

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**Latossolo vermelho e sua interação com a palhada e precipitação pluvial
na lixiviação do piroxasulfona**

Vitor Adriano Benedito

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves
Coorientador: Me. Heytor Lemos Martins

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para Graduação em
Engenharia Agrônômica.

**JABOTICABAL – SP
1º semestre/2023**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Latossolo vermelho e sua interação com a palhada e precipitação pluvial na lixiviação do piroxasulfona

Vitor Adriano Benedito

Orientador: Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

Coorientador: Heytor Lemos Martins

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal – SP

1 ° Semestre/2023

B4631

Benedito, Vitor Adriano

LATOSSOLO VERMELHO E SUA INTERAÇÃO COM A PALHADA E
PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA LIXIVIAÇÃO DO PIROXASULFONA / Vitor
Adriano Benedito. -- Jaboticabal, 2023

57 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal

Orientador: Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

Coorientador: Heytor Lemos Martins

1. Herbicidas. 2. Lixiviação por percolação. 3. Solos Percolação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE JABOTICABAL

Departamento: Biologia

CERTIFICADO



TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Latossolo Vermelho e sua interação com a palhada e precipitação pluvial na lixiviação do piroxasulfona

ACADÊMICA: Vitor Adriano Benedito

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

COORIENTADOR: Me. Heytor Lemos Martins

PERÍODO: maio /2022 a junho/2023

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados REPOSITÓRIO. ☒ Sim ☐ Não

BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)

(Assinaturas)

Presidente: Me. Heytor Lemos Martins

Membro: Prof. Dr. Eduardo da Silva Martins

Membro: Eng. Agron. Treyce Stephane Cristo Tavares

Jaboticabal: 29 / 06 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho Departamental em: 10/07/2023

Prof. Dr. Davi Rodrigo Rossatto
Chefe do Departamento de Biologia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha mãe, Vera Lúcia de Almeida, à República Abatedouro e à equipe LAPDA.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Vera Ligia de Almeida, por sempre acreditar em mim, por me ensinar a ser quem sou hoje e me dar todo apoio sempre que precisei. Ao meu pai, Adriano Antônio Benedito, pelos conselhos. Minhas irmãs, Ana Ligia Benedito, pelo carinho e por sempre se fazer presente mesmo que distante e Poliane Cristina Benedito por sempre me lembrar que existe amor sincero no mundo.

A Minha vó, Maria Clotildes de Almeida por sempre me incentivar a ir atrás dos meus sonhos. Aos meus tios, Mauro Adriano de Almeida e Marco Antônio de Almeida por me ensinarem muito do que sei hoje. Aos meus primos e primas pelos momentos de descontração nas voltas para a casa.

Ao Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves por me acolher no LAPDA, pelas orientações e conselhos ao longo de toda minha graduação, por se mostrar solícito em todos os horários possíveis e pela forma que coordena o laboratório, deixando o cotidiano de todos que fazem questão de estar ali mais leve.

Ao meu coorientador e amigo Me. Heytor Lemos Martins, pelos conselhos, auxílio na condução do projeto, incentivos, puxões de orelha, por me conduzir ao aprendizado e compartilhar suas risadas, fazendo as horas passassem mais rápido.

A equipe LAPDA, em especial ao técnico José Valdir Fidelis Martins, Treyce Stephane Cristo Tavares e Marcos Vinicius Cardoso Garcia, por toda a ajuda, ensinamento, conselhos, pela amizade, carinho e por todos os momentos de descontração;

Aos membros da República Abatedouro, por me ajudarem na condução dos meus projetos e por todos os momentos de descontração (foram muitos), tornando todos esses anos mais fáceis de serem vividos. Especialmente ao Gabriel Mangeti Mourão (Carona) por se dispor a me auxiliar durante todo o período de férias na condução do experimento, pelas conversas e amizade.

A Caroline Paschoal, pelo afeto ao longo desses anos, pelo auxílio no projeto, por me escutar e apoiar em minhas escolhas, e por estar comigo nas horas boas e ruins sempre melhorando os meus dias.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa - 2022/00949-0

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura química do piroxasulfona e principais características físico-químicas. Fonte: IUPAC (2022) e EPA (2017).	20
Figura 2. Mapa de localização da área onde foi realizada a coleta do Latossolo Vermelho Distroférico utilizado no experimento.	22
Figura 3. Mapa de localização aproximado do ponto de coleta do Latossolo Vermelho Distroférico utilizado no experimento.	23
Figura 4. Tubo reconstituído e tapado com tela de sombrite 70%.	24
Figura 5. Tubos recém abertos.	24
Figura 6. Efeito das simulações de chuva x quantidade de palhada na emergência das plântulas de sorgo.	31
Figura 7. Efeito das simulações de chuva x quantidade de palhada x profundidade na altura das plântulas de sorgo.	32
Figura 8. Raízes das plântulas de sorgo recém lavadas.	41
Figura 9. (a) Detalhe da raiz de uma plântula de sorgo da testemunha total, sem aplicação de herbicida; (b) Detalhe das injúrias causadas pelo herbicida nas raízes das plântulas de sorgo em tratamentos com aplicação do piroxasulfona.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo coletado.	21
Tabela 2. Escala de notas da EWRC (1964) adotada para as avaliações de fitotoxicidade dos produtos.	26
Tabela 3. Notas visuais, Massa seca da parte aérea, Massa seca da raiz e Emergência do sorgo aos 10 dias após a semeadura, em resposta aos tratamentos no Latossolo Vermelho Distroférrico.	29
Tabela 4. Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações simuladas sobre a nota de fitointoxicação de plantas de sorgo aos 10 dias após a semeadura no Latossolo Vermelho Distroférrico.	36
Tabela 5. Efeito da interação entre as quantidades de palha e a profundidade do solo sobre a nota de fitointoxicação de plantas de sorgo aos 10 dias após a semeadura no Latossolo Vermelho Eutroférrico.	37
Tabela 6. Análise da interação das simulações de chuva x palhada na massa seca da parte aérea do sorgo no Latossolo Vermelho Distroférrico.....	39
Tabela 7. Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações simuladas sobre a massa seca da raiz das plântulas de sorgo aos 10 dias após a semeadura no Latossolo Vermelho Distroférrico.	40
Tabela 8. Resposta microbiológica e enzimática no Latossolo Vermelho Distroférrico sob aplicação de piroxasulfona em diferentes precipitações simuladas e quantidades de palha.....	45
Tabela 9. Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações simuladas sobre bactérias totais no Latossolo Vermelho Distroférrico.	46
Tabela 10. Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações simuladas sobre a atividade enzimática da β -glucosidase no Latossolo Vermelho Distroférrico.	48

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	13
2. OBJETIVOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. COMPORTAMENTO DE HERBICIDAS NO SOLO.....	15
3.2. EFEITO DA PALHA NA DINÂMICA DO HERBICIDA	18
3.3. PIROXASULFONA	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	23
4.2. PREPARO DO MATERIAL PARA O EXPERIMENTO	24
4.3. PLANTA INDICADORA E AVALIAÇÃO DE FITOTOXICIDADE DO PIROXASULFONA	25
4.4. AVALIAÇÃO DA COMUNIDADE BIOLÓGICA DO SOLO	26
4.4.1 PREPARO DOS MEIOS DE CULTURA, INOCULAÇÃO E ANÁLISES DE BACTÉRIAS E FUNGOS.....	26
4.4.2 ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO	27
4.4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
REFERÊNCIAS	48

Latossolo vermelho e sua interação com a palhada e precipitação pluvial na lixiviação do piroxasulfona

Resumo

O solo é o destino final dos herbicidas. Portanto, é de grande importância compreender o comportamento dos herbicidas no solo, relacionando-o com as suas características físico-químicas, presença de palha em cobertura e precipitações pluviais para alcançar um posicionamento eficiente no manejo de plantas daninhas. Visto isso, objetivou-se verificar se o piroxasulfona apresenta percolação diferenciada em função da quantidade de palhada e precipitação pluvial em Latossolo Vermelho e seus reflexos na microbiota do solo. Para tanto, foram preenchidos tubos de PVC com Latossolo Vermelho. Estes foram umedecidos até 65% de sua capacidade de saturação e realizada a deposição da palha de cana sobre a superfície exposta dos tubos em quantidades equivalentes a 0, 5, 10 e 15 t/ha, realizando, em seguida, a aplicação do piroxasulfona na dose de 200 mL p.c./ha. Decorridas 24 horas após a aplicação, foram feitas as simulações de chuvas em quantidades equivalentes a 10, 20 e 40 mm. Após 72 horas as palhas foram retiradas da superfície das colunas e os tubos colocados na posição horizontal e abertos longitudinalmente, onde foi realizada a semeadura do sorgo em intervalos de 1 cm. Para este experimento utilizou-se DIC, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 4x3+T, em 4 repetições, no qual constituíram os fatores as quatro quantidades de palha de cana-de-açúcar submetidas a três simulações de chuva com uma testemunha absoluta. Diariamente após a aplicação, até a estabilização da emergência da planta indicadora, foi realizada a contagem das plântulas emergidas. Ao final desse período, foram atribuídas notas visuais de fitotoxicidade EWRC (1964). Foram realizadas medições de altura e pesagem da massa seca da parte aérea. As raízes também foram lavadas para obtenção de massa seca. E as plantas remanescentes foram cortadas rentes à superfície do solo (a cada 5 cm), ensacadas, identificadas e colocadas para secar em uma estufa a 60°C por 72 horas, para determinação da massa seca. Concluiu-se que nos tratamentos onde foi realizada a aplicação do piroxasulfona, as simulações de 20 mm de chuva foram as mais eficientes na redução da parte aérea das plântulas bioindicadoras, quando comparadas com 10 e 40 mm. Que a aplicação do herbicida pyroxasulfone foi significativa para a comunidade microbiana e na atividade enzimática e que a redução da massa seca da raiz foi crescente conforme o aumento da quantidade de chuva simulada.

Palavras-chave: Herbicidas, lixiviação por percolação, solos percolação.

Oxisol and its interaction with straw and rainfall in pyroxasulphone leaching

Abstract

The soil is the ultimate destination of herbicides. Therefore, it is of great importance to understand the behavior of herbicides in the soil, relating it to their physicochemical characteristics, presence of straw cover, and rainfall, in order to achieve effective weed management. With this in mind, the objective was to verify if pyroxasulfone presents differentiated percolation depending on the amount of straw and rainfall in a Red Latosol and its effects on soil microbiota. For this purpose, PVC tubes were filled with Red Latosol. They were moistened up to 65% of their saturation capacity, and sugarcane straw was deposited on the exposed surface of the tubes in quantities equivalent to 0, 5, and 10 t/ha. Then, pyroxasulfone was applied at a dose of 200 mL a.i./ha. After 24 hours of application, rainfall simulations were performed in amounts equivalent to 10, 20, and 40 mm. After 72 hours, the straw was removed from the surface of the columns, and the tubes were placed horizontally and longitudinally opened, where sorghum was sown at 1 cm intervals. The experiment followed a randomized complete block design (RCBD), with treatments arranged in a 4x3 factorial scheme plus a control, with 4 replications. The factors consisted of the four quantities of sugarcane straw subjected to three rainfall simulations, along with an absolute control. Daily counts of emerged seedlings were made until the emergence of the indicator plant stabilized. At the end of this period, visual ratings of phytotoxicity (EWRC, 1964) were assigned. Height measurements and dry weight of the aboveground biomass were taken. The roots were also washed for obtaining dry weight. The remaining plants were cut flush with the soil surface (at every 5 cm), bagged, identified, and dried in an oven at 60°C for 96 hours to determine the dry weight. It was concluded that in the treatments where pyroxasulfone application was performed, rainfall simulations of 20 mm were the most efficient in reducing the aboveground biomass of the bioindicator seedlings when compared to 10 and 40 mm. The application of the herbicide pyroxasulfone had a significant effect on the microbial community and enzymatic activity, and the reduction in root dry weight increased with the increase in simulated rainfall.

Key Word: Herbicides, percolation leaching, percolation soils.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O crescimento da população mundial nos últimos anos tem forçado o aumento da produção de alimentos por meio da intensificação do uso do solo com a adoção de novas tecnologias no manejo das culturas, tais como a utilização de fertilizantes, variedades melhoradas, agroquímicos, plantios adensados, adoção de plantas transgênicas, dentre outras (DE OLIVEIRA et al., 2011). Junto dessa problemática vem a preocupação com o meio ambiente em relação a contaminação por herbicidas, pois o uso intensivo destes produtos pode caracterizar uma importante fonte de contaminação ambiental do solo (CALDERON et al., 2016 TRIVEDI et al., 2020) e dos recursos hídricos (PORTUGAL et al., 2017).

Essa contaminação pode acarretar alterações na microbiota do solo, em específico, nos indicadores de qualidade, podendo refletir diretamente na produtividade final que se espera em um cultivo. Os indicadores são importantes devido aos diversos processos em que atuam, desde sozinhos na degradação de material particulado para disponibilização de nutrientes para planta, até em associação com a rizosfera (MENDES et al., 2019; STOCK et al. 2018; SIM et al., 2022; KATSOULA et al., 2020). Assim, é importante entender o efeito dos herbicidas mediante a manejos do solo para tal comunidade, visto que, eles possuem uma grande importância na agricultura (TRIVEDI et al., 2020).

Mesmo considerando os diversos benefícios dos agrotóxicos para a agricultura, não se pode negar que estas substâncias estão entre as principais causadoras da poluição ambiental, visto que aproximadamente 2,6 milhões de toneladas são liberadas por ano no meio ambiente (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2017), atingindo diversos organismos, de diferentes níveis tróficos, alterando, assim, a dinâmica ambiental (MOSTAFALOU; ABDOLLAHI, 2013) e, por conta disso, é necessário um manejo racional na utilização desses produtos.

Para a obtenção de elevadas produtividades das culturas é necessário incluir um manejo adequado de plantas daninhas na gestão da lavoura, pois as plantas daninhas constituem um dos fatores que mais influenciam negativamente no desenvolvimento e crescimento das culturas, uma vez que competem por fatores de produção, além de acentuar os custos operacionais de

colheita, secagem e beneficiamento dos grãos (ISHAYA et al., 2008; FREITAS et al., 2009; LAMEGO et al., 2011; LINHARES et al., 2014). Esse manejo é realizado basicamente empregando herbicidas, especialmente em grandes áreas. Isto se deve à incorporação de mais áreas para o cultivo e à escassez e ao alto custo da mão-de-obra no meio rural (DE OLIVEIRA et al., 2011).

Os herbicidas utilizados na agricultura para o controle das plantas daninhas sempre acabam tendo como destino o solo, sejam eles aplicados diretamente no solo (pré-emergentes) ou na parte aérea das plantas (pós-emergentes). Ao entrarem em contato com este solo, essas substâncias estão sujeitas a processos físico-químicos que regulam seu destino no ambiente. Exemplos destes processos são a volatilização, fotodegradação, decomposição química e microbiológica, escoamento superficial, lixiviação e a absorção pelas plantas (AL-MAMUN, 2017). Todos esses processos sofrem interferência direta quando relacionados a quantidade de palha e chuva (CHANG et al., 2022; ROYER et al., 2019; RAZO, 2022).

Um dos fatores que determinam a eficiência no controle de plantas daninhas durante o período crítico de competição é a utilização de herbicidas pré-emergentes com efeito residual. Com essa alternativa, torna-se possível a execução de planos para controle efetivo de plantas infestantes na lavoura (MILLER et al., 1995). O piroxasulfona é um herbicida que apresenta um longo efeito residual (RIBEIRO, 2020), e que vem demonstrando sua eficácia em pré-emergência sendo utilizado para o controle de plantas daninhas em diversas culturas (MARCUSSE, 2020; PRESOTO et al., 2022; RODRIGUES, 2022).

128

129 **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho visou avaliar o potencial de lixiviação do herbicida piroxasulfona em um Latossolo Vermelho Distroférico sob simulações de precipitações pluviais crescentes, na presença ou não de palhada como cobertura e seus efeitos nos bioindicadores do solo.

134

135

136

137

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. COMPORTAMENTO DE HERBICIDAS NO SOLO

Os herbicidas aplicados diretamente na superfície do solo possuem a tendência de se lixiviam para as camadas mais profundas e isso ocorre por influência das precipitações pluviométricas ou de irrigações artificiais, onde, no geral, existe uma correlação positiva entre a lixiviação de herbicidas e a precipitação pluvial, sendo que as precipitações intensas podem incrementar a lixiviação desses produtos (MONQUERO et al., 2008).

A partir do contato do herbicida com a superfície do solo, existem diferentes meios dos herbicidas reagirem, sofrendo diferentes processos, os quais podem ser classificados em três categorias: processos de sorção/dessorção, transformação (degradação) e transporte (lixiviação) (SILVA, 2020).

Os processos de sorção e dessorção dos herbicidas dão-se de maneira simultânea no solo. Quando se encontra sorvido, o herbicida fica indisponível na solução do solo, reduzindo a quantidade de produto para o controle das plantas daninhas (CARVALHO, 2013). Em alguns casos, as partículas anteriormente sorvidas podem retornar à solução do solo, caracterizando a dessorção (SILVA, 2020).

A degradação é essencial na redução dos níveis de resíduos de defensivos agrícolas nos solos, pois além dos impactos ao meio ambiente, eles podem ser nocivos à saúde humana (LOPES et al., 2018; KIM et al., 2017). O processo da degradação ocorre de forma que a estrutura destes compostos é transformada com a quebra das suas moléculas, de forma abiótica ou biótica, transformando essas, na maioria dos casos, em moléculas menos tóxicas que as originais (FENNER et al., 2013).

Existem três principais tipos de degradação de defensivos agrícolas, a fotodegradação, a degradação química e a microbiológica (GAVRILESCU, 2005). A fotodegradação ocorre com a presença da luz, que pode promover a quebra dos compostos em moléculas de menor toxicidade e menores, sendo a principal reação à oxidação (BURROWS et al., 2002). A degradação química consiste na quebra de moléculas nas quais organismos não estejam envolvidos, como, por exemplo, a oxirredução e a hidrólise (ZENG; CHIN; ARNOLD, 2012).

171 A degradação microbiológica é realizada pelos microrganismos do solo, por dois
172 processos principais, sendo o primeiro, o metabolismo, no qual o agrotóxico
173 serve como fonte de energia e o segundo o co-metabolismo, no qual os
174 microrganismos se desenvolvem em função de outro substrato, e produzem
175 enzimas que podem alterar a molécula dos agroquímicos (SINGH, 2017).

176 De forma geral, índices de degradação dos agrotóxicos podem variar no
177 solo, de acordo com o sistema de manejo agrícola, a adaptação microbiológica
178 no ambiente, propriedades físicas e químicas, variação de umidade e
179 temperatura, bem como as propriedades do agrotóxico (SCORZA JR.; FRANCO,
180 2013; PORTILHO et al., 2015; AL-MAMUN, 2017). A redistribuição e a
181 degradação dos herbicidas, podem ocorrer em um curto período, ou podem
182 perdurar por meses, e até mesmo anos, isso de acordo com os compostos,
183 podendo estes serem altamente persistentes ou não persistentes (FILIZOLA et
184 al., 2002; SILVA; SILVA, 2007).

185 A lixiviação, por sua vez, é uma das formas de transporte de moléculas
186 de herbicidas no solo. A água da chuva ou de irrigação infiltra pelos poros do
187 solo e é responsável por carregar esses compostos (PRATA et al., 2003;
188 GUERRA et al., 2016). Se tratando de herbicidas pré-emergentes, como é o caso
189 do piroxasulfona, essa água passa a se tornar a principal responsável pelo
190 transporte do herbicida até a camada do solo alvo de ação (MACIEL; VELINI,
191 2005; SIMONI et al., 2006). Esse processo é fundamental para a incorporação
192 superficial dos herbicidas e para possibilitar a ação no banco de sementes. No
193 entanto, quando é muito intenso, a lixiviação pode transportar as moléculas de
194 herbicidas para camadas mais profundas do solo e trazer sérios passivos
195 ambientais por transportar moléculas indesejáveis para camadas do solo onde
196 sua degradação se torna mais lenta devido a diminuição da ação de
197 microrganismos, limitando sua ação e, possivelmente, contaminando o lençol
198 freático (MONQUERO et al., 2008; OLIVEIRA JR, 2002; SILVA, 2018).

199 Na solução do solo, as moléculas de herbicidas têm a tendência de
200 encontrar a estabilidade entre a fase sorvida e a fase que continua na solução
201 do solo. Para tanto, há necessidade de que haja uma estabilidade entre os
202 processos de dessorção e sorção, pois a eficácia na absorção e no transporte
203 dos herbicidas dependem bastante desta estabilidade. No geral, o herbicida

204 apresenta menor mobilidade e eficiência quanto maior for a sorção deste pelos
205 coloides do solo. Desta maneira, a sorção do herbicida sofre influência também
206 das características químicas da molécula do produto e características do solo,
207 bem como tipo, estrutura, teor de argila, matéria orgânica, pH, temperatura,
208 umidade, área superficial e concentração salina (OLIVEIRA et al., 2005).

209 Essa persistência do herbicida no solo é caracterizada e calculada pela
210 meia-vida, que é definida como o tempo necessário para que ocorra a
211 degradação de 50% da quantidade inicial do herbicida aplicado (SOUZA, 2016).
212 A importância da persistência do herbicida se dá no prolongamento do período
213 de controle das plantas daninhas sob as espécies suscetíveis (SILVA, 2020). O
214 herbicida piroxasulfona apresenta meia-vida de 22 dias no solo (IUPAC, 2022;
215 EPA, 2017). Contudo, esse é um valor médio, pois essa característica está
216 correlacionada a diversos fatores, dado o exposto no parágrafo anterior
217 (OLIVEIRA et al., 2005; FERRELL et al., 2005; ALISTER et al., 2008).

218 A mobilidade dos herbicidas no perfil do solo afeta a duração do controle
219 de plantas daninhas e a eficácia de herbicidas pré-emergentes (WESTRA et al.,
220 2014). Em um trabalho recente analisando a mobilidade do piroxasulfona, Novais
221 e colaboradores (2022) constataram que o aumento das lâminas de irrigação
222 proporcionou maior movimentação vertical do herbicida, sendo que esse atingiu
223 profundidades de 20-25 centímetros; Quando aplicadas lâminas de 90 mm de
224 água, esses autores observaram maior interferência no desenvolvimento do
225 *Cucumis sativus* (pepino) nas camadas mais profundas, evidenciando a maior
226 lixiviação dos herbicidas quando submetidos a intensas precipitações.
227 Normalmente, a adsorção de herbicidas se eleva com o aumento da matéria
228 orgânica e da fração argila do solo, visto que quanto maiores as proporções
229 destas frações, maior será a CTC do solo e, conseqüentemente, existirá o
230 aumento da adsorção, o que pode retardar o movimento do herbicida no solo
231 (RIVARD, 2003). Nos solos tropicais, o processo de lixiviação é intensificado pela
232 baixa capacidade de sorção; isso ocorre, por conta do processo, que controla a
233 quantidade de moléculas na solução do solo, determinando a persistência e a
234 lixiviação no ambiente, visto que, quanto maior a intensidade de sorção, menor
235 será a mobilidade do herbicida no perfil do solo (MARCHESE, 2007).

236

3.2. EFEITO DA PALHA NA DINÂMICA DO HERBICIDA

A prática de plantio direto é crescente no Brasil, nas mais diferentes culturas (MACIEL; VELINI, 2005). O uso do sistema de plantio direto (SPD) acarretou diversas mudanças ambientais positivas, como a estabilidade ecológica nas lavouras, a redução significativa dos níveis de contaminação dos cursos das águas, alteração da flora e da fauna, garantindo um equilíbrio entre as espécies benéficas e maléficas ao sistema produtivo, e a eliminação das queimadas. Tem-se ainda que o SPD é responsável pela redução de emissões de gases do efeito estufa, do solo para a atmosfera, a transferência (sequestro) de carbono da atmosfera ao solo, o que contribui para mitigação dos impactos das mudanças climáticas globais, além da proteção dos mananciais e dos reservatórios hídricos (FEBRAPDP, 2008).

Nesse sistema é inevitável a presença de palhada, outro fator que pode alterar o tempo do herbicida no solo e que possui diversas funções importantes no mesmo, tais como estabilizar a temperatura do solo e, assim, favorecer processos biológicos, reduzir a evaporação da superfície do solo e o escoamento superficial, maximizar a água prontamente disponível para o cultivo, solo protegido há uma maior retenção de umidade no solo, ao mesmo tempo em que evita a redução do estande devido a danos provocados pela chuva forte e pela seca, além de melhorar a qualidade do solo, com a incorporação do material orgânico que, ao longo do tempo, se degrada e se incorpora ao solo (BAUMHARDT et al., 2013).

Dependendo das características da molécula do herbicida e da distribuição das chuvas, a palhada pode interceptar até 90% do produto aplicado (NEGRISOLI et al., 2004; CAVENAGHI et al., 2007). Foi observado, em um experimento, excelentes níveis de controle de plantas daninhas, acima de 88%, com a aplicação de diclosulam sobre a palha seca de sorgo e com chuva sequencial de 2,5 mm. Contudo, sem a ocorrência de chuva sequencial, não ocorreu um controle satisfatório das plantas daninhas testadas, o que indicou a retenção do herbicida na palha e a necessidade de chuvas para a ocorrência da transposição e absorção do herbicida pelas plantas (CARBONARI et al., 2008).

270 Em um estudo recente testando a eficácia de flumioxazin em leiteiro
271 (*Euphorbia heterophylla*) aplicado sobre diferentes tipos e quantidades de
272 resíduos culturais e simulações de chuva, sendo utilizadas palhadas de milho
273 (*Zea mays*) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), concluiu-se que foi necessária
274 uma chuva de 25mm para se obter um controle adequado, dependendo do tipo
275 de resíduo utilizado (DA SILVA et al., 2020). Contudo, se tratando de um período
276 de seca, no momento em que se iniciam as chuvas em quantidades adequadas
277 não ocorre a reversibilidade do processo de adsorção e, conseqüentemente, o
278 transporte do herbicida da palha até o solo, reduzindo assim a eficácia desses
279 produtos no controle de plantas daninhas (DA SILVA, 2018; CLARK et al., 2019).

280 Dessa forma, os herbicidas pré-emergentes precisam apresentar algumas
281 características físico-químicas essenciais para que não ocorram processos de
282 adsorção do herbicida na palhada, como baixo coeficiente de partição octanol-
283 água (Kow), alta solubilidade em água (S) e baixa pressão de vapor (P), assim
284 possibilitando o transporte do herbicida pela barreira física composta por esse
285 material vegetal (MATOS et al., 2016).

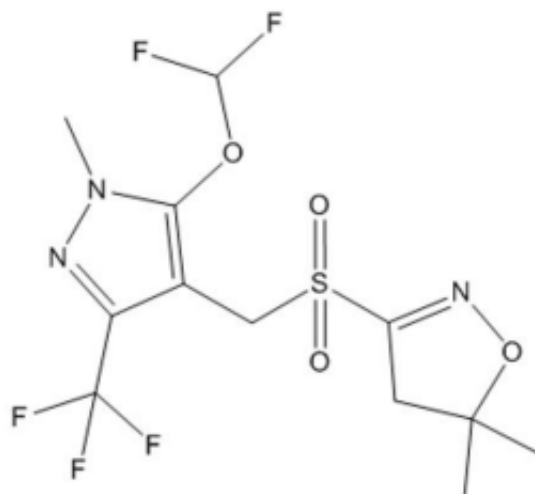
286 Contudo, existem controvérsias em relação à influência da cobertura
287 morta na eficácia dos herbicidas aplicados em pré-emergência. Enquanto alguns
288 pesquisadores defendem a hipótese de que em sistema de plantio direto pode-
289 se reduzir ou até mesmo eliminar a aplicação de herbicidas de pré-emergência,
290 pelo efeito físico e/ou alelopático das coberturas, outros defendem a
291 necessidade de aumento na dose pelo fato de parte do produto ficar retida na
292 palha, não atingindo o solo. Embora o solo esteja coberto com uma camada de
293 palha, sabe-se que determinadas espécies de plantas daninhas, ao germinarem,
294 superam essa barreira física e se estabelecem, exercendo sua interferência, o
295 que pode ser resultado do fato de alguns herbicidas serem mais fortemente
296 retidos pela cobertura morta e outros menos (ROSSI, 2004).

297

298 **3.3 PIROXASULFONA**

299 No Brasil, um herbicida que apresenta baixa persistência é o
300 piroxasulfona 3-[5-(difluoromethoxy)-1-methyl-3-(trifluoromethyl)pyrazol-4-
301 ylmethylsulfonyl]-4,5-dihydro-5,5-dimethyl-1,2-oxazole; trata-se de um herbicida
302 de pré-emergência novo, desenvolvido entre uma série de derivados do

herbicida 3-sulfonilisoxazolina (Figura 1) (NAKATANI et al., 2005, 2006). Ele gera um efeito inibitório na síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFAS) (KHALIL et al., 2018). Os VLCFAs têm mais de 18 átomos de carbono e cumprem funções essenciais nas plantas.



308

Piroxasulfona:

Mecanismo de ação: Inibidor de VLCFA

Grupo de mecanismo de ação: HRAC = K3; WSSA = 15

Solubilidade em H₂O (20°C) = 3,49

Coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) a pH 7 e 20° = log P 2,39

Pressão de vapor (mPa) = $2,4 \times 10^{-3}$

Degradação no solo (t_{1/2}) típica = 22 dias

Sorção no solo: K_{oc} = 223 mL g⁻¹

pK_a = não tem (não iônico)

Figura 1. Estrutura química do piroxasulfona e principais características físico-químicas. Fonte: IUPAC (2022) e EPA (2017).

309

310 Pesquisas realizadas no Japão (YAMAJI et al., 2005; TANETANI et al.,
311 2013), nos EUA (PORPIGLIA, 2004, 2005; PORPIGLIA et al., 2006; TANETANI,
312 2009) e no Brasil (MOROTA, 2018), demonstraram uma boa eficácia desse

herbicida em espécies de gramíneas e plantas daninhas de folha larga, com excelente seletividade para milho, trigo, soja e outras culturas.

O piroxasulfona tem como sítio alvo a elongase de ácido graxo de cadeia muito longa e é classificado como um herbicida K3 pelo Comitê de Ação de Resistência a Herbicida – HRAC (YOSHIMURA, 2012; TANAYA, 2012; TANETANI et al., 2011). Este herbicida possui baixa solubilidade em água e baixa pressão de vapor e, ainda, a difusão dele na superfície do solo é pequena; portanto, considera-se que há pouca perda do material original por escoamento ou volatilização (KHALIL et al., 2018).

Dado que o piroxasulfona é um herbicida utilizado em pré-emergência, que foi registrado recentemente no Brasil, existe uma carência de informações quanto ao seu comportamento e seu potencial de lixiviação nos solos do país, tal como a efetividade do mesmo em situações diversas envolvendo o manejo do solo.

327

328 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA), da FCAV-UNESP (localizado a uma latitude de 21°14'05" S e longitude de 48°17'09" W, a 615 m de altitude). O Latossolo Vermelho Distroférrico (Fed = 90,66 g kg⁻¹) utilizado no experimento foi coletado da camada arável (0-20 cm) em área da Usina São Martinho, em Guataporã (localizada a uma latitude de 21°28'08.9" S e longitude 48°01'44.1" W, a 574 m de altitude), sem histórico de aplicação recente de herbicidas (Figuras 2 e 3).

Após a coleta, o solo foi colocado para secar ao sol por 72 horas e, em seguida, foi realizado o enchimento dos respectivos tubos de PVC. Nesta ocasião foram retiradas amostras compostas do solo, para fins de análises químicas e físicas de rotina (Tabela 1).

340

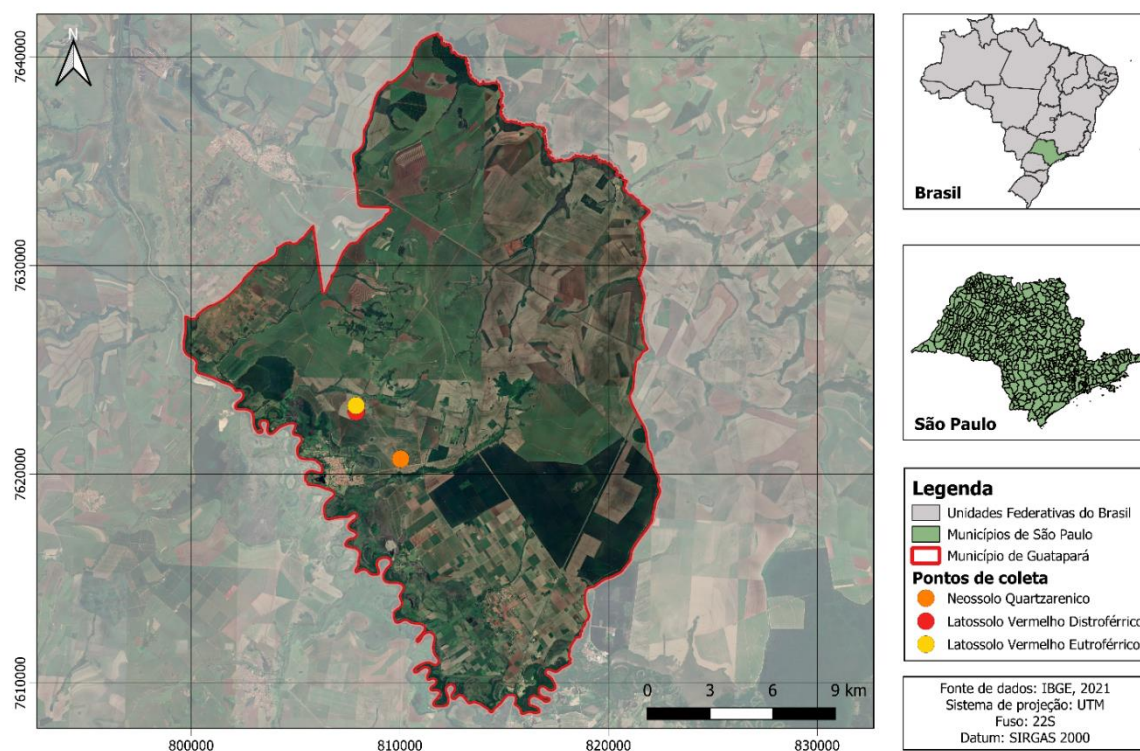
341 **Tabela 1.** Características físicas e químicas do solo coletado.

pH	MO	P resina	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		-----mmol _c dm ⁻³ -----						%	-----g.kg ⁻¹ -----		
5,3	19	21	4,9	32	12	33	0	48,9	78,9	62	43	11	46

342

343

344



345

346

347

348

349

Figura 2. Mapa de localização da área onde foi realizada a coleta do Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado no experimento.

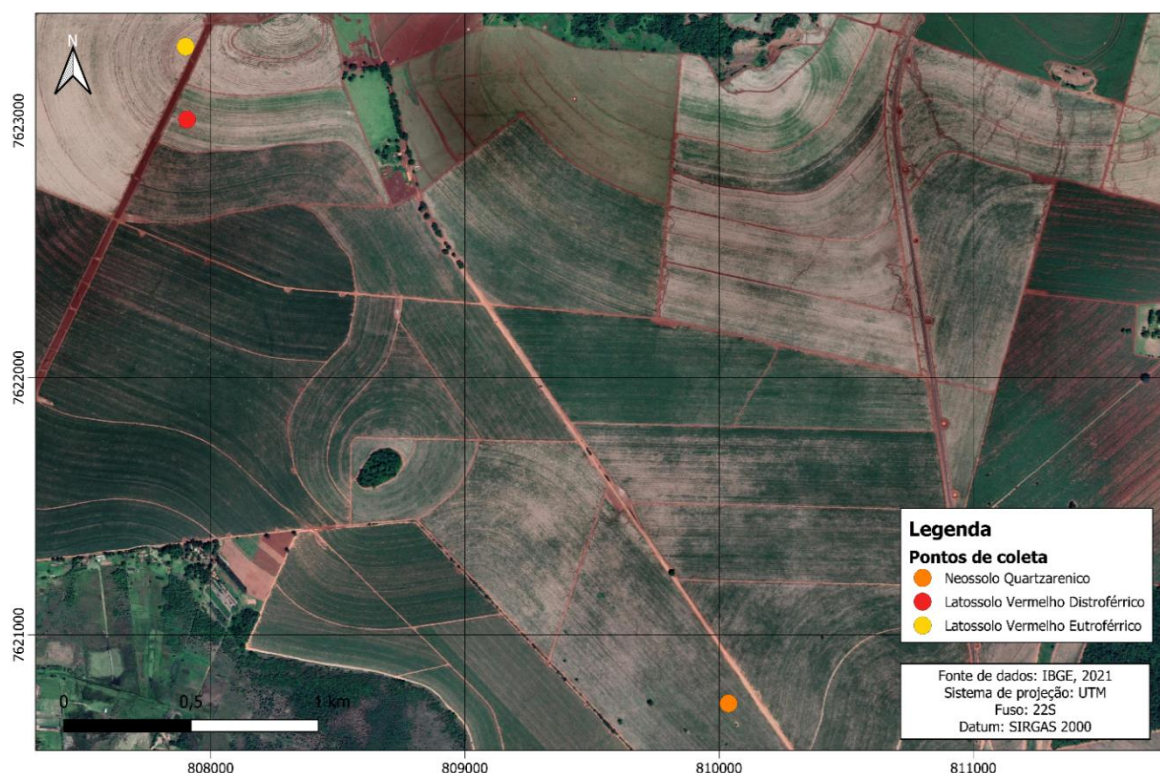


Figura 3. Mapa de localização aproximado do ponto de coleta do Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado no experimento.

4.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial $4 \times 3 + T$, em 4 repetições, no qual constituíram os fatores as quatro quantidades de palha de cana-de-açúcar (0, 5, 10 e 15 t ha^{-1}) submetidas a três simulações de chuva (10, 20 e 40 mm) com uma testemunha absoluta, totalizando 52 parcelas experimentais (tubos de PVC), que depois de abertos resultaram em 8 repetições por tratamento (104 parcelas). Para fins de análise das variáveis em função das profundidades de semeadura da planta indicadora, foi considerado um fatorial $4 \times 3 + T$, no qual constituíram os fatores as quatro quantidades de palha, submetidas as três simulações de chuvas, analisadas em seis profundidades (1-5,5; 5,6-10,8; 10,9-16,1; 16,2-21,4; 21,5-26,7 e 26,7-32 cm da superfície da aplicação), com uma testemunha absoluta.

4.2. Preparo do material para o experimento

Como recipientes foram utilizados tubos de PVC com 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento. Esses tubos foram seccionados longitudinalmente (Figura 4) e, posteriormente, reconstituídos, por meio de fita adesiva grudando as duas metades, sendo que na parte inferior, o fundo, foi tapado com tela sombrite 70%, para poder acondicionar o substrato e permitir a sua drenagem (Figura 5). O preenchimento dos tubos foi realizado com o solo até 5 cm da borda superior dos tubos (colunas). Esse espaço foi utilizado para a deposição da palha de cana-de-açúcar.



Figura 5. Tubos recém abertos.



Figura 4. Tubo reconstituído e tapado com tela de sombrite 70%.

Após o enchimento dos tubos, estes foram mantidos na posição vertical (coluna) e umedecidos até 65% de sua capacidade de saturação (EMBRAPA,

1979). Na sequência, foi realizada a deposição da palha de cana-de-açúcar no topo da coluna, no espaço reservado, em quantidades equivalentes a 0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹. A palha da cana-de-açúcar foi coletada em área sem histórico de aplicação de herbicidas e fragmentada em pedaços de aproximadamente 5 cm de comprimento.

Após a deposição da palha foi feita a aplicação do piroxasulfona na dose de 200 mL p.c. ha⁻¹, na parte superior dos respectivos tubos, utilizando um pulverizador costal pressurizado, a uma pressão constante de 2,8 kgf cm⁻² (mantida por CO₂ comprimido), munido de barra com quatro pontas de pulverização (Teejet AIXR 110.015), espaçadas em 0,5 m, com consumo de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. Decorridas 24 horas após a aplicação, foram feitas as simulações de chuvas em quantidades equivalentes a 10, 20 e 40 mm, por meio de aplicações diárias de 10 mm utilizando-se de microaspersores conforme os tratamentos no decorrer de 4 dias.

397

398 **4.3. Planta indicadora e avaliação de fitotoxicidade do** 399 **piroxasulfona**

400

Como planta bioindicadora foi utilizado o sorgo (*Sorghum bicolor*), da cultivar 1G244 - Dow sementes. Foram semeadas duas fileiras paralelas de sorgo, com espaçamento de 1 centímetro entre sementes, totalizando 32 sementes por fileira. Realizada essa etapa, foi feita a cobertura das sementes com uma fina camada de areia de rio, de forma que a irrigação dos tubos não causasse movimentação do solo

Diariamente após a aplicação do herbicida, até a estabilização da emergência da planta indicadora (8 DAS), foi realizada a contagem das plântulas emergidas.

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 10 dias após a semeadura do sorgo por meio de notas visuais atribuídas ao conjunto de plantas que se encontravam em intervalos de 5 cm a partir da superfície do solo, segundo a escala de notas da EWRC (1964) (Tabela 2).

Ao final do período experimental, foram aferidas as alturas de todas as plântulas de sorgo com o auxílio de um paquímetro digital em intervalos de 1 cm,

totalizando 384 plântulas por tratamento (incluindo repetições). Foi realizada a coleta da parte aérea (conjunto de plantas em intervalos de 5 cm a partir da superfície do solo) e das raízes (total) das plantas remanescentes que foram cortadas, ensacadas, identificadas e colocadas para secar em uma estufa a 60°C por 72 horas, para determinação a massa seca.

421

Tabela 2. Escala de notas da EWRC (1964) adotada para as avaliações de fitotoxicidade dos produtos.

Nota	Fitotoxicidade
1	Nula
2	Muito leve
3	Leve
4	Regular
5	Média
6	Quase forte
7	Forte
8	Muito forte
9	Destruição total

424

4.4. Avaliação da comunidade biológica do solo

4.4.1 Preparo dos meios de cultura, inoculação e análises de bactérias e fungos

Para esta análise, as amostras utilizadas foram retiradas nos 10 cm de profundidade de cada cano, sendo três repetições para cada tratamento. Para contagem dos microrganismos foram utilizados os meios de cultura BDA (Batata Dextrose Agar - Acumedia) para identificação de bolores e leveduras e, PCA (Plate Count Agar - Acumedia) para crescimento de bactérias. Os meios plaqueados foram feitos em triplicatas, com diluição seriada de até 10^{-6} , com uso da solução extratora, contendo Pirofosfato de sódio a 0,1% para os solos argilosos e Pirofosfato de sódio 0,1% + Twin a 0,1% para os solos arenosos.

Para o preparo, pesou-se 10 gramas de cada amostra de solo e diluiu os em 90 mL de solução extratora esterilizada, sendo esta a diluição 10^{-1} . Posteriormente, levou-se essas amostras para mesa agitadora (Astral Científica

CT-155) mantendo-as por 20 minutos com rotação de 55 RPM. Em seguida, diluiu-se 1 mL da solução de solo em 9 mL da solução extratora e, assim, diluições sucessivas até 10^{-6} .

As placas para a contagem dos fungos foram colocadas em BOD (Biopar 522LBD) a 28°C por 120 horas, enquanto as placas para contagem de bactérias foram incubadas em BOD (TECNAL TE-371) a 35°C por 48 horas. Após esse período, foram contadas as unidades formadoras de colônias de bactérias e fungos por grama de solo (UFC g⁻¹).

447

4.4.2 Atividade Enzimática do solo

Para realizar as análises de enzimas, as amostras foram coletadas da mesma forma citada acima. A obtenção do extrato enzimático, para determinação das atividades enzimáticas, ocorreu de acordo com a metodologia proposta por Mendes et al. (2021), na qual foi verificada a existência das enzimas: *β-glucosidase* e *Arilsulfatase*.

A determinação das atividades das enzimas *β-glicosidase* e *arilsulfatases* foi realizada baseando-se na determinação colorimétrica do *p-nitrofenol* liberado por essas enzimas, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de substratos específicos para cada uma (*4-Nitrophenyl β-D-glucopyranoside* (PNG) e *p-nitrofenil sulfato* (PNS), respectivamente). Devido aos seus curtos períodos de incubação (uma hora), o tolueno foi omitido dos ensaios. Essas determinações foram realizadas diretamente em amostras de solo secas ao ar, conforme Mendes et al. (2019). Os valores de atividade foram expressos em μg p-nitrofenol h⁻¹ g⁻¹ solo.

463

4.4.3 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativo, as médias foram submetidas à análise de regressão em função da profundidade, quantidade de palha e/ou precipitação.

468

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as variáveis (notas visuais, massa seca parte aérea, massa seca raiz e emergência sorgo) foram observadas diferenças significativas entre

os tratamentos e as testemunhas (fator adicional), e para o fator chuva. Quanto à quantidade de palha, foi observada diferença significativa apenas na variável notas visuais (Tabela 3).

A interação chuva X palha foi significativa para todas as variáveis (Tabela 3), exceto na emergência do sorgo. Já o fator profundidade, quando analisado isoladamente, não apresentou diferença significativa para nenhuma das variáveis, mas apresentou interação com os demais fatores (chuva X palha X profundidade) na variável notas visuais. Além disso, foi observada interação significativa de chuva X profundidade, palha X profundidade e chuva X palha. Na variável massa seca da parte aérea, a interação ocorreu somente em palha X profundidade.

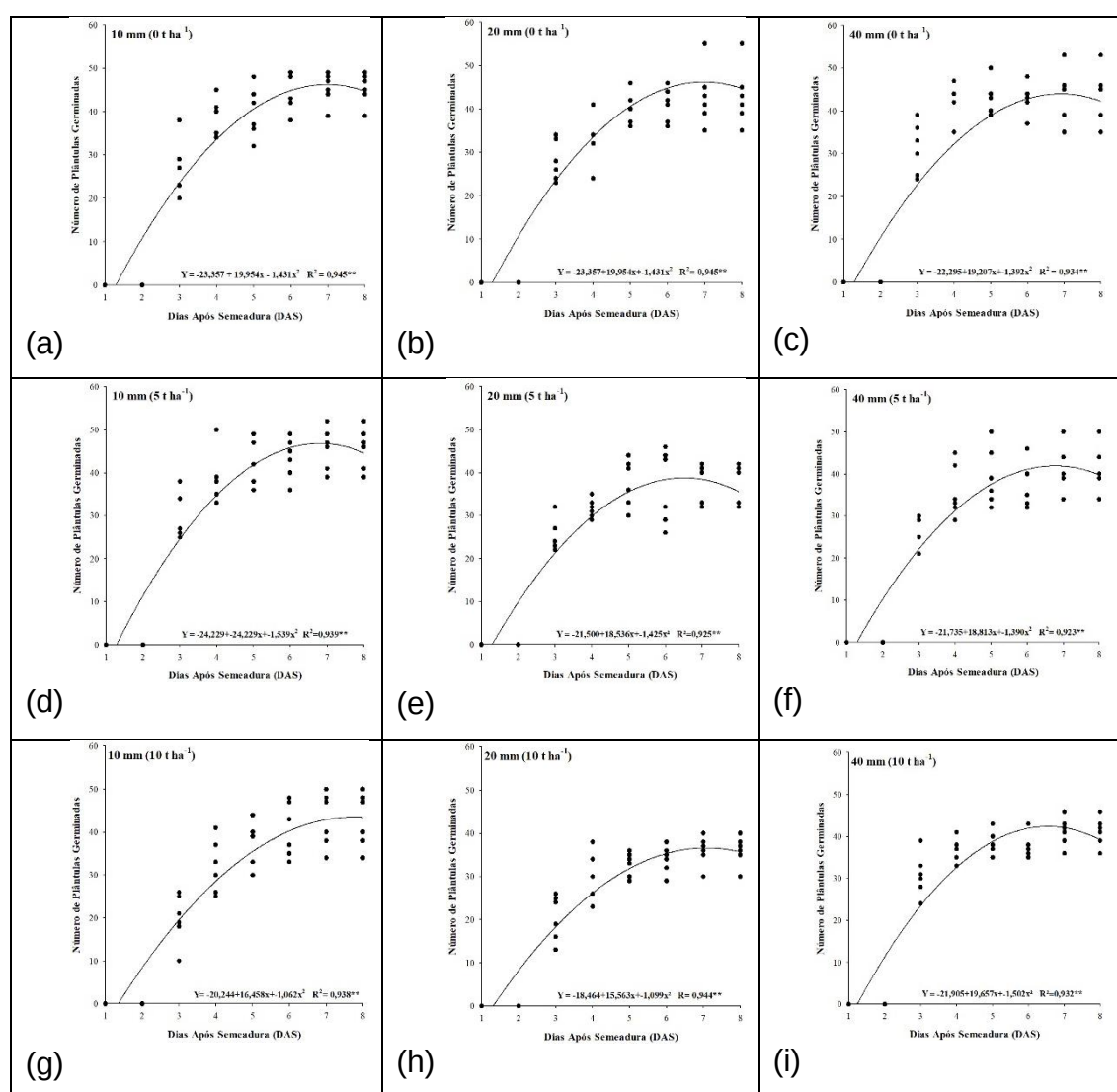
Diversos fatores podem influenciar o movimento dos herbicidas nos solos. Atualmente, existem três fatores, os quais podem ser divididos em: característica do solo, do herbicida e do ambiente. No presente estudo, tem-se o índice de precipitação pluvial (característica do ambiente), que atua em conjunto com demais fatores: tipo e quantidade de matéria orgânica, composição, tamanho e distribuição de partículas do solo, pH, densidade do solo, tamanho e distribuição dos poros, além da solubilidade em água das moléculas dos herbicidas e do índice de precipitação pluvial (PRATA et al., 2003).

Tabela 3. Notas visuais, Massa seca da parte aérea, Massa seca da raiz e Emergência do sorgo aos 10 dias após a semeadura, em resposta aos tratamentos no Latossolo Vermelho Distroférrico.

Fatores	Notas Visuais	Massa Seca P. Aérea (g)	Massa Seca Raiz (g)	Emergência Sorgo (%)
Chuva (mm)				
10	4,47 b	0,119 a	0,992 a	45,50 a
20	7,15 a	0,052 c	0,784 b	38,04 b
40	4,47 b	0,101 b	0,348 c	41,41 b
Palha (t ha ⁻¹)				
0	5,11 b	0,087	0,740	44,05
5	5,47 ab	0,089	0,718	39,83
10	5,76 a	0,091	0,710	40,27
15	5,12 b	0,095	0,663	42,44
Profundidade (cm)				
1-5,5	4,26	0,095	--	--
5,6-10,8	4,26	0,088	--	--
10,9-16,1	4,06	0,084	--	--
16,2-21,4	4,63	0,101	--	--
21,5-26,7	4,76	0,088	--	--
26,7-32	4,51	0,086	--	--
Testemunha	1,00	0,148	1,607	49,16
Causas de Variação				
Fchuva	183,41**	49,64**	63,16**	9,84**
Fpalha	5,73**	0,32 ^{NS}	0,47 ^{NS}	2,05 ^{NS}
Fprofundidade	0,89 ^{NS}	0,80 ^{NS}	--	--
FchuvaXpalha	5,09**	2,59*	3,62**	1,37 ^{NS}
FpalhaXprofundidade	4,40**	2,12**	--	--
FchuvaXprofundidade	3,58**	1,08 ^{NS}	--	--
FchuvaXpalhaXprofundidade	3,45**	1,19 ^{NS}	--	--
FadicionalXfatorial	338,04**	31,07**	108,90**	9,19**
CV (%)	27,21	62,26	18,00	13,80

Médias seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. * e ** = Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F. NS= Não significativo pelo teste F. CV (%) = Coeficiente de variação.

518 Ao se analisar a emergência da planta bioindicadora sob os três fatores,
 519 chuva, palha e profundidade após a estabilização (8º dia), observou-se que todos
 520 os tratamentos diferenciaram significativamente da testemunha total (m) (Figura
 521 6). E, de maneira geral, as simulações de chuva de 10 mm proporcionaram uma
 522 melhor germinação, o que se pode concluir ao comparar os gráficos (a), (d), (g)
 523 e (j), com os demais (b), (c), (e), (f), (g), (h), (i), (j), (k), (l) (gráficos de 20 e 40
 524 mm em todas as quantidades de palha (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹)). Os tratamentos
 525 com 20 e 40 mm de simulações de chuva foram significativamente iguais. Quanto
 526 às quantidades de palha, não houve interação significativa entre os tratamentos.



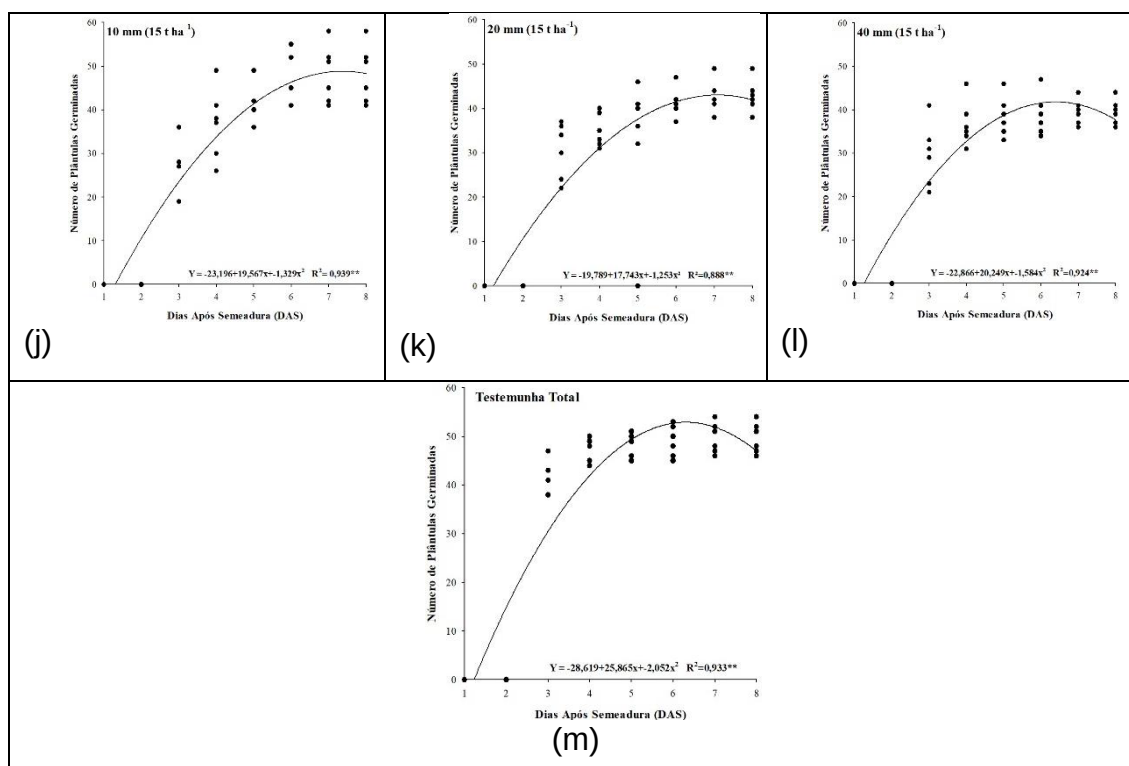


Figura 6. Efeito das simulações de chuva x quantidade de palhada na emergência das plântulas de sorgo.

Essa melhor germinação do tratamento onde foi simulado 10 mm de chuva, pode ser explicada pelo baixo volume de chuva simulada, quando comparado aos tratamentos de 20 e 40 mm. Rossi et al. (2013), analisaram a retenção de dois herbicidas pré-emergentes em quantidades crescentes de simulação de chuva em solo coberto por palhada e concluíram que esses herbicidas quando submetidos a mesma quantidade de simulação de chuva, um possuiu a capacidade de atravessar essa barreira totalmente (palha) e alcançar o solo, e o outro ficou totalmente retido.

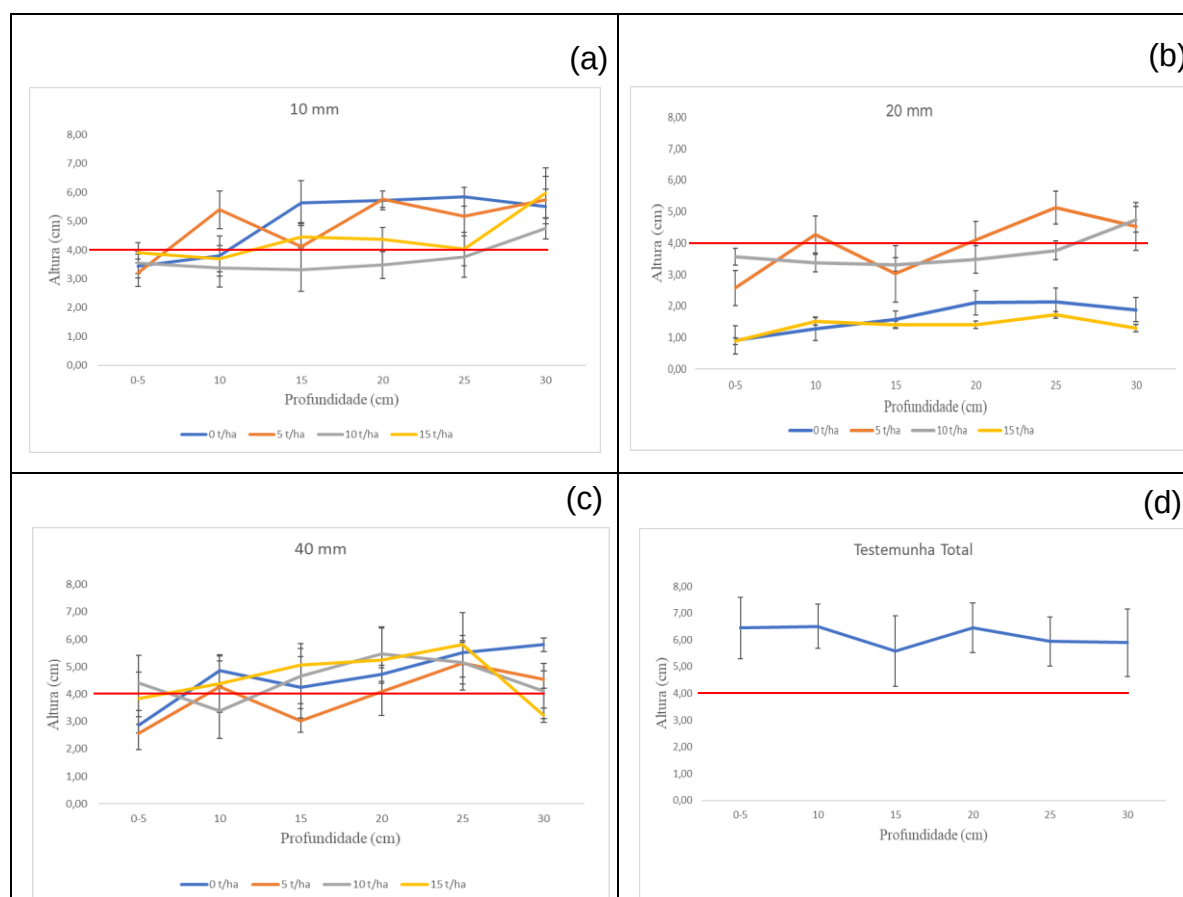
Sabe-se que piroxasulfona inibe fortemente as atividades de VLCFAs, que são responsáveis por catalisar as cinco etapas sucessivas de alongamento celular, inibindo de forma acentuada o crescimento de brotos de plantas suscetíveis, pois o mesmo age retardando fortemente o alongamento da parte aérea das sementes germinadas (TANETANI, 2012). Este efeito inibitório foi observado no presente estudo, quando se analisou o efeito da chuva, palhada e profundidade do solo na altura das plântulas de sorgo (Figura 7).

Estudos realizados pela clonagem de genes de *Arabidopsis thaliana* em células de *Saccharomyces cerevisiae* e através da inibição da incorporação de

546 [2-14C] *malonil-CoA* em precursores de *Acetil-Coenzima A*, determinaram que,
 547 em particular, para os herbicidas do grupo das cloroacetamidas (K3), como é o
 548 caso do piroxasulfona, onde o alvo é a enzima condensadora *3-cetoacil-*
 549 *Coenzima A sintase* (KCS) FAE1 dentro do complexo enzimático *elongase*, que
 550 está ligado ao retículo endoplasmático que catalisa o primeiro passo limitante no
 551 alongamento de VLCFAs (MILLAR, 1997; BÖGER, 2003).

552

553



554 **Figura 7.** Efeito das simulações de chuva x quantidade de palhada x profundidade
 555 na altura das plântulas de sorgo.

556

557 Em todos os tratamentos, 10, 20 e 40 mm de simulação de chuva se
 558 mostraram efetivos quando comparados a testemunha total, que alcançou uma
 559 média de 6 cm de plântulas em todas as profundidades (Figura 7d).

560 A altura das plântulas de sorgo onde foram simulados 10 mm de chuva
 561 em todas as quantidades de palha (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹) (Figura 7a), na camada
 562 de 0 a 5 cm, as plântulas foram afetadas negativamente pelo herbicida de forma

a demonstrarem as menores alturas. Em 10 cm, o tratamento sem palha e com de 5 t ha⁻¹ mostraram uma menor resposta ao herbicida quando comparados a profundidade anterior (0 a 5 cm) apresentando um aumento no tamanho das plântulas, já os tratamentos de 10 e 15 t ha⁻¹ continuaram demonstrando a presença do herbicida (redução da altura). Na profundidade de 15 a 25 cm, 0, 5 e 15 t ha⁻¹ apresentaram uma linha crescente quanto ao tamanho de plantas, diferindo tratamento de 10 t ha⁻¹, que a partir da profundidade de 20 cm reduziu o tamanho das plântulas, mostrando o efeito do herbicida nas parcelas mais profundas do tubo. Na camada mais profunda do tubo 30 cm, o tratamento com 0 t ha⁻¹ apresentou um aumento na altura, o que demonstra uma menor presença do herbicida. As plantas nas demais quantidades (5, 10 e 15 t ha⁻¹) apresentaram uma redução do tamanho, remetendo a presença do herbicida.

Nas simulações de 20 mm (Figura 7b), também foram observadas as menores alturas para todas as quantidades de palha (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹) na profundidade de 0 a 5. Aos 10 cm de profundidade foi notado um aumento na altura das plântulas, quando comparadas com as da camada mais superficial nos tratamentos onde foram simulados 0, 5 e 15 t ha⁻¹, sendo que apenas 10 t ha⁻¹ continuou apresentando alturas ainda menores. Na profundidade de 15 cm, 5 e 15 t ha⁻¹ apresentou plântulas menores e 0 e 10 t ha⁻¹ maiores, com relação as profundidades anteriores (10 cm). Em 20 cm, 0 e 5 t ha⁻¹ apresentaram um acréscimo no tamanho das plântulas, enquanto a 10 t ha⁻¹ se manteve constante e apresentou um leve decréscimo na altura das plântulas. Da profundidade de 20 para 25 cm, 10 e 15 t ha⁻¹ apresentaram um leve aumento no tamanho (comparando com a profundidade anterior), 5 t ha⁻¹ apresentou um crescimento atenuado e 0 t ha⁻¹ manteve a altura constante. Para a profundidade de 30 cm, apenas o tratamento com 10 t ha⁻¹ apresentou plântulas menores, os demais apresentaram um leve aumento no tamanho, ou seja, plântulas um pouco maiores que as da profundidade anterior (25 cm).

No maior volume de simulação (40 mm) (Figura 7c), os tratamentos com 0 e 5 t ha⁻¹, na superfície do tubo (0 a 5 cm), apresentaram as menores alturas de plântulas, quando comparado com as profundidades seguintes (10, 15, 20, 25 e 30 cm), diferente dos tratamentos de 10 e 15 t ha⁻¹. Na profundidade de 10 cm, o tratamento de 10 t ha⁻¹ apresentou um redução no aumento das plântulas

quando comparado a profundidade anterior (5 cm), os demais (0, 5, 15 t ha⁻¹), apresentaram uma linha crescente quanto ao tamanho das plântulas. Em 15 cm, as quantidades de 0 e 5 t ha⁻¹ apresentaram uma redução, contudo 10 e 15 t ha⁻¹ manifestaram um aumento no tamanho das plântulas. Na profundidade relativa aos 20 cm, todos os tratamentos apontaram um aumento com relação a profundidade anterior (15 cm). O mesmo aconteceu em 25 cm, com exceção ao tratamento de 10 t ha⁻¹. Na parte profunda (30 cm), 0, 5 e 15 t ha⁻¹ manifestaram uma queda acentuada na altura das plântulas, já 10 t ha⁻¹ manteve um aumento crescente no tamanho das plântulas no decorrer do tubo, transpassando a ideia da menor presença do herbicida em camadas mais profundas.

Ao analisar interferência da quantidade de palha (Figura 7a), observou-se que, em 10 mm de chuva, 10 t ha⁻¹ de palha, proporcionou maior redução na altura das plântulas no decorrer do tubo, se mantendo em uma média de 3,5 cm em todas as profundidades, com exceção de 30 cm. Sob 15 t ha⁻¹, verificou-se “manchas” de herbicida nas profundidades de 0 a 5, 10 e 25 cm, nas quais as plantas estavam menores. Sob 5 t ha⁻¹, houve a presença de manchas nas profundidades de 0 a 5, 15 e 25 cm. Com 10 t ha⁻¹ a presença do piroxasulfona se manifestou de 0 a 10 cm de profundidade e com 15 t ha⁻¹ o herbicida se manifestou de 0 a 25 cm, proporcionando redução do tamanho das plântulas em 10 e 25 cm, e um aumento acentuado em 30 cm.

Nos tratamentos simulados com 20 mm de chuva sem palha (0 t ha⁻¹) (Figura 7b), o herbicida se concentrou nas profundidades de 0 a 5, sendo que a partir disso manteve um leve crescimento até os 20 cm, apresentando uma leve diminuição na altura a partir dessa profundidade (20 cm); com a menor quantidade de palha (5 t ha⁻¹), ele concentrou a presença na profundidade de 0 a 5 e nos 15 cm de profundidades, sendo que a partir dessa profundidade passou a apresentar um crescimento na altura das plântulas que decaiu somente no final do tubo (30 cm). Com 10 t ha⁻¹ a presença do herbicida se manteve constante com leves acentuações na altura das plântulas nas profundidades de 25 e 30 cm. Com a maior quantidade simulada de palha (15 t ha⁻¹), o herbicida também concentrou nos primeiros centímetros de tubo (0 a 5 cm), sendo que apresentou leves aumentos no tamanho das plântulas nas profundidades de 10 e 25 cm.

628 Na maior quantidade de chuva simulada a 0 t ha⁻¹ (Figura 7c), o herbicida
629 apresentou uma forte presença na profundidade de 0 a 5 cm e uma mancha em
630 15 cm, com plântulas maiores nas profundidades restantes. Nos tratamentos
631 com 5 t ha⁻¹, as profundidades de 0 a 5 e 15 cm, apresentaram as menores
632 alturas de plântulas. Com 10 t ha⁻¹ a presença do herbicida se concentrou na
633 profundidade de 5 cm, onde apresentou as menores alturas, e apresentou as
634 maiores plântulas na profundidade de 20 cm, sendo esta, a profundidade com
635 menor concentração de herbicidas. Na maior quantidade (15 t ha⁻¹), a
636 profundidade de 0 a 5, foi a que apresentou menores alturas, sendo que essa
637 altura aumentou gradualmente até 25 cm e diminuiu bruscamente na
638 profundidade de 30 cm.

639 Cabe destacar que o índice de GUS do piroxasulfona é de
640 aproximadamente 2,21, sendo que se $1,8 < \text{GUS} < 2,8$, portanto o herbicida
641 está na faixa de transição, o que corresponde a uma lixiviação moderada
642 (GUSTAFSON, 1998). Um estudo conduzido com o linuron (índice de GUS=2,21,
643 semelhante ao do piroxasulfona), analisou o potencial de lixiviação do mesmo
644 em condições de campo e os resultados apresentados mostraram claramente
645 que a atividade inibitória do herbicida é restrita na camada superior do solo (0 -
646 4 cm), seguida de inibição moderada do crescimento restrita às camadas mais
647 profundas (5 - 10 cm), e baixa atividade herbicida na camada (10 - 15cm). O
648 crescimento normal da planta de teste é observado na camada (15 - 25 cm).
649 Esses dados indicam que o linuron não lixiviou a essas profundidades. A
650 explicação dessa mobilidade é semelhante àquela em condições de laboratório.
651 No entanto, comparando a profundidade de lixiviação em condições de
652 laboratório e de campo, pode-se perceber que a profundidade de lixiviação em
653 condições de campo é menor do que em condições de laboratório. A explicação
654 para esses resultados é que, o herbicida se move nas direções horizontal e
655 perpendicular devido à grande área de superfície em condições de
656 campo, enquanto a mobilidade é restrita ao movimento descendente devido à
657 superfície estreita do solo em condições de laboratório. Outro fator que interfere,
658 sob condição de campo, é a evaporação e alta temperatura, podendo ocasionar
659 movimento ascendente do herbicida. Consequentemente, a zona de lixiviação

em condições de campo é menor do que em laboratório (EL-NAHHAL, et al., 1998).

Nas simulações de 20 mm, foram verificadas as maiores notas, demonstrando que no Latossolo Vermelho Distroférrico, quando alcançadas quantidades de chuva próximas ou equivalentes a 20 mm, houve aumento da percolação do produto no decorrer dos 32 cm de solo nos tubos.

Tabela 4. Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações simuladas sobre a nota de fitointoxicação de plantas de sorgo aos 10 dias após a semeadura no Latossolo Vermelho Distroférrico.

Chuva (mm)	Quantidade de palha (t/ha)			
	0	5	10	15
10	4,00 Bb	4,00 Bc	5,22 Ab	4,66 ABb
20	7,19 Aa	7,44 Aa	7,66 Aa	6,30 Ba
40	4,13 Bb	4,97 Ab	4,41 ABc	4,38 ABb

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. * e ** = Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F. NS= Não significativo pelo teste de F.

Ao se analisar a interação entre as quantidades de palha e as precipitações simuladas sobre as notas de fitointoxicação (Tabela 4), verifica-se que os tratamentos com as maiores notas foram os submetidos a 20 mm de lâmina de chuva, sem palhada, com 5 e 10 t/ha de palhada. Isoladamente, os tratamentos submetidos a 20 mm de chuva se mostraram como a simulação pluviométrica mais efetiva quanto ao controle da planta bioindicadora sorgo.

Quanto as quantidades de palhada, nos tratamentos sem palha submetidos a 20 mm de chuva verificou-se as maiores notas de fitointoxicação (Tabela 5). Nos tratamentos com 5 t ha⁻¹ de palha obteve-se, respectivamente das maiores para as menores notas, aqueles submetidos a 20, 40, 10 mm. Nos tratamentos com 10 t ha⁻¹ de palhada verificou-se que as maiores notas também foram obtidas com lâminas de 20 mm, seguida pelos 10 mm de simulação e, posteriormente, pelos 40 mm de simulação, sendo este último o que apresentou as menores notas de fitointoxicação. Na maiores quantidades de palha (15 t ha⁻¹), também verificou-se que a simulação de 20 mm proporcionou as maiores notas, seguida dos 10 e 40 mm, que se mostraram iguais.

691
692
693
694
695
696

697 **Tabela 5.** Efeito da interação entre as quantidades de palha e a profundidade do
698 solo sobre a nota de fitointoxicação de plantas de sorgo aos 10 dias após a
699 semeadura no Latossolo Vermelho Eutroférico.

Profundidade (cm)	Quantidade de palha (t/ha)			
	0	5	10	15
1-5,5	4,94 ABab	5,77 Aab	5,38 ABa	4,38 Bbc
5,5-10,8	5,11 Aab	5,05 Ab	5,50 Aa	5,88 Aa
10,8-16,1	4,05 Bb	6,38 Aa	6,22 Aa	5,66 Aab
16,1-21,4	5,72 Aa	5,83 Aab	5,88 Aa	4,33 Bc
21,4-26,7	4,88 Bab	5,16 ABab	6,22 Aa	4,94 Babc
26,7-32	5,94 Aa	4,61 Bb	5,38 ABa	5,50 ABabc

700 Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não
701 diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. * e ** = Significativo
702 ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F. NS= Não significativo pelo
703 teste de F.

704

705 Quanto a interação entre as quantidades de palha e as precipitações
706 simuladas sobre a nota de fitointoxicação, observou-se que na condição sem
707 palha (0 t/ha), as profundidades que proporcionaram maiores notas foram de 5,5
708 a 10,8 cm, 16,1 a 21,4 cm e 26,7 a 32 cm, seguidas da camada superficial (de 1
709 a 5,5 cm) e as menores notas nas profundidades de 10,8 a 16,1 cm e 21,4 e 26,7
710 cm. Já na menor densidade de palha (5 t/ha), a parte superior do tubo (de 1 a
711 21,4 cm) obteve as maiores notas de fitotoxicidade, seguidas da antepenúltima
712 seção do tubo com notas intermediárias (21,4 a 26,7 cm) e com as menores
713 notas a parte mais profunda do tubo (26,7 a 32 cm), demonstrando um
714 caminhamento vertical descendente do herbicida nos tubos correspondentes a
715 esses tratamentos. Na quantidade de 10 t/ha de palha, tem-se as maiores notas
716 nas profundidades de 5,5 a 26,7 cm, seguidas das extremidades (1 a 5,5 cm e
717 26,7 a 32 cm) com notas moderadamente menores. Na maior quantidade de
718 palha (15 t/ha) foram observadas as maiores notas nas duas profundidades logo

719 abaixo da camada superficial (de 5,5 a 16,1) seguidas de notas moderadas na
720 camada inferior dos tubos (de 26,7 a 32 cm) e das menores notas nas
721 profundidades que vão de 16,1 a 26,7 cm.

722 Ao se analisar a relação entre as profundidades e a quantidade de palha,
723 verificou-se que nos tratamentos com ausência de palha as maiores notas foram
724 vistas nas profundidades de 16,1 a 21,4 cm e 26,7 e 32 cm. Já nos tratamentos
725 com 5 t/ha de palha a profundidade onde se alcançaram as maiores notas foram
726 na profundidade de 10,8 a 16,1 cm, seguidos das profundidades de 1 a 5,5 cm,
727 16,1 a 21,4 cm e 21,4 a 26,7 cm. E as menores notas foram obtidas nas camadas
728 de 5,5 a 10,8 cm e 26,7 a 32 cm. Nos tratamentos com quantidade de 10 t/ha
729 foram vistos as maiores notas em todas as profundidades (de 1 a 32 cm), sendo
730 estes os tratamentos onde ocorreu o maior caminhamento do herbicida pelos
731 tubos. Nos tratamentos com as maiores quantidades de palha (15 t/ha) as
732 maiores notas foram verificadas nas camadas de 5,5 a 10,8 cm, seguidas,
733 respectivamente, das maiores para as menores, da camada de 10,8 a 16,1 cm,
734 21,4 a 32 cm e 1 a 5,5 cm.

735 Ao se observar a interferência das quantidades de chuva, os tratamentos
736 onde foram simulados 10 e 40 mm de chuva proporcionaram valores
737 equivalentes quanto às notas de fitotoxicidade, diferente do que ocorreu nas
738 simulações de 20 mm, na qual foram alcançadas as maiores notas, mostrando
739 que no Latossolo Vermelho Distroférrico, quando sob quantidades de chuva
740 próximas ou equivalentes a 20 mm, há um aumento da percolação do
741 piroxasulfona no decorrer dos 32 cm de solo. Cabe destacar que o índice de
742 GUS do piroxasulfona é de aproximadamente 2,21, o que corresponde a uma
743 lixiviação moderada (GUSTAFSON, 1998).

744 Na avaliação da massa seca da parte aérea do sorgo, o tratamento que
745 resultou em maior massa foi aquele com simulação de 10 mm de chuva, seguido
746 pelo tratamento de 40 mm, que ficou na fase intermediária e, por fim, o
747 tratamento com menor massa foram os que receberam a simulação de lâmina
748 de chuva de 20 mm. Com esses resultados, pode-se observar maior retenção do
749 herbicida nas camadas superficiais do solo, o que pode ser visualizado pela
750 maior emergência nos tratamentos com menores simulações de chuva (Tabela

6). O piroxasulfona apresenta um índice de sorção à matéria orgânica (Koc) de 223 mL g⁻¹, sendo considerado um herbicida de longo residual.

Tabela 6. Análise da interação das simulações de chuva x palhada na massa seca da parte aérea do sorgo no Latossolo Vermelho Distroférrico.

Chuva (mm)	Quantidade de palha (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	15
10	0,118 a	0,132 a	0,116 a	0,110
20	0,047 ABb	0,037 Bc	0,042 Bb	0,079 A
40	0,095 a	0,098 b	0,115 a	0,094

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na análise de interação entre as simulações de chuva e palhada na massa seca da parte aérea (Tabela 6), observou-se que nas lâminas simuladas de 10 e 40 mm não ocorreram diferenças significativas. Já ao analisar as simulações de 20 mm, verificou-se que no tratamento com 15 t ha⁻¹ de palha obteve-se maior massa seca, quando comparado com os de 5 e 10 t ha⁻¹, onde foram observadas as menores massas.

Nos tratamentos sem palha (0 t ha⁻¹) e com 10 t ha⁻¹ de palhada, foram verificadas maiores massas nos tratamentos com 10 e 20 mm. Na quantidade de 5 t ha⁻¹, com lâminas simuladas de 10 mm houve maior massa, seguido do tratamento com 40 mm de chuva com uma massa moderada de massa seca e dos 20 mm de chuva, onde foram obtidas as menores massas. Na maior quantidade de palha (15 t ha⁻¹), não ocorreram diferenças significativas entre os efeitos das quantidades de chuva simuladas.

Estudos recentes mostraram que o piroxasulfona apresentou níveis satisfatórios de controle residual de gramíneas variando de 97 a 99% (RIBEIRO, 2020) e que o efeito desse herbicida em solo cobertos pode ser reduzido na presença de coberturas mortas de algumas espécies vegetais (SPERRY, et al. 2022). Sabe-se, também, que o uso de herbicidas em pré-emergência em conjunto com plantas de cobertura é mais eficiente no controle de plantas daninhas quando comparado ao manejo apenas com herbicidas no verão, sem plantas de cobertura (WHALEN et al., 2020). Portanto, o estudo da cobertura morta possui extrema relevância para a utilização do herbicida em questão

(piroxasulfona). O efeito da palhada pode ser visto diretamente nos resultados de massa seca da parte aérea (biomassa) das plântulas de sorgo, que foi utilizado como planta bioindicadora.

Na análise de interação da chuva com a quantidade de palha na massa seca da raiz das plântulas de sorgo (Tabela 7), o tratamento onde foram feitas simulações de chuva de 10 mm, sobressaiu quando comparado aos tratamentos de 20 mm em todas as quantidades de palhada (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹). Os tratamentos com 40 mm de simulação nas quantidades de 0 e 5 t ha⁻¹ se mostraram iguais a 10 mm (0 e 5 t ha⁻¹) e diferentes significativamente de 20 mm nessas mesmas quantidades, onde se pode observar uma menor massa seca da raiz das plântulas de sorgo. Por fim, 10 mm de precipitação se mostrou menos eficiente na redução da massa seca da raiz nos tratamentos com 15 t ha⁻¹ quando comparado aos demais (20 e 40 mm). Quanto as quantidades de palha, não foram observadas diferenças significativas, assim como ocorreu na interação palha e chuva.

A eficácia de um herbicida pode ser reduzida pela interceptação e adsorção do mesmo em resíduos de cobertura, entretanto essa adsorção pode ser revertida por chuva ou irrigação (SPERRY et al., 2022).

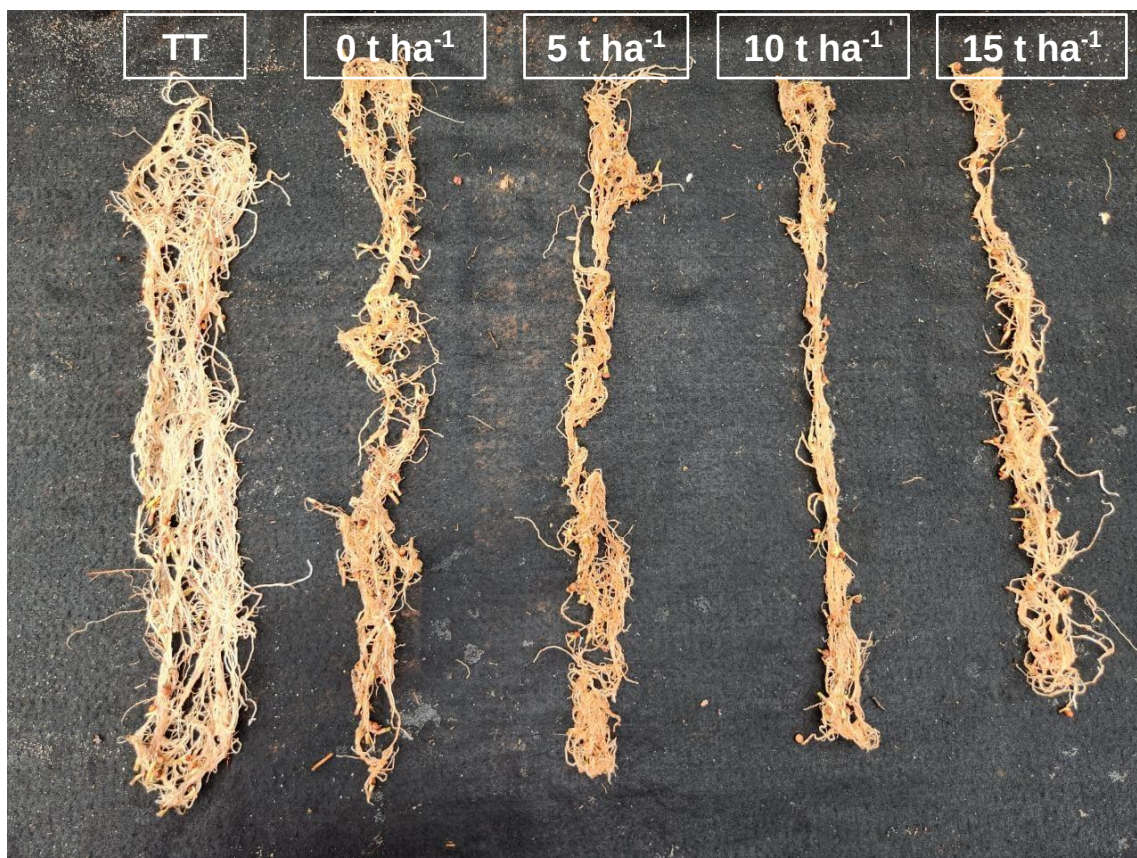
798

Tabela 7. Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações simuladas sobre a massa seca da raiz das plântulas de sorgo aos 10 dias após a semeadura no Latossolo Vermelho Distroférrico.

Chuva (mm)	Quantidade de palha (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	15
10	1,09 a	0,93 a	0,94 a	0,99 a
20	0,16 b	0,34 b	0,44 b	0,43 b
40	0,96 a	0,86 a	0,73 ab	0,56 b

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

804 Ao se analisar os efeitos entre as diferentes quantidades de palha e as
805 precipitações simuladas, verificou-se que todas as simulações (10, 20 e 40 mm)
806 nas diferentes quantidades de palha (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹) apresentaram
807 diferenças significativas quanto à testemunha total e massas significativamente
808 iguais entre os tratamentos em que foram aplicados o piroxasulfona, como é
809 possível observar (Figura 8).



810 **Figura 8.** Raízes das plântulas de sorgo recém lavadas.

811 Quanto a interação entre os efeitos das precipitações simuladas e as
812 quantidades de palha sobre a massa seca da raiz das plântulas de sorgo,
813 verificou-se que o tratamento sem palha e com 20 mm se mostraram inferiores
814 quanto as quantidades de massa seca da raiz, quando comparado a 10 e 40
815 mm. Com 5 t ha⁻¹ de palha, os que receberam 20 mm de chuva apresentaram as
816 menores quantidades de massa seca. Na quantidade de 10 t ha⁻¹ de palha, o
817 tratamento com 10 mm proporcionou a maior massa quando comparado ao de
818 20 mm. E na maior (15 t ha⁻¹), a massa seca das plantas sob 10 mm se mostrou
819 superior a de 20 e 40 mm.

Verificou-se, visualmente que as raízes das plantas de sorgo dos tratamentos que receberam piroxasulfona, independentemente da quantidade de palha e da precipitação, apresentaram regiões necróticas de coloração preta, irregulares, ao longo do comprimento das raízes, com menor quantidade de raízes secundárias e de pelos radiculares (Figura 9).



Figura 9. (a) Detalhe da raiz de uma plântula de sorgo da testemunha total, sem aplicação de herbicida; (b) Detalhe das injúrias causadas pelo herbicida nas raízes das plântulas de sorgo em tratamentos com aplicação do piroxasulfona.

834 5.2. Respostas microbiológica e enzimática.

835 De acordo com as análises de fungos totais, não existiu diferença
836 significativa entre os fatores chuva e palha, bem como a interação dos mesmos
837 (Tabela 8). Por outro lado, foi verificada significância quando comparados os
838 tratamentos com as testemunhas (fator adicional), ocorrendo o mesmo padrão
839 para todas as variáveis analisadas (Bactéria total, *Beta-glucosidase* e
840 *Arilsulfatase*). Observa-se que em todas as variáveis, o herbicida causou
841 redução em relação à testemunha. No fator palha, a comunidade de bactéria
842 sofreu 58,98%, 70,23%, 53% e 48,72% de redução nos tratamentos 0, 5, 10 e
843 15 t ha⁻¹, respectivamente. Para fungo, no tratamento sem palha, houve redução
844 de 45,85% da comunidade biológica; para os tratamentos com 5, 10 e 15 t ha⁻¹,
845 houve reduções significativas de 72,16%, 64,25% e 64,25% na comunidade de
846 fungos, respectivamente. Para *Beta-glucosidase* foram encontradas reduções de
847 10,41%, 3,36%, 11,80%, 22,19% e para *Arilsulfatase* reduções de foram
848 encontradas 10,41%, 24,60%, 24,10% e 20,79, para os tratamentos 0, 5, 10 e
849 15 t ha⁻¹, respectivamente.

850 Quando comparada ao fator chuva, a testemunha mostra que a aplicação
851 do pyroxasulfona reduziu a comunidade microbiológica e na atividade
852 enzimática. Observou-se reduções de 95,85%, 96,01% e 95,46 para os fungos
853 com as simulações de chuva de 10, 20 e 40, respectivamente. Para bactérias,
854 foram obtidas reduções de 60,04% (10mm), 64,46% (20mm) e 54,36% (40mm).
855 Para *β-glucosidase* ocorreram reduções de 22,23% para 10 mm, 7,53% para 20
856 mm e 4,93 para 40 mm. E, por fim, para *Arilsulfatase* as reduções foram de
857 16,51%, 19,62% e 23,05% para as simulações de chuva de 10, 20 e 40 mm,
858 respectivamente.

859 Para bactérias totais, observou-se efeitos de interação entre chuva e
860 palha, assim como para a *β-glucosidase*. Quanto a *Arilsulfatase*, há diferença
861 significativa apenas no fator palha, não apresentando significância no fator chuva
862 e na interação dos dois fatores; foi possível observar que no tratamento sem
863 palha houve maior atividade da enzima, quando comparado aos tratamentos
864 com 5 e 10 t ha⁻¹. Esse fato pode estar ligado à composição molecular do
865 herbicida, a qual possui em sua estrutura composto de enxofre, sendo esta
866 enzima ligada ao ciclo de tal elemento (TABATABAI, 1994). Assim, quando há

867 exposição direta do herbicida ao solo, a molécula se mostra um substrato para
868 que haja atuação da enzima *Arilsulfatase*. No trabalho realizado por Riah e
869 colaboradores (2015) e ALVES (2022), eles verificaram que, quando há
870 aplicação de herbicidas no sistema, há um aumento da atividade *Arilsulfatase*
871 podendo isso estar ligado a presença de enxofre na molécula. Outros autores,
872 como Bart et al. (2019) e Zhang et al. (2020) em trabalhos prévios, propõe que
873 esse fator esteja ligado a modificações no ambiente, onde microrganismos com
874 capacidade de degradar essas moléculas passam multiplicar-se mais
875 rapidamente.

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

Tabela 8. Resposta microbiológica e enzimática no Latossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de piroxasulfona em diferentes precipitações simuladas e quantidades de palha.

Fatores	Fungo Total	Bactéria Total	β - glucosidade	Arilsulfatase
	UFC g ⁻¹		$\mu\text{g p-nitrofenol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ solo	
Chuva (mm)				
10	1,06x10 ⁴	88,62x10 ⁵	16,40 b	20,68
20	1,02x10 ⁴	92,75x10 ⁵	19,50 a	19,91
40	1,16x10 ⁴	119,12x10 ⁵	20,05 a	19,06
Palha (t ha ⁻¹)				
0	10,50x10 ⁴	141,33x10 ⁵ a	18,90 ab	22,19 a
5	7,62x10 ⁴	72,66x10 ⁵ b	20,38 a	18,90 b
10	12,03x10 ⁴	93,33x10 ⁵ b	18,60 ab	18,80 b
15	13,13x10 ⁴	93,33x10 ⁵ b	16,41 b	19,62 b
Testemunha	25,60x10 ⁴	261,00x10 ⁵	21,09	24,77
Causas de Variação				
Fchuva	0,24NS	3,08NS	7,46**	1,91 ^{NS}
Fpalha	2,00NS	7,15**	4,44*	5,48**
FchuvaXpalha	2,41NS	3,85**	2,84*	1,97 ^{NS}
FadicionalXtratamentos	23,50**	67,12**	2,66**	16,00**
CV (%)	42,41	29,02	13,23	10,03

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. * e ** = Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F. NS= Não significativo pelo teste de F.

Analisando a interação entre os fatores chuva e palha na quantidade de bactérias totais (Tabela 8), pode-se observar que na condição sem palha, o tratamento onde foi simulado lâmina de chuva de 10 mm houve melhores condições para o desenvolvimento das bactérias, quando comparado ao tratamento de 20 mm. Nas quantidades de 5 e 10 t ha⁻¹ de palha, não houve diferenças significativas quando comparadas as simulações de chuva (10, 20 e

40 mm). Na maior quantidade de palha (15 t ha⁻¹), verificou-se que o tratamento onde simulou-se 10 mm de chuva proporcionou piores condições às bactérias, quando comparado ao de 20 mm. Wang et al. (2023) verificam que o piroxasulfona influencia totalmente na comunidade de bactérias do solo, reduzindo a comunidade biológica quando há aplicação da dose recomendada (220 mg kg⁻¹) do herbicida e a dose acima (1100 mg kg⁻¹). Esses resultados apresenta resultados opostos aos encontrados no presente estudo, onde não há cobertura e o contato é direto ao solo, a comunidade de bactéria mostra-se maior em relação em que há a presença de palha. Sendo assim, é possível observar que a palha serve como uma camada de retenção do herbicida, que ao longo do tempo é liberado ao solo.

A simulação de 10 mm de chuva se mostrou mais eficiente no desenvolvimento das bactérias, no tratamento sem palha (0 t ha⁻¹), quando comparado aos tratamentos com palha (5, 10 e 15 t ha⁻¹). Essa ocorrência pode estar ligada à quantidade de água suficiente no sistema e da ação do herbicida que chegam diretamente ao solo, onde a comunidade microbiológica possa estar utilizando as moléculas para próprio processo metabólico (TANVIR et al., 2022). Nos tratamentos com palha, a UFC g⁻¹ foi menor, podendo esse resultado estar ligado à retenção de água na palha, assim como do herbicida.

Para 20 mm, foi visto que o tratamento com 15 t ha⁻¹ de palha se mostrou significativamente diferente do tratamento com 5 e 10 t ha⁻¹, onde o tratamento com menor quantidade apresentou piores condições de desenvolvimento para as bactérias. Essa ocorrência pode estar ligada às condições de precipitação e temperatura, nas quais pode haver uma comunidade de bactérias que estejam ligadas a essas características. Na maior quantidade de chuva simulada (40 mm), não se observou diferenças significativas para bactérias totais entre as quantidades de palha.

941

942

943

944 **Tabela 9.** Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações
945 simuladas sobre bactérias totais (UFC g⁻¹) no Latossolo Vermelho Distroférrico.

Chuva	Quantidade de palha (t ha ⁻¹)
-------	---

(mm)	0	5	10	15
10	168,00x10 ⁵ Aa	55,00x10 ⁵ B	89,00x10 ⁵ B	12,50x10 ⁵ Bb
20	96,50x10 ⁵ ABb	60,50x10 ⁵ B	72,50x10 ⁵ AB	41,50x10 ⁵ Aa
40	159,50x10 ⁻⁵ ab	102,50x10 ⁵	118,50x10 ⁵	16,00x10 ⁵ ab

946 Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não
 947 diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
 948

949 Ao se analisar o efeito da interação entre as quantidades de palha e as
 950 precipitações simuladas na atividade enzimática do solo para *β-glucosidase*, os
 951 tratamentos com 0, 5 e 15 t/ha não mostraram diferenças significativas nas
 952 quantidades de chuva simuladas (10, 20 e 40 mm). No tratamento com 10 t ha⁻¹
 953 verificou-se que 40 mm de chuva proporcionou melhores condições para a
 954 atividade da *β-glucosidase* em relação aos demais. A *β-glucosidase* é fortemente
 955 influenciada por fatores como umidade do solo ou pela disponibilidade de água,
 956 que estão ligados diretamente nos processos bioquímicos de transformação do
 957 Carbono, o qual é catalisado por essa enzima (ZHANG et al., 2011). Sardans e
 958 Peñuelas (2005) observaram que a atividade da enzima diminuiu entre 10% a
 959 80% quando houve redução de 10% na umidade do solo e que, portanto, fatores
 960 climáticos podem exercer grande influência sobre a atividade da *β-glucosidase*,
 961 indo de encontro com os resultados obtidos neste trabalho.

962 Ao se analisar o efeito das simulações de chuva em relação às
 963 quantidades de palha, os tratamentos de 20 e 40 mm não proporcionaram
 964 diferenças significativas para a atividade *β-glucosidase*. Oposto a isso, no
 965 tratamento com 10 mm, notou-se que com 5 t ha⁻¹ houve condições mais
 966 propícias para a atividade da *β-glucosidase*, em relação a 10 e 15 t ha⁻¹. O
 967 resultado obtido neste trabalho contraria o obtido por Açar et al. (2018), que
 968 observaram que em sistemas com plantio direto, há aumento na atividade da *β-*
 969 *glucosidase* quando comparado ao sistema convencional. Tal fato foi associado
 970 ao não revolvimento do solo e a manutenção da palhada na superfície. Porém,
 971 a resposta contrária encontrada no presente estudo pode ser devida ao tempo
 972 de decomposição, sendo que a quantidade de palha depositada nos tubos pode
 973 não ter entrado em processo avançado de decomposição durante o período
 974 experimental (tabela 10).

975

976 **Tabela 10.** Efeito da interação entre as quantidades de palha e as precipitações
 977 simuladas sobre a atividade enzimática da β -glucosidase no Latossolo Vermelho
 978 Distroférrico.

Chuva (mm)	Quantidade de palha (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	15
10	16,19 AB	20,91 A	1,68 Bb	13,84 B
20	20,32	22,33	17,76 b	17,58
40	20,20	18,81	23,38 a	17,82

979 Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna,
 980 não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
 981

982 6. CONCLUSÕES

983 O produto se concentrou nos 5 cm superficiais do solo, apresentando um
 984 efeito inibitório acentuado nos tratamentos onde foram simulados 20 mm de
 985 chuva, independentemente da quantidade de palha;

986 A aplicação do herbicida pyroxasulfone apresentou redução significativa
 987 da comunidade microbiana e na atividade enzimática do solo;

988 A redução da massa seca da raiz foi crescente conforme o aumento das
 989 quantidades de chuva simuladas (10, 20 e 40 mm).

990

991 REFERÊNCIAS

992

993 ACAR, M., CELIK, I., GÜNAL, H., ACIR, N., BEREKET, Z. B.; BUDAK, M. Tillage
 994 effects on soil organic carbon, microbial biomass carbon and beta-
 995 glucosidase enzyme activity in a typic haploxerert soil. Scientific papers-
 996 series a-agronomy, 61, 13-20, 2018.

997 ALISTER, C.; ROJAS, S.; GÓMEZ, P.; KOGAN, M. Dissipation and movement
 998 of flumioxazin in soil at four field sites in Chile. Pest Management Science.
 999 v.64, n.5, p.579-583, 2008.

1000 AL-MAMUN, A. Pesticide degradations, residues and environmental concerns.

1001 In: KHAN, M. S.; RAHMAN, M.S. Pesticide residue in foods: sources,

- management, and control. Springer International Publishing, Dhaka: 2017. 1-17p.
- ALVES, K. J. Efeito dos pesticidas na comunidade microbiana em solos com diferentes diversidades e na rizosfera da soja. 2023. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2022. doi:10.11606/T.11.2022.tde-10022023-155118. Acesso em: 2023-06-21.
- BAILEY, George W.; WHITE, Joe L. Fatores que influenciam a adsorção, dessorção e movimentação de agrotóxicos no solo. Volume Único de Pesticidas: Os Herbicidas Triazínicos , p. 29-92, 1970.
- BART S, PELOSI C, BARRAUD A, PÉRY ARR, CHEVIRON N, GRONDIN V, MOUGIN C AND CROUZET O. Earthworms Mitigate Pesticide Effects on Soil Microbial Activities. *Front. Microbiol.* 10:1535, 2019. doi: 10.3389/fmicb.2019.01535
- BAUMHARDT, R. L.; SCHWARTZ, R.; HOWELL, T.; EVETT, S. R.; COLAIZZI, P. Residue management effects on water use and yield of deficit irrigated corn. *Agronomy Journal*, v. 4, p.1035–1044, 2013.
- BÖGER, Peter. Modo de ação para cloroacetamidas e compostos funcionalmente relacionados. *Journal of Pesticide Science*, v. 28, n. 3, p. 324-329, 2003.
- BURROWS, H.D.; CANLE, L.M.; SANTABALLA, J.A.; STEENKEN, S. Reaction pathways and mechanisms of photodegradation of pesticides. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v.67, n.2, p.71-108, 2002.
- CALDERON, M.J.; LUNA, E.; GOMEZ, J.A.; HERMOSIN, M.C. Herbicide monitoring in soil, runoff waters and sediments in an olive orchard. *Science of the Total Environment*, v.569–570, p.416–422, 2016.
- CARBONARI, C. A.; MESCHEDE, D. K.; CORREA, M. R.; VELINI, E. D.; TOFOLI, G. R. Eficácia do herbicida diclosulam em associação com a palha de sorgo no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. *Planta Daninha*, v. 26, n. 3, p. 657- 664, 2008.
- CARVALHO, L. B. HERBICIDA. 1ª ed. Editado pelo autor: Lages-SC, 2013.
- CAVENAGHI, A. L.; ROSSI, C. V. S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E. A. D.; VELINI, E. D.; TOLEDO, R. E. B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic)

- 1035 aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Planta
1036 Daninha, v. 25, p. 831-837, 2007.
- 1037 CHANG, Pablo et al. Modelagem matemática do escoamento superficial sob o
1038 efeito da cobertura vegetal em um Latossolo argiloso. 2022.
- 1039 CLARK, S.L., DA SILVA, P. V., DAYAN, F. E., NISSEN, S. J., AND SEBASTIAN,
1040 D. J. The Influence of Winter Annual Grass Litter on Herbicide Availability.
1041 Weed Science, v. 67, p. 702-709, 2019.
- 1042 DA SILVA, P. V.; Tronquini, S.M.; Barbosa, G.C.; Dias, R.C., Soto Veiga, J.P.S.;
1043 Inacio, E.M. Eficácia do herbicida flumioxazin no controle de *Euphorbia*
1044 *heterophylla*, na aplicação sobre diferentes tipos de palha e simulações de
1045 chuva. Revista de Ciências Agrárias, v. 43, n. 3, p. 324-332, 2020.
- 1046 DA SILVA, P.V. Comportamento ambiental e bioatividade sobre plantas
1047 daninhas de herbicidas residuais aplicados sobre a palha de cana-de-açúcar
1048 em diferentes condições hídricas do solo. Tese (Doutorado em Fitotecnia) -
1049 Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São
1050 Paulo. Piracicaba, p. 148. 2018.
- 1051 DAO, T. H. Field decay of wheat straw and its effects on metribuzin and s-ethyl
1052 metribuzin sorption and elution from crop residues. Journal of Environmental
1053 Quality, v. 20, n. 1, p. 203-208, 1991
- 1054 DE CARVALHO MENDES, Ieda et al. Limites críticos para indicadores
1055 microbianos em Latossolos tropicais na pós-colheita: O conceito de amostra
1056 de solo FERTBIO. Ecologia Aplicada do Solo, v. 139, p. 85-93, 2019.
- 1057 DE OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M.. Comportamento dos herbicidas no
1058 ambiente. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.
- 1059 EL-NAHHAL, Yasser et al. Lixiviação, fitotoxicidade e controle de ervas daninhas
1060 de novas formulações de alacloro. Journal of Agricultural and Food
1061 Chemistry, v. 46, n. 8, pág. 3305-3313, 1998.
- 1062 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
1063 Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de
1064 métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, SNLCS, p. 247,
1065 1979
- 1066 EPA – U.S. Environmental Protection Agency. Piroxasulfona. North Carolina,
1067 2017.

- 1068 EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3rd and 4th
1069 meetings of EWRC - Committee of Methods in Weed Research. Weed Res., v.
1070 4, n. 1, p. 88, 1964.
- 1071 FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução da
1072 área de plantio direto no Brasil. Disponível em: <
1073 <https://plantiodireto.org.br/>>. Acesso em: jun, 2023
- 1074 FENNER, K.; CANONICA, S.; WACKETT, L.P.; ELSNER, M. Evaluating
1075 pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging
1076 opportunities. Science, v.341, n.6147, p. 752–758, 2013.
- 1077 FERRELL, J. A.; VENCILL, W. K.; XIA, K.; GREY, T. L. Sorption and desorption
1078 of flumioxazin to soil, clay minerals and ion-exchange resin. Pest
1079 Management Science, v. 61, n. 1, p. 40-46. 2005.
- 1080 FILIZOLA, H. F. et al. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por
1081 pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guairá. Pesquisa
1082 Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2002.
- 1083 FOLONI, L.L. Avaliação de riscos ambientais no uso de herbicidas em plantio
1084 direto. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MANEJO E CONTROLE DE
1085 PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 1., Passo Fundo, 1998.
1086 Resumo de Palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.39-68.
- 1087 FREITAS, F. C. L.; MEDEIROS, V. F. L. P.; GRANGEIRO, L. C.; SILVA, M. G.
1088 O.; NASCIMENTO, P. G. M. L.; NUNES, G. H. Interferência de plantas
1089 daninhas na cultura do feijão-caupi. Planta Daninha, v. 27, n. 2, p. 241-247,
1090 2009.
- 1091 GAVRILESCU, M. Review – fate of pesticides in the environment and its
1092 bioremediation. Engineering in Life Sciences, v.5, n.6, p.497–526, 2005.
- 1093 GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO,
1094 A.M.; GEMELLI, T.M.C.J.; Guerra, A. Potencial de lixiviação de herbicidas
1095 utilizados na cultura da cana-de-açúcar. Campo Digital, v. 11, n. 1, 2016.
- 1096 GUSTAFSON, David I. Pontuação de ubiquidade da água subterrânea: um
1097 método simples para avaliar a lixiviabilidade de pesticidas. Toxicologia
1098 Ambiental e Química: An International Journal, v. 8, n. 4, p. 339-357, 1989.
- 1099 INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do
1100 algodão em colunas de solo. Planta Daninha, v. 28, p. 825-833, 2010.

- 1101 ISHAYA, V. B.; TUNKU, P.; YAHAYA, M. S. Effect of pre-emergence herbicide
1102 mixtures on cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) at Samaru, in Northern
1103 Nigeria. *Crop Protection*, v. 27, n. 7, p. 1105-1109, 2008.
- 1104 IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry. Global Availability
1105 of Information on Agrochemicals. THE PPDB Pesticide Properties Database.
1106 2022.
- 1107 KARAM, Décio; DA SILVA, Jéssica Aline Alves. Controle químico de plantas
1108 daninhas na cultura do milho. 2009.
- 1109 KATSOULA, A. et al. A resposta das comunidades microbianas do solo e da
1110 filosfera à aplicação repetida do fungicida iprodiona: biodegradação
1111 acelerada ou toxicidade?. *FEMS microbiology ecology*, v. 96, n. 6,
1112 p. f1aa056, 2020.
- 1113 KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; WARD, P. Effect of crop residues
1114 on interception and activity of prosulfocarb, piroxasulfona, and trifluralin. *Plos*
1115 *One*, v. 13, n. 12, p. 0208274, 2018.
- 1116 KIM, K.; KABIR, E.; JAHAN, S.A. Exposure to pesticides and the associated
1117 human health effects. *Science of the Total Environment*, v.575, p. 525–535,
1118 2017.
- 1119 LAMEGO, F. P.; BASSO, C. J.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M.; SANTI, A. L.;
1120 RUCHEL, Q.; GALLON, M. Seletividade dos herbicidas S-metolachlor e
1121 alachlor para o feijão-carioca. *Planta Daninha*, v. 29, n. 4, p. 877-883, 2011.
- 1122 LINHARES, C. M. de S.; FREITAS, F. C. L. de.; SILVA, K. de S.; LIMA, M. F. P.
1123 de.; DOMBROSKI, J. L. D. Crescimento do feijão-caupi sob efeito dos
1124 herbicidas fomesafen e bentazon+imazamox. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 1,
1125 p. 41-49, 2014.
- 1126 LOPES, C.V.A.; ALBUQUERQUE, G.S.C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde
1127 humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde Debate*, v.42, n.117,
1128 p. 518-534, 2018.
- 1129 MACIEL, C. D. G.; VELINI, Edivaldo Domingues. Simulação do caminhamento
1130 da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de
1131 plantio direto. *Planta Daninha*, v. 23, p. 471-481, 2005.

- 1132 MARCHESE, L. Sorção/dessorção e lixiviação do herbicida ametrina em solos
1133 canavieiros tratados com lodo de esgoto. 2007. 81 f. Tese (Mestrado em
1134 Ciências) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- 1135 MARCUSSI, Silvio Aparecido. Seletividade e eficiência de piroxasulfona e
1136 flumioxazina, em mistura e isolados, na cultura do milho e efeito carryover
1137 na cultura do feijão. 2020.
- 1138 MATOS, A. K. A. de; CARBONARI, C. A.; GOMES, G. L. G. C.; VELINI, E. D.
1139 Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw.
1140 Revista Brasileira de Herbicidas, Brasília, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.
- 1141 MENDES, Ieda Carvalho et al. Soil quality and grain yield: A win-win combination
1142 in clayey tropical Oxisols. Geoderma, v. 388, p. 114880, 2021.
- 1143 MILLAR, Anthony A.; KUNST, Ljerka. A biossíntese de ácidos graxos de cadeia
1144 muito longa é controlada pela expressão e especificidade da enzima de
1145 condensação. The Plant Journal, v. 12, n. 1, p. 121-131, 1997.
- 1146 MILLER, L. C.; RESENDE, L. C. L.; MEDEIROS, A. M. L. Manejo de herbicidas
1147 na lavoura de cana-de-açúcar. STAB, v. 13, p. 9-13, 1995.
- 1148 MONQUERO, P. A.; AMARAL, L.R.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C. Potencial de
1149 lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de
1150 precipitação. Planta Daninha, v. 26, n. 2, p. 403-409, 2008.
- 1151 MOROTA, F. K.; MATTE, W.D.; OLIVEIRA JR., R.S.; BIFFE, D.F.; FRANCHINI,
1152 L.H.M.; CONSTANTIN, J. Sistemas de manejo de plantas daninhas
1153 utilizando o novo herbicida piroxasulfona visando ao controle químico de
1154 gramíneas em soja. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 17, n. 2, p. 584-1-
1155 10), 2018.
- 1156 MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides and human chronic diseases:
1157 Evidences, mechanisms, and perspectives. Toxicology and Applied
1158 Pharmacology, v. 268, n. 2, p. 157-177, 2013.
- 1159 NAKATANI, M.; ITO, M.; KAKU, K.; MIYAZAKI, M.; UENO, R.; KAWASAKI, H.;
1160 TAKAHASHI, S. 3-Sulfonylisoxazoline derivatives as novel herbicides, Abstr
1161 (2), in: 11th IUPAC Int. Cong. Pestic. Chem., 2006, p. 40
- 1162 NAKATANI, M.; ITO, M.; KAKU, K.; UENO, R.; KAWASAKI, H.; TAKAHASHI, S.
1163 Studies on new pre emergence herbicide KIH-485 (Part 1), in: Abstr. Pestic.
1164 Sci. Soc. Japan, 2005, p. 74.

- 1165 NAKATANI, M.; ITO, M.; MIYAZAKI, M.; UENO, R.; TAKAHASHI, S. Studies on
1166 new pre emergence herbicide KIH-485 (Part 2), in: Abstr. Pestic. Sci. Soc.
1167 Japan, 2005, p. 75.
- 1168 NEGRISOLI, E.; VELINI, E. D.; ROSSI, C. V. S.; COSTA, A. G. F.; CORRÊA, T.
1169 M.; CAVENAGHI, A. L. Eficácia do sulfentrazone em diferentes doses
1170 associado à palha de cana-de-açúcar com ou sem chuva após a aplicação
1171 no controle de plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA
1172 CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., 2004, São Pedro. Anais... São
1173 Pedro: SBCPD, 2004. p. 151.
- 1174 NOVAIS, J. R.; INOUE, M.H.; FRANCO, E.L.P.; MASSUQUINI, Z.; BORGES,
1175 S.X.S.; NEITZKE, C.; DA SILVA, A.C.F.; GUIMARÃES, A.C.D. Potencial de
1176 lixiviação de piroxasulfona e piroxasulfona+ flumioxazin em solo submetidos
1177 à diferentes simulações de precipitação. Brazilian Journal of Development,
1178 v. 8, n. 1, p. 2800-2812, 2022.
- 1179 OLIVEIRA JR, R. S. Conceitos importantes no estudo do comportamento de
1180 herbicidas no solo. Boletim informativo, Sociedade Brasileira de Ciência do
1181 Solo, v. 27, n. 2, p. 9-12, 2002.
- 1182 OLIVEIRA JR., R. S. Comportamento dos herbicidas residuais no solo: relação
1183 entre parâmetros físico-químicos e atributos do solo. Maringá: EDUEM, 2007
- 1184 OLIVEIRA M. F.; PRATES, HT.; SANS, L.M.A. Sorção e hidrólise do herbicida
1185 flazasulfuron. Planta Daninha, v. 23, n. 1, p. 101-113, 2005
- 1186 PORPIGLIA, P. J. et al. KIH-485 potential in southern row crops. South. Weed
1187 Sci. Soc. Abstr, v. 59, p. 43, 2006.
- 1188 PORPIGLIA, P. J. KIH-485: a new broad spectrum herbicide. In: Weed Sci. Soc.
1189 Am. 2005. p. 314.
- 1190 PORPIGLIA, P. J. Two years results with KIH-485: a new, broad-spectrum
1191 herbicide. Proc. North Centr. Weed Sci. Soc., v. 59, p. 71, 2004.
- 1192 PORTILHO, I.I.R.; SCORZA JÚNIOR, R.P.; SALTON, J.C.; MENDES, I.C.;
1193 MERCANTE, F.M. Persistência de inseticidas e parâmetros microbiológicos
1194 em solo sob sistemas de manejo. Ciência Rural, v.45, n.1, p. 22- 28, 2015.
- 1195 PORTUGAL, E.J.; BURTH, P.; FORTUNA, J.L. Análise da contaminação por
1196 agrotóxicos em fontes de água de comunidades agrícolas no Extremo Sul da
1197 Bahia. Revinter, v.10, n.2, p.85-102, 2017.

- 1198 PRATA, F.; CARDINALI, V.C.B.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V.L.;
1199 REGITANO, J.B. Glyphosate sorption and desorption in soils with distinct
1200 phosphorus levels. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 1, p. 175-180, 2003.
- 1201 PRESOTO, Jéssica Cursino et al. Eficácia e interação da associação de
1202 Flumioxazin e Piroxasulfona para controle de capim-colonião (*Panicum*
1203 *maximum*). *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 21, n. 4, p. 435-440.
1204 2022.
- 1205 RAZO, J. Antonio Tafoya. APLICACIÓN EFICIENTE DE HERBICIDAS.
1206 SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DE LA MALEZA, p. 72. 20. 2022.
- 1207 RIBEIRO, Victor Hugo Vidal. Soil residual activity of pre-emergence herbicides
1208 and their influence on soybean nodulation and nitrogen fixation. 2020.
- 1209 RIVARD L. (2003) Environmental Fate of Metolachlor. Sacramento, CA:
1210 Environmental Monitoring Branch, Department of Pesticide Regulation.
- 1211 RODRIGUES, Rubens Piske. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho:
1212 uma revisão bibliográfica. 2022.
- 1213 ROSSI, C. V. S. Dinâmica e eficácia no controle de plantas daninhas pelo
1214 herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar. 2004.
1215 Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista.
- 1216 ROSSI, C. V. S. et al. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de
1217 cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Planta daninha*, v. 31, p. 223-230,
1218 2013.
- 1219 ROYER, Ana Caroline et al. Análise de indicadores de erosão hídrica com uso
1220 de simulador de chuva em solos sob condições de seca do Nordeste de
1221 Portugal. In: 5th Ibero-American Congress on Entrepreneurship, Energy,
1222 Environment and Technology (CIEMAAT 2019). 2019. p. 110-114.
- 1223 SARDANS J, PEÑUELAS J. (2005). Drought decreases soil enzyme activity in a
1224 Mediterranean *Quercus ilex* L. Forest. *Soil BiolBiochem*. 37:455–461.
- 1225 SATURNINO H.M.; LANDERS J.N. O meio ambiente e o plantio direto. Brasília,
1226 EMBRAPA-SPI. p. 116, 1997
- 1227 SCORZA JÚNIOR, R.P.; FRANCO, A.A. A temperatura e umidade na
1228 degradação de fipronil em dois solos de Mato Grosso do Sul. *Ciência Rural*,
1229 v.43, n.7, p.1203-1209, 2013.

- 1230 SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa,
1231 MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- 1232 SILVA, C. C. Processos de retenção, transporte e transformação em solos dos
1233 herbicidas diuron, hexazinone e sulfometuron methyl. 2020. Dissertação de
1234 Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido
- 1235 SILVA, P. V. Comportamento ambiental e bioatividade sobre plantas daninhas
1236 de herbicidas residuais aplicados sobre a palha de cana-de-açúcar em
1237 diferentes condições hídricas do solo. 2018. Tese de Doutorado.
1238 Universidade de São Paulo.
- 1239 SIM, Jowenna XF et al. Efeitos de pesticidas nas funções microbianas
1240 relacionadas ao ciclo do nitrogênio e na composição da
1241 comunidade. *Science of The Total Environment*, v. 807, p. 150734, 2022.
- 1242 SIMONI, F.; VICTORIA FILHO, R.; SAN MARTIN, H.A.M; SALVADOR, F.L.;
1243 ALVES, A.S.R.; BREMER NETO, H. Eficácia de imazapic e sulfentrazone
1244 sobre *Cyperus rotundus* em diferentes condições de chuva e palha de cana-
1245 de-açúcar. *Planta Daninha*, v. 24, n.4, p. 769-778, 2006.
- 1246 SINGH, S.N. *Microbe-Induced Degradation of Pesticides*. Ed. Cham: Springer, p.
1247 233, 2017.
- 1248 SOUZA, G.V. Comportamento no solo dos herbicidas diuron e hexazinone
1249 aplicados isolados e em misturas. 2016. 680f. Dissertação (Mestrado em
1250 Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- 1251 SPERRY, Benjamin P. et al. Efeito de níveis diferenciais de irrigação aérea
1252 simulada sobre herbicidas residuais aplicados em solo coberto com palha de
1253 trigo para controle de capim-arroz. *Tecnologia de ervas daninhas*, p. 1-17,
1254 2022.
- 1255 TABATABAI, M. A. (1994). Soil Enzymes. In R. W. Weaver, J. S. Angle, & P. S.
1256 Botttomley (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical*
1257 *Properties* (pp. 775-833). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- 1258 TANAYA, Y. Mecanismo de ação dos herbicidas isoxazolínicos. *Journal of*
1259 *Pesticide Science*, v. 37, n. 3, p. 261-274, 2012.
- 1260 TANETANI, Y.; FUJIOKA, T.; KAKU, K.; SHIMIZU, T. Studies on the inhibition of
1261 plant very-long-chain fatty acid elongase by a novel herbicide,
1262 piroxasulfona. *Journal of Pesticide Science*, p. 221-228, 2011.

- 1263 TANETANI, Y.; IKEDA, M.; KAKU, K.; SHIMIZU, T.; MATSUMOTO, H. Role of
1264 metabolism in the selectivity of a herbicide, piroxasulfona, between wheat
1265 and rigid ryegrass seedlings. *Journal of Pesticide Science*, v. 38, n. 3, p. 152-
1266 156, 2013.
- 1267 TANETANI, Y.; KOICHIRO, K.; KAWAI, K.; FUJIOKA, T.; SHIMIZU, T. Action
1268 mechanism of a novel herbicide, piroxasulfona. *Pesticide Biochemistry and*
1269 *Physiology*, v. 95, n. 1, p. 47-55, 2009.
- 1270 TANETANI, Yoshitaka. Mecanismo de ação de herbicidas do tipo
1271 isoxazolina. *Journal of Pesticide Science*, v. 37, n. 3, p. 261-262, 2012.
- 1272 TANVIR, Rahamat Ullah et al. Aproveitando a energia solar usando
1273 microrganismos fototróficos: um caminho sustentável para bioenergia,
1274 biomateriais e soluções ambientais. *Revisões sobre Energia Renovável e*
1275 *Sustentável*, v. 146, p. 111181, 2021.
- 1276 TRIVEDI, Pankaj et al. Interações planta-microbioma: da montagem da
1277 comunidade à saúde das plantas. *Nature revê microbiologia*, v. 18, n. 11,
1278 p. 607-621, 2020.
- 1279 UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Pesticides
1280 industry sales and usage 2008–2012 market estimates. 2017. Disponível em:
1281 <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/pesticides-](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/pesticides-industrysales-usage-2016_0.pdf)
1282 [industrysales-usage-2016_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/pesticides-industrysales-usage-2016_0.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2019.
- 1283 WANG, Yanhui e cols. Impacto da piroxasulfona no microbioma da rizosfera da
1284 cana-de-açúcar e funcionamento durante a degradação no campo. *Journal*
1285 *of Hazardous Materials*, v. 455, p. 131608, 2023.
- 1286 WANG, Yanhui e cols. Impacto da piroxasulfona no microbioma da rizosfera da
1287 cana-de-açúcar e funcionamento durante a degradação no campo. *Journal*
1288 *of Hazardous Materials* , v. 455, p. 131608, 2023.
- 1289 WESTRA, E. P.; SHANER, D.L.; WESTRA, P.H.; CHAPMAN, P.L. Dissipation
1290 and leaching of piroxasulfona and S-metolachlor. *Weed Technology*, v. 28,
1291 n. 1, p. 72-81, 2014.
- 1292 WHALEN, Derek M. et al. Integração de herbicidas residuais com terminação de
1293 plantas de cobertura em soja. *Tecnologia de ervas daninhas*, v. 34, n. 1,
1294 p. 11-18, 2020.

- 1295 YAMAJI, Y.; UENO, R.; TAKAHASHI, S.; HONDA, H. et al. Study on a new
1296 herbicide, KIH-485—the properties as a corn herbicides, Journal of Weed
1297 Science and Technology, v. 50, p. 54-55, 2005.
- 1298 YOSHIMURA, T. Criação de novos agrotóxicos que contribuem para a
1299 segurança alimentar e conservação ambiental - Desenvolvimento de
1300 pirimissulfan e piroxasulfona- Química e Biologia, v. 50, n. 7, p. 552-557,
1301 2012.
- 1302 ZENG, T.; CHIN, Y. P.; ARNOLD, W. A. Potential for abiotic reduction of
1303 pesticides in prairie pothole pore waters. Environmental Science &
1304 Technology, v.46, n.6, p. 3177–3187, 2012.
- 1305 ZHANG, Houpu et al. Fungicides enhanced the abundance of antibiotic
1306 resistance genes in greenhouse soil. Environmental Pollution, v. 259, p.
1307 113877, 2020.
- 1308 ZHANG, Yulan e cols. Parâmetros cinéticos da resposta da β -glicosidase do solo
1309 a regimes de temperatura e umidade ambientais. Revista Brasileira de
1310 Ciência do Solo, v. 35, p. 1285-1291, 2011.