*Glycine max L.*).** L.H.S. Zobiolo et al. / Pesticide Biochemistry and Physiology 99 (2011) 53–60.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.** Springer-Verlag New York, 2009.