

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Eficácia do imazapic no controle de fluxos germinativos de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *Sorghum halepense* (L.) Pers em diferentes quantidades de precipitações e palha de cana-de-açúcar.

RODOLFO CÉSAR DE ALBUQUERQUE ARAÚJO

DOURADOS-MS

2023

Eficácia do imazapic no controle de fluxos germinativos de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *Sorghum halepense* (L.) Pers em diferentes quantidades de precipitações e palha de cana-de-açúcar.

RODOLFO CÉSAR DE ALBUQUERQUE ARAÚJO

Engenheiro Agrônomo

ORIENTADOR: Prof. Dr. Munir Mauad

COORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Vinícius da Silva

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS-MS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A663e Araújo, Rodolfo César De Albuquerque

Eficácia do imazapic no controle de fluxos germinativos de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *Sorghum halepense* (L.) Pers em diferentes quantidades de precipitações e palha de cana-de-açúcar. [recurso eletrônico] / Rodolfo César De Albuquerque Araújo. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Munir Mauad .

Coorientador: Paulo Vinícius da Silva.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Lixiviação. 2. Sorção. 3. Saccharum spp.. I. Mauad, Munir. II. Silva, Paulo Vinícius Da. III. Título.

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

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

EFICÁCIA DO IMAZAPIC NO CONTROLE DE FLUXOS GERMINATIVOS DE *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *Sorghum halepense* (L.) Pers EM DIFERENTES QUANTIDADES DE PRECIPITAÇÕES E PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR.

por

Rodolfo César de Albuquerque Araújo

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 06/10/2023

Documento assinado digitalmente:
MUNIR MAUAD
Data: 03/12/2023 11:04:18-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Munir Mauad
Orientador – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente:
PAULO VINÍCIUS DA SILVA
Data: 29/11/2023 11:36:51-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Vinícius da Silva
Coorientador – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente:
ROQUE DE CARVALHO DIAS
Data: 28/11/2023 17:26:29-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Roque de Carvalho Dias
UFTM

Dedico este trabalho as pessoas que não mediram forças para me dar educação, ao meu lado em todos os momentos, são meus primeiros e eternos professores da vida que me ensinaram a ser o que sou como ser humano. Meus pais; **Antônio de Araújo Pereira e Samara César de Albuquerque Araújo.**

AGRADECIMENTOS

Louvo e agradeço hoje, amanhã e sempre a **DEUS** e a santíssima e cheia de graça **VIRGEM MARIA**, por mim abençoarem em todos os momentos.

Aos meus pais: **Antônio de Araújo Pereira** e **Samara César de Albuquerque Araújo**, aos meus irmãos; **Raphaela César de Albuquerque Araújo** e **Antônio de Araújo Pereira Filho**, por todo o amor e apoio. Aos meus **Avôs**; **Evilásio Batista de Albuquerque** (*in memoriam*) e **Leusinete César de Albuquerque**, por todo o carinho, apoio e por sempre acreditarem em mim.

A minha esposa **Raianne de Oliveira Coqueijo Albuquerque Araújo**, por todo amor e companherismo.

Ao **Profº. Drº. Munir Maud** pela confiança que me foi dada para desenvolver esse trabalho, por sua disponibilidade e acessibilidade sempre que foi preciso. Foi uma grande satisfação poder ter sido orientado por um profissional de tamanha competência e humanidade.

Ao **Profº. Drº. Paulo Vinicius da Silva**, por toda a contribuição dada no desenvolvimento deste trabalho, desde a idéia inicial, a disponibilidade dos estagiários do grupo de estudos em Plantas Daninhas da UFGD (GEPLAD) para auxiliar na montagem e condução do experimento. Ao **Profº. Drº. Elias Silva de Medeiros** pela contribuição e auxílio. Ao **Profº. Drº. Roque de Carvalho Dias** pela participação e contribuição na banca de defesa.

A instituição **Universidade Federal da Grande Dourados - PPGA**, a todos os colaboradores, Professores, técnicos, auxiliares, por todo o suporte e plenas condições de ensino e pesquisa.

Eclesiástico 30,22-27.

BIOGRAFIA DO AUTOR

RODOLFO CÉSAR DE ALBUQUERQUE ARAÚJO – nascido em Recife no estado de Pernambuco no dia 04 de novembro de 1991 ingressou o ensino fundamental na “Escola Monteiro Lobato”, na cidade de Itambé – PE, estudando nesta no período compreendido de 1999 a 2004, cursando logo após o ensino médio na “Escola Santa Maria”, na cidade de Timbaúba – PE, no período de 2004 a 2008. Após a conclusão do ensino médio, realizou o processo seletivo seriado – PSS, sendo aprovado e no ano de 2009 ingressou no curso de Agronomia no Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal da Paraíba – Areia - PB, no Campus II, concluindo no ano de 2014. Durante a graduação assumiu monitoria voluntária para o cursinho pré-vestibular nas áreas de “Espanhol Instrumental”, participou de iniciação científica com projetos de extensão na área de “Horticultura e Olericultura”, realizou estágios extracurriculares em instituições públicas e privadas na cultura da cana-de-açúcar em todos os períodos de férias; Destilarias, Usinas e Estações de pesquisa em melhoramento genético da cana-de-açúcar. Em março de 2014 foi aprovado no Programa de residência agrônômica das universidades; UFRRJ, UFPR e o instituto de melhoramento genético de cana-de-açúcar RIDESA, seguindo para o estado do Paraná e iniciando a carreira profissional no grupo sucroenergético da região sul do Brasil; Usina de Açúcar Santa Terezinha no período de 2014 a 2019, posteriormente ingressando no maior grupo sucroenergético do mundo a Raízen; de 2019 a 2020, em seguida ingressando na área comercial na cooperativa de Engenheiros Agrônomos; Unicampo no período de 2020 a 2021, e atualmente como Representante Técnico de Vendas; BASF. Em 2021 ingressou no curso de mestrado em Agronomia, na Universidade Federal da Grande Dourados, no programa de produção vegetal, desenvolvendo atividades na área de manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, com bolsa de estudos concedida pelo CNPq.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Aspectos econômicos da cultura da Cana-de-Açúcar.....	15
2.2 Plantas Daninhas em Cana-de-Açúcar.....	16
2.2.1 <i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton.....	17
2.2.2 <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.....	18
2.3 Controle Químico de Plantas Daninhas.....	19
2.3.1 imazapic.....	20
2.3.2 Fatores que influenciam o comportamento dos herbicidas.....	21
2.3.2.1 Características Físico Químicas.....	21
2.3.2.2 Condições Climáticas.....	22
2.3.2.3 Palhada.....	23
2.3.2.4 Solo.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Localização, clima, solo e características do experimento.....	26
3.2 Delineamento Experimental.....	27
3.3 Instalação e Condução do experimento.....	27
3.4 Variáveis Analisadas.....	29
3.4.1 Eficácia de controle.....	29
3.4.2 Matéria seca por planta.....	29
3.4.3 Análise Estatística.....	30
4. RESULTADOS.....	31
5. DISCUSSÃO.....	49
6. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
Tabela 1 - Resultados da análise química e física dos solos argiloso (Solo 1) e arenoso (Solo 2) (0 a 20 cm). Dourados - MS.....	26
Tabela 2 - Doses (D1= dose 1 e D2= dose 2) e suas respectivas concentrações de equivalente ácido por hectare.	28
Tabela 3 - Resultados do teste F da análise de Deviance para espécies <i>Rottboellia cochinchinensis</i> para a variável percentual de controle visual.	31
Tabela 4 - Resultados do teste F da análise de Deviance para espécie <i>Sorghum halepense</i> para a variável percentual de controle visual.....	40
Tabela 5 - Resultados da análise de variância para as espécies <i>Rottboellia cochinchinensis</i> e <i>Sorghum halepense</i> para a variável de massa seca residual (%) aos 42 DAE (F1) e 42 DAE (F2) em solo arenoso e argiloso.....	46
Tabela 6 - Efeito dos tratamentos sobre a massa seca residual das duas espécies de plantas daninhas com o respectivo controle em médias e porcentagens, para o solo arenoso e argiloso nos dois fluxos de infestação.....	47

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1 - Semeadura das duas espécies de plantas daninhas em lados distintos do vaso.	28
Figura 2 - Percentual de controle de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo arenoso.	32
Figura 3 - Percentual de controle de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura- para o solo argiloso.	33
Figura 4 - Percentual de controle de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.	34
Figura 5 - Percentual de controle de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.	35
Figura 6 - Percentual de controle de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.	36
Figura 7 - Percentual de controle de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.	37
Figura 8 - Percentual de controle de <i>Rottboellia cochinchinensis</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo argiloso.	38
Figura 9 - Percentual de controle de <i>Sorghum halepense</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo arenoso.	40
Figura 10 - Percentual de controle de <i>Sorghum halepense</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo arenoso.	41
Figura 11 - Percentual de controle de <i>Sorghum halepense</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.	42
Figura 12 - Percentual de controle de <i>Sorghum halepense</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.	43
Figura 13 - Percentual de controle de <i>Sorghum halepense</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.	44
Figura 14 - Percentual de controle de <i>Sorghum halepense</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.	45
Figura 15 - Percentual de controle de <i>Sorghum halepense</i> através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo argiloso.	45
Figura 16 – Fluxo 1 de semeadura aos 42 DAE.	47
Figura 17 – Fluxo 2 de semeadura aos 42 DAE.	47

ARAÚJO, R.C.A. **Eficácia do imazapic no controle de fluxos germinativos de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *Sorghum halepense* (L.) Pers em diferentes quantidades de precipitações e palha de cana-de-açúcar.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

RESUMO

As espécies de plantas daninhas capim-camalote (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton) e capim-massambará (*Sorghum halepense* (L.) Pers) apresentam alta agressividade na matocompetição para a cultura da cana-de-açúcar, essas espécies estão aumentando suas infestações no estado do Mato Grosso do Sul gerando impactos no desenvolvimento dos canaviais, reduzindo produtividade e longevidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia do herbicida imazapic no controle em pré-emergência das espécies *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers quando aplicado em condições com e sem palha de cana-de-açúcar e em diferentes simulações de precipitação de chuva. O experimento foi realizado em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado. Utilizou-se o esquema fatorial triplo; 2x2x2; sendo 2 doses do herbicida imazapic (105 e 147 g i.a. ha⁻¹), 2 quantidades de palha (0 e 10 t ha⁻¹) e 2 simulações de precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹), com 4 repetições e 4 testemunhas, sendo esse fatorial isolado para dois tipos de solos (argiloso e arenoso) e em dois fluxos de germinação (F1 e F2). Nos dois fluxos de germinação aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após emergência (DAE) foram realizadas avaliações visuais de controle e aos 42 DAE foi avaliado a massa seca da parte aérea. O fator precipitação resultou em maiores performances de controle sempre com o menor volume simulado de 10 mm e o fator quantidade de palha influenciou reduzindo a eficácia de controle, tanto no solo arenoso quanto no solo argiloso. A maior dose (D2: 147 g i.a. ha⁻¹) apresentou melhor eficácia de controle em solo argiloso. O herbicida imazapic apresentou controle excelente até o final do segundo fluxo; com média de redução de massa seca de 92% para *R. cochinchinensis* e de 97% para *S. halepense*.

Palavras-chave: Lixiviação, Sorção, *Saccharum spp.*

ARAUJO, R.C.A. **Eficácia do imazapic no controle de fluxos germinativos de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *Sorghum halepense* (L.) Pers em diferentes quantidades de precipitações e palha de cana-de-açúcar.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

ABSTRACT

The flowering plant species: Camalote grass (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton) and Massambará grass (*Sorghum halepense* (L.) Pers) show high aggressiveness in weed competition for sugarcane cultivation, these species are increasing their infestations in the state of Mato Grosso do Sul generating results in the development of sugarcane fields, reduced productivity, and longevity. The objective of this work was to evaluate the effectiveness of the herbicide imazapic in pre-emergence control of the species *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton and *S. halepense* (L.) Pers when applied in conditions with and without sugarcane straw and in different rainfall simulations. The experiment was carried out in a greenhouse in a very randomized experimental design. The triple factorial scheme was used; 2x2x2; being 2 doses of the herbicide imazapic (105 and 147 g i.a. ha⁻¹), 2 amounts of straw (0 and 10 t ha⁻¹) and 2 strategy simulations (10- and 30-mm ha⁻¹), with 4 repetitions and 4 controls, this factor being isolated for two types of soil (clay and sand) and in two germination flows (F1 and F2). In the two germination flows at 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days after emergence (DAE), visual control assessments were carried out and at 42 DAE the dry mass of the shoot was evaluated. The factor resulted in greater control performances always with the smallest simulated volume of 10 mm and the straw quantity factor had a reduced influence on control effectiveness, both in sandy and clayey soil. The higher dose (D2: 147 g i.a. ha⁻¹) showed better control efficacy in clayey soil. The imazapic herbicide showed excellent control until the end of the second flush; with an average dry mass reduction of 92% for *R. cochinchinensis* and 97% for *S. halepense*.

Keywords: Leaching, Sorption, *Saccharum spp.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro, com projeção de produtividade média de 78 ton ha⁻¹ e produção de 652,9 milhões de toneladas na safra 2023/24 (CONAB, 2023). O estado do Mato Grosso do Sul tem 869 mil hectares de área plantada de cana-de-açúcar, com produtividade média de 67,4 ton ha⁻¹ na safra 22/23 e com uma capacidade de moagem de 44,2 milhões de toneladas por safra (FAMASUL, 2023). Na última década a cultura da cana-de-açúcar passou por inúmeras mudanças em seu manejo cultural, entre as principais está a colheita sem queima, chamada de colheita de cana crua. No estado do Mato Grosso do Sul desde a safra 2019/20 a colheita mecanizada representa 100% dessa operação na cultura. Se tratando do cenário nacional a projeção para safra em andamento 2022/23 é que aproximadamente 90,5% das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil sejam colhidas sem a queima da palhada (CONAB, 2023).

Após a colheita mecanizada é possível observar no campo uma quantidade de palha que pode variar de 10 a 20 t ha⁻¹ (SOUZA et al., 2005), este resíduo vegetal, pode gerar quantidades significativas de energia, e representa uma fonte alternativa para a cogeração de bioeletricidade (UNICA, 2020). Diante desse cenário, as usinas recolhem a palhada ou apenas realizam a prática do aleiramento, onde ocorre a retirada da palha da linha de cultivo, com o objetivo principal de prevenir o ataque de pragas que aproveitam o microclima do resíduo para se desenvolver (Dinardo-Miranda; Fracasso, 2013). Em contrapartida essa remoção da palha total ou parcial da superfície do solo pode promover uma maior infestação de plantas daninhas.

Christoffoleti e Nicolai (2012), mencionam que em canaviais com distribuição desuniforme de palha na superfície do solo, pode ocorrer a exposição de até 66% da área do talhão, favorecendo a germinação e desenvolvimento de espécies monocotiledôneas, principalmente na linha da cultura por ocasião da brotação da soqueira. Áreas que recentemente passaram a retirar totalmente ou parcialmente a palha de cana-de-açúcar após a colheita, apresentam na composição de sua flora infestante, espécies monocotiledôneas de difícil controle, tais como *Sorghum halepense* e *Rottboellia cochinchinensis* (CONCENÇO, MACHADO e CECCON, 2012; MONQUERO et al., 2012; CORREIA et al., 2013). Essas espécies daninhas, apresentam sementes menores, o que contribui para uma rápida germinação e colonização dos canaviais, culminando em maior densidade na comunidade infestante (MONQUERO et al., 2008).

Dentro do manejo integrado de plantas daninhas, o controle químico se destaca também pela sua alta eficiência na redução do banco de sementes do solo (controle em pré emergência). E embora a camada de palha na superfície do solo possua inúmeras vantagens agronômicas, a sua permanência representa uma barreira física à ação de herbicidas pré emergentes, podendo influenciar na performance desses produtos (ROSSI et al., 2013). Dessa forma a água da chuva passa a se tornar é a principal responsável pelo transporte do herbicida até a superfície do solo alvo de ação de herbicidas pré-emergentes (MACIEL; VELINI, 2005; SIMONI et al., 2006).

Segundo Prata e Lavorenti (2002) os herbicidas após a sua aplicação interagem com o solo formando um processo dinâmico que irão determinar seu comportamento, sendo esta dinâmica caracterizada por alguns fenômenos denominados: retenção, adsorção ou sorção.

Sendo assim, algumas características físico-químicas específicas dos herbicidas podem proporcionar tanto uma maior estabilidade sobre a palha e conseqüentemente um transporte mais eficiente desses produtos da palha para o solo, quanto uma maior disponibilidade na solução do solo, dentre essas características podemos destacar: alta solubilidade em água, ausência de fotodegradação (sendo preferencialmente degradados por microrganismos) e baixo K_{ow} , ou seja, não possuir caráter lipofílico (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

Alguns herbicidas possuem esse conjunto de características físico-químicas, sendo frequentemente posicionados na época da seca na cultura da cana-de-açúcar, entre eles podemos citar o imazapic; alta solubilidade de 2.200 mg L⁻¹ a 25 °C, baixo K_{ow} de 0,16, não volátil e com via de degradação microbiana (RODRIGUES, ALMEIDA, 2018).

Considerando que o *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers estão aumentando suas infestações nas lavouras do Brasil e que apresentam elevada agressividade associada a um difícil controle, particularmente na cultura da cana-de-açúcar, assim informações adicionais sobre o controle dessas espécies proporcionará maiores subsídios para o seu manejo nas condições de campo.

Com este trabalho, objetivou-se avaliar a eficácia do herbicida imazapic no controle pré-emergente em diferentes fluxos de germinação das espécies *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers, quando aplicado em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar e simulados diferentes precipitações de chuva.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos econômicos da Cultura da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e tem sua origem nas regiões tropicais do sul e sudeste da Ásia (OLIVEIRA et al., 2017). Trata-se de uma gramínea com metabolismo C4, altamente eficiente na conversão de energia solar em energia química (BYRT et al., 2011) metabolizando sólidos solúveis de hidratos de carbono tais como sacarose, glicose e frutose (COSTA et al., 2021).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o país, segundo estimativa da União da Indústria da Cana-de-Açúcar, a UNICA (2020), o valor gerado pelo setor corresponde a cerca de 10% do agronegócio brasileiro, ou seja, 2% do PIB nacional. A área cultivada com cana-de-açúcar atualmente no Brasil é cerca de 8,29 milhões de hectares, com projeção de produtividade média de 78 ton ha⁻¹ o que deverá chegar em uma produção de 652,9 milhões de toneladas na safra 2023/24 (CONAB, 2023). O aumento da demanda mundial por fontes sustentáveis e renováveis, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar, fazem do Brasil uma grande potência na produção e exportação de açúcar, álcool e bioenergia.

A área cultivada com cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul, cresceu de forma exponencial nas últimas décadas, atualmente com aproximadamente 869 mil hectares na safra 2022/2023, com uma produtividade de 67,4 ton ha⁻¹ e uma capacidade de moagem de 44,2 milhões de toneladas, colocando a região como a 4ª maior produtora de cana-de-açúcar do País (FAMASUL, 2023). Granco et al. (2015) afirmam que a expansão do setor canavieiro nos estados de MS e GO é atribuída, principalmente, às políticas governamentais de apoio ao setor, ao aumento dos preços de terras nas regiões produtoras tradicionais e ao endurecimento das leis ambientais.

Nesse contexto, são incluídas as boas condições edafoclimáticas nos estados de MS e GO; preços de terras inferiores do que os praticados no estado de São Paulo; propriedades com áreas mais extensas e planas, que facilitam as operações por meio da mecanização e adoção de tecnologias; e o fato de serem regiões localizadas próximas aos principais mercados consumidores, como o estado de São Paulo. O Mato Grosso do Sul possui em atividade 17 usinas sucroenergéticas, sendo 10 mistas (açúcar e álcool) e 7 destilarias (apenas álcool), na última safra a produção de etanol teve uma queda em torno

de 14,12%, porém, o estado obteve uma produção histórica de açúcar na safra 2021/2022, chegando a 1.37 milhões de toneladas. (CONAB, 2023).

2.2 Plantas Daninhas em Cana-de-Açúcar

A presença de plantas daninhas é um dos mais importantes fatores que afetam de forma negativa as culturas agrícolas. Essas podem reduzir a produtividade, depreciar a quantidade e a qualidade dos produtos colhidos, além de servirem como hospedeiras alternativas de pragas, doenças e nematóides. Portanto, o controle dessas espécies de plantas em culturas agrícolas se faz necessário para que a cultura expresse o seu maior potencial produtivo. Apesar de ser altamente eficiente na utilização dos recursos naturais disponíveis para o seu crescimento, por apresentar mecanismo fotossintético do tipo C₄, a cultura da cana-de-açúcar possui crescimento inicial lento, e por esse motivo deve ser protegida dos efeitos da interferência das plantas daninhas (PROCÓPIO et al., 2003). As plantas daninhas da família Poaceae, sobretudo as de metabolismo C₄, são mais competitivas e fazem uso eficiente dos recursos naturais, proporcionando a rápida dominação do espaço (CARVALHO et al., 2005a).

Existem períodos do ciclo da cultura da cana-de-açúcar em que a competição com as plantas daninhas acarreta em maiores perdas na produção. Entre os períodos estão: Período Anterior à Interferência (PAI), em média, em todas as épocas de plantio vai de 20 a 45 dias; Período Total de Prevenção da Interferência (PTPI), que em cana-planta vai de 90 a 150 dias, e em cana-soca, de 70 a 100 dias; e o Período Crítico de Prevenção da Interferência (PCPI), em cana-planta de 20 a 150 dias, e em cana-soca 20 a 100 dias (CONSTANTIN, 1993; KUVA et al., 2001, 2003 e 2007).

A convivência com as plantas daninhas nos primeiros 90 dias do ciclo do canavial causa danos à produtividade devido à falta de controle de até 85% sobre as soqueiras e até 100% sobre cana-planta, dependendo das espécies de plantas daninhas na comunidade infestante (AZANIA, 2018). Essa agressividade competitiva das plantas daninhas varia em função de sua espécie, do nível populacional, da época da emergência em relação à cultura, do sistema de manejo adotado com a cultura e das cultivares de uma mesma espécie que podem apresentar habilidades competitivas diferenciadas (GALON et al., 2012). Outros vários prejuízos que a infestação de plantas daninhas pode ocasionar à cultura da cana-de-açúcar, destacam-se: Decréscimo na longevidade do canavial, dificuldade e aumento no custo de colheita, queda na qualidade industrial da matéria-

prima e abrigo para pragas e doenças da cana-de-açúcar

Pode-se estimar que cerca de 1.000 espécies de plantas de daninhas habitam o agroecossistema da cana-de-açúcar nas distintas regiões produtoras do mundo (ARÉVALO, 1978). Nos cultivos com cana-de-açúcar no Brasil, são inúmeras espécies daninhas que se estabelecem, mas, geralmente, *Cynodon dactylon* (grama-seda), *Cyperus rotundus* (tiririca), *Ipomoea spp* (cordas-de-viola), *Merremia spp* (cipós), *Mucuna aterrima* (mucuna-preta), *Ricinus communis* (mamona), *Panicum maximum* (capim-colonião), *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária), *Brachiaria plantaginea* (capim-marmelada), *Digitaria horizontalis* (capim-colchão) e *Rottboellia cochinchinensis* (capim-camalote) são as mais frequentes (AZANIA, 2018). Dentre a flora de plantas daninhas que vem se destacando e em ascensão no agrossistema da cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul estão: *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers, que possuem alta agressividade competitiva, como relatado por (ARÉVALO & BERTONCINI, 1995) as espécies *Sorghum halepense*, *Cynodon dactylon* e *Rottboellia exaltata* podem proporcionar reduções na produção da cultura de 53, 45 e 80%, respectivamente.

2.2.1 *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton

Essa espécie é uma planta daninha com importância em todo o mundo, principalmente por sua alta capacidade de dispersão. É originário da Índia, de onde foi dispersado pelo homem para mais de 28 países, mais de 18 culturas, como: cana-de-açúcar, arroz, feijão, soja, algodão, amendoim e milho (HOLN et al., 1997). Estima-se que o *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton tenha entrado no Brasil no final da década de 1950, infestando sementes de arroz, provavelmente de origem colombiana (DEUBER, 1992).

Pertencente a família Poaceae, com aparato fotossintético C4, possui ciclo de vida anual ou perene, dependendo das condições ambientais. É uma planta ereta, com bainhas foliares densamente revestidas por cerdas rígidas, que atinge entre 1,0 e 2,5 metros de altura, reproduz-se por sementes, podendo ser multiplicada também a partir de fragmentos de caule, que possuem gemas nos seus nós (KISSMANN, 1997). É uma planta muito vigorosa e possui alto poder prolífico, capaz de emitir até 100 perfilhos e 15000 sementes (SMITH, 2001), com capacidade de dormência no solo por até quatro anos (LORENZI, 2000).

Esta espécie é adaptada às mesmas condições que as plantas de cana-de-açúcar, como alta temperatura e alta umidade (ARÉVALO e BERTONCINI, 1994). Isso fez com que o *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton se expandisse rapidamente para as regiões consideradas como novas fronteiras agrícolas para a cana-de-açúcar no Brasil, como é o caso do estado do Mato Grosso do Sul. Em regiões canavieiras a espécie vem se destacando por causar perdas significativas de produtividade de até 80% para áreas de cana soca, e de até 100% em cana planta (CRISTOFFOLETI, 2020). Outros estudos realizados por Correia e Gomes (2014) encontram redução de 56% na produtividade de colmos de cana-de-açúcar, quando essa espécie foi mantida ao longo de seu ciclo na cultura, razões que fazem dessa planta daninha um novo problema em potencial para a agricultura brasileira.

2.2.2 *Sorghum halepense* (L.) Pers

O *Sorghum halepense* (L.) Pers (capim-massambará), é uma planta originária do Mediterrâneo e Oriente Médio. No Brasil, foi introduzida com sementes de milho, alfafa e outras espécies, provenientes da Argentina, onde hoje é tida como a mais importante invasora do país (GAZZIERO et al., 1991). O gênero *Sorghum* engloba espécies cultivadas de importância econômica, como os sorgos forrageiros, granífero e sacarino. Contudo, abrange também importantes espécies tipicamente consideradas daninhas nos agroecossistemas, como o *S. halepense* (L.) Pers (NOBREGA JUNIOR et al., 2006).

Também pertencente a família das Poaceae, com aparato fotossintético C4, é uma planta perene, entouceirada, com crescimento ereto, com altura entre um e dois metros, e colmos cerosos, com pilosidade nos nós, apresentando um ciclo de desenvolvimento anual, que se inicia com a parte aérea na primavera, frutificando no verão e reproduzindo-se principalmente pelas sementes e secundariamente por rizomas (LEGUIZAMÓN, 2006; LORENZI, 2000). As sementes apresentam dormência após a maturação, tanto por causas fisiológicas quanto físicas, o que garante um índice de germinação entre 10 e 20% (GHERZA et al. 1979). O sistema rizomatoso extenso garante o repovoamento após condições adversas, esta característica que mais dificulta o seu controle.

Os estudos realizados por Gazziero et al. (1989) indicam que os prejuízos do *Sorghum Halepense* à cultura da soja podem ultrapassar os 60%, dependendo do período de convivência. Como dito anteriormente espécies de gramíneas com ciclo fotossintético

C4 se adaptam a regiões com verões quentes e chuvosos, , igualmente ao da cana-de-açúcar, o que lhe conferem altas taxas fotossintéticas em condições de altas temperaturas e alta luminosidade (TAIZ; ZEIGER, 2004).

2.3 Controle Químico de Plantas daninhas

O manejo da comunidade infestante é realizado inicialmente com base na identificação das espécies presentes na área, bem como daquelas que têm maior importância, o que permite definir qual a melhor tática de manejo das plantas daninhas (OLIVEIRA; FREITAS, 2009). Os principais métodos de combate são o controle preventivo, o controle cultural, o controle mecânico e o controle químico. Em alguns casos para erradicação de espécies de difícil controle, os métodos são integrados, sendo o controle mecânico realizado juntamente com controle químico através da aplicação de herbicidas (SILVA, 2018).

O controle químico das plantas daninhas é o mais utilizado na cultura da cana-de-açúcar (SILVA et al., 2012). Na safra 2020/2021 mais de 75 mil toneladas de herbicidas foram utilizadas no agrossistema canavieiro, sendo a terceira cultura em termos de consumo de herbicidas no Brasil (SINDIVEG, 2022). Esse método também se destaca devido à diminuição de mão-de-obra, facilidade na operação de aplicação em grandes extensões de áreas, custo e eficiência dos tratamentos em comparação com outros métodos de controle (ROSSI et al., 2004).

As aplicações de herbicidas na cultura da cana são realizadas em todas as épocas do ano, subdivididas em úmida, seca e as janleas de transição; semi-úmida e semi-seca. Na fase de implantação da cultura são várias modalidades onde usam-se os herbicidas, entre elas: Para a dessecação do canavial no momento da reforma da área e para erradicação total da matocompetição, em pré-plantio-incorporado, pré-plantio, pós-plantio e quebra-lombo. Na cana soca úmida podem ser aplicados em pré e pós-emergência, já em cana soca seca, repete-se as condições de pré-emergência, pós-emergência e em condições de escape, pós-tardio. (AZANIA, 2008).

Com base nos aspectos já citados com relação a capacidade de propagação de sementes do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers, se evidencia a importância do controle pré emergente, visando o banco de sementes do solo, fase na qual a espécie está mais susceptível e não completará seu ciclo reprodutivo, impossibilitando a disseminação de novas sementes. A maioria dos herbicidas são recomendados para cana-de-açúcar na modalidade de aplicação em pré-emergência ou pós-emergência

inicial, de modo que o destino de grande parte das moléculas é o solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2009). Os herbicidas, neste caso, são aplicados tendo como alvo o solo, onde ficarão disponíveis na solução do solo para absorção pelas plantas (KLEEMANN et al. 2015; KHALIL et al., 2018).

Essa modalidade no manejo de aplicação permite um período residual de controle das plantas daninhas, atuando em vários fluxos de germinação, e reduzindo a interferência nas fases de desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar.

Atualmente, os ingredientes ativos registrados para controle em pré-emergência da espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton na cultura da cana-de-açúcar são: clomazone, flumioxazin, flumioxazin+pyroxasulfone, indaziflam, indaziflam+isoxaflutole e ametrina+trifloxissulfurom sódico. Os ingredientes ativos; trifluralina, flumioxazina +pyroxasulfone, diurom+hexazinona+sulfometurom-metílico, pendimetalina, são registrados para o controle em pré-emergência do *Sorghum halepense* (L.) Pers em cana-de-açúcar (AGROFIT-MAPA, 2022).

2.3.1 imazapic

Dentre as opções de herbicidas utilizados no controle químico pré-emergente de plantas daninhas na cana-de-açúcar no Brasil, está o imazapic. Pertencente ao grupo B, da classe química das imidazolinonas, tendo como mecanismo de ação a inibição da enzima acetohidroxiácido sintase (AHAS), responsável pela biossíntese de aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina) em plantas que morrerão lentamente devido à incapacidade de sintetizar proteínas, importantes para o funcionamento da divisão celular (TAN et al., 2006; SILVA et al., 2007; DUGGLEBY et al., 2008; SUDIANTO et al., 2013).

As imidazolinonas controlam um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo poáceas, ciperáceas e latifolias. Esses herbicidas são absorvidos pelas raízes e folhas das plantas, sendo transportado pelo floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento; dessa forma, o efeito fitotóxico das imidazolinonas é causado pela deficiência desses aminoácidos, provocando a diminuição na síntese de proteínas e de DNA, esses processos provocam redução no crescimento das plantas e no alongamento das folhas e cloroses entre as nervuras foliares (SHANER & SINGH, 1993; TAN et al., 2006).

O seu conjunto de características físico-químicas, como: alta solubilidade de 2.200 mg L⁻¹ a 25 °C, baixo Kow de 0,16, não ser volátil e com degradação

principalmente microbiana (RODRIGUES, ALMEIDA, 2018), lhe conferem alta adaptação a aplicações em época climática seca, alta estabilidade sobre a palha da cana-de-açúcar sem se degradar e facilidade em transpor a palhada e chegar até o solo .

A aplicação de herbicidas em épocas secas tornou-se uma prática recorrente nos canaviais, já que se trata de um período de menor atividade dentro das usinas (CORREIA; KRONKA., 2010). Nesse sentido, a aplicação de herbicidas na época seca, otimiza os tratos culturais da cultura de cana-de-açúcar na época úmida, que abrange importantes etapas do sistema produtivo canavieiro como: colheita, plantio, reforma de canaviais entre outras (SILVA; MONQUERO, 2013). Diversos trabalhos têm sido realizados objetivando demonstrar que a palha pode reter herbicidas aplicados em pré-emergência afetando sua lixiviação no sistema de cana-crua (SIMONI et al., 2006; CAVENAGHI et al., 2007; MONQUERO et al., 2007; MONQUERO et al., 2009; TOFOLI et al., 2009; TOLEDO et al., 2009; ROSSI et al., 2013).

Ensaios de lixiviação com imazapic em diferentes tipos de solo mostraram que o produto apresenta mobilidade intermediária, e a sua meia-vida no solo ($t_{1/2}$) é maior que 180 dias, variando a partir das condições edafoclimáticas locais (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). É uma molécula de controle seletivo, registrada para uso em condições de pré-emergência, no controle de plantas daninhas dicotiledôneas e monocotiledôneas, na cultura da cana-de-açúcar, e tendo em vista as poucas opções de herbicidas pré-emergentes para época seca no controle das espécies *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *Sorghum halepense* (L.) Pers, o herbicida imazapic pode ser uma alternativa.

2.3.2 Fatores que influenciam o comportamento dos herbicidas

2.3.2.1 Características Físico Químicas

Características como solubilidade em água (S), coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}), pressão de vapor (P), e coeficientes de sorção, como Koc, permitem prever a dinâmica de um herbicida, seja na palhada ou no solo, auxiliando a compreensão da capacidade de sorção, da capacidade de transposição, e da persistência no ambiente (CHRISTOFFOLETI et al., 2009). A solubilidade em água influencia a mobilidade do herbicida através da camada de palhada, e sua capacidade de lixiviação no solo, além de ser um coeficiente que indica a quantidade de herbicida que é disponibilizado na solução, podendo ser absorvido pelas plantas (CHRISTOFFOLETI et

al., 2009; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

Outra característica importante são os coeficientes de sorção, K_d e K_{oc} , que podem funcionar como instrumentos úteis para descrever comportamento de herbicidas no ambiente na cultura da cana-de-açúcar. Relacionando as características físico-químicas presente no solo com a adsorção dos herbicidas (K_{oc} e K_d), é possível quantificar a proporção de herbicida que ficará retida no solo e a quantidade de herbicida que ficará biodisponível na solução, objetivando maior eficácia no controle de plantas daninhas (BONFLEUR et. al., 2016). A correlação entre as características físico-químicas dos solos e os coeficientes de adsorção de herbicidas residuais, também podem fornecer informações relativas ao residual desses produtos no solo e até servir como base para justificar a eficácia ou ineficiência desses produtos no controle de plantas daninhas (CHRISTOFFOLETI et. al., 2009). Dessa forma correlacionar os atributos dos solos com as características físico- químicas dos herbicidas, pode resultar em ajuste de doses e correto posicionamento.

O conhecimento técnico destas características é extremamente importante para o posicionamento correto da molécula. Por exemplo, se a recomendação de um produto de baixa solubilidade em água é feita em uma época seca do ano sobre uma camada de palhada, o mesmo pode não ser lixiviado em quantidades suficientes ao solo para promover um controle eficaz, devido à falta de precipitação ou umidade no solo (SILVA; MONQUERO, 2013).

Dessa forma as moléculas posicionados sobre a camada de palha necessitam de algumas características físico-químicas para não se degradarem sobre a palha e conseguir transpor até chegar ao solo mesmo com baixas precipitações. Dentre essas características podemos destacar: alta solubilidade em água, ausência de fotodegradação e baixo K_{ow} , ou seja, não possuir caráter lipofílico (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

2.3.2.2 Condições Climáticas

Com relação as condições climáticas ideais, de forma geral, os períodos do início da manhã, fim da tarde e à noite são os horários mais adequados para a aplicação de defensivos, pois a temperatura é menor e a umidade relativa maior, mas o monitoramento das condições ambientais é indispensável (ANTUNIASSI, 2015). As condições climáticas adequadas são velocidade vento sempre menor que 8 km h^{-1} , umidade maior que 55%, a temperatura menor que 30°C , (ADEGAS, 2016). O sistema produtivo com a palhada de cana-de-açúcar na superfície do solo, podem interferir na

eficácia e/ou posicionamento de herbicidas pré-emergentes, dessa forma a água da chuva passa a se tornar a principal responsável pelo transporte do herbicida até a superfície do solo alvo de ação de herbicidas pré-emergentes (MACIEL; VELINI, 2005; SIMONI et al., 2006).

2.3.2.3 Palhada

O sistema de colheita da cana-de-açúcar sofreu muitas alterações nos últimos anos, saindo da tradicional queima do canavial e colheita manual, para a colheita mecanizada sem queima, chamada também de colheita de cana crua. A adoção desse novo sistema de colheita da cana-de-açúcar devido desde questões ambientais, legais e também por pressões da sociedade, tem resultado em importantes modificações nas técnicas de cultivo, como o uso de maiores espaçamentos entre as linhas e a deposição de palha à superfície do solo, as quais influenciam diretamente na ocorrência e no manejo de plantas daninhas e na fertilidade dos solos (CHRISTOFFOLETI, 2020).

A palha deixada sobre o solo após a colheita da cana-de-açúcar sem queima, pode atuar como uma barreira física ou química (efeito aleloquímico) no controle de plantas daninhas (SOARES et al., 2011). A alelopatia é caracterizada com a liberação de metabólitos secundários, chamados aleloquímicos, devido ao processo de decomposição dos resíduos vegetais (palha), podendo interferir na germinação de sementes pela inativação dos mecanismos de dormência e desenvolvimento inicial de plantas daninhas (GOMES e CHRISTOFFOLETI, 2008; MONQUERO et al., 2009).

Outra forma que a manutenção da camada de palha na superfície do solo pode contribuir com o controle de plantas daninhas é através do sombreamento, algumas espécies de plantas daninhas possuem baixa capacidade de germinação sob uma espessa camada de palha. Esta camada de palhada pode variar de 5 a 20 toneladas por hectare (MONQUERO et al., 2009). De acordo com Christoffoleti (2020), é possível observar na prática que áreas com palhada apresentam menor infestação de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton, quando comparado com áreas sem palhada. Assim, uma prática recomendada para auxiliar no controle do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton em soqueiras de cana é a colheita mecanizada, sem queima da palhada. Oliveira e Freitas (2009), concluíram em seus estudos que a quantidade de palha de 16 t/ha controlou de forma eficaz a espécie *Rottboellia exaltata*, independentemente da utilização de herbicidas.

Entretanto, a palhada da cana-de-açúcar pode tanto interceptar quanto reter os herbicidas aplicados em pré-emergência, diminuindo a sua transposição da camada de

palha para a superfície do solo e acarretar na redução no controle das plantas daninhas (BARROS et al., 2021; MATOS et al., 2016; DA SILVA, 2018). Assim, o efeito aditivo de controle da palha com o do herbicida resulta em um controle superior de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton que a aplicação do herbicida em solo descoberto sem palhada (CHRISTOFFOLETI, 2020).

Para Monquero et al. (2012), os níveis de palha de *Crotalaria spectabilis* mais eficientes na supressão de *Rottboellia exaltata* são 10 t ha⁻¹, posicionada sobre o solo argiloso e 5 t ha⁻¹ de palha de *Canavalia ensiformis* incorporada ao solo arenoso. Correia et al. (2013), observaram em um estudo com diferentes níveis de palha (0, 5, 10 e 15 t ha⁻¹), menor biomassa acumulada de plantas daninhas de *R. exaltata* utilizando o nível de 15 t ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar.

Os herbicidas interceptados e/ou retidos sob a palhada ficam sujeitos à retenção, à volatilização, degradação térmica e à fotólise, até que sejam lixiviados para o solo, e entrem na solução do solo, onde irão exercer a sua atividade como herbicida (LOCKE E BRYSON, 1997; SELIM et al., 2003). Esse transporte é dependente de diversos fatores, tais como, quantidade e origem do resíduo vegetal, características físico-químicas dos herbicidas e das condições climáticas, bem como do intervalo entre a aplicação e a ocorrência de chuva (BANKS E ROBINSON, 1986; CAVENAGHI et al., 2007; CARBONARI et al., 2016).

2.3.2.4 Solo

Segundo Prata e Lavorenti (2002) os herbicidas após a sua aplicação interagem com o solo formando um processo dinâmico, sendo esta dinâmica caracterizada por alguns fenômenos denominados: retenção (habilidade de reter molécula orgânica evitando sua saída da matriz) e adsorção ou sorção (processo reversível de retenção e atração de molécula química na superfície do coloide por tempo dependente de sua afinidade), que irão determinar o comportamento do herbicida no solo. O solo é composto pelas fases sólida (normalmente constituída por 40-45% fração mineral e 1-5% fração orgânica), líquida (solução do solo, que representa em torno de 20-30% do solo) e gasosa (com valores variando entre 20-30% do solo). Embora as fases líquida e gasosa sejam importantes, a fase sólida, em especial a fração coloidal, é a principal fase considerada na predição do comportamento de herbicidas devido à sua capacidade sortiva (CHRISTOFFOLETI, 2008).

Estas fases influenciam a movimentação de um herbicida no perfil do solo, que ocorre em todas as direções e é dependente da direção de fluxo de água (JAVARONI et al., 1999). Fatores como a estrutura e textura do solo, as chuvas, tais como quantidade e intensidade são características importantes que afetam o grau de fluxo preferencial e transporte de moléculas no solo (MERDUN, 2004).

De acordo com (INOUE et al., 2006; KRAEMER et al., 2009a; Refatti et al., 2014), por se tratar de um herbicida ionizável, o imazapic pode apresentar-se em duas formas quanto à sua carga líquida: solo abaixo de pH 3,9, a forma predominante é a molecular, cuja carga líquida é zero; e, quando o pH do solo se aproxima da neutralidade, passa a predominar a forma aniônica, diminuindo a força de atração entre as moléculas do herbicida e as cargas predominantes no solo. Desse comportamento resulta menor sorção do herbicida e, conseqüentemente, maior potencial de lixiviação no solo. Inoue et al.(2007), relata que em solos com pH acima do pKa da molécula (imazapic 3,9) o movimento do herbicida, através do perfil do solo, é favorecido, em razão da baixíssima sorção. Por esse motivo, os herbicidas ácidos são normalmente menos sorvidos aos colóides do solo do que os herbicidas neutros ou básicos.

De acordo com Silva (2018) em seu estudo sobre sorção de herbicidas residuais, pode observar com relação ao imazapic que o atributo com maior valor de significância na correlação com os coeficientes de adsorção é o pH, seguido pela porcentagem de matéria orgânica, sendo o segundo atributo a impactar de maneira significativa na adsorção de imazapic em solos, onde maiores porcentagens de matéria orgânica do solo resultaram em maiores valores de coeficientes de adsorção.

Desta forma, Firmino et al. (2008) encontraram correlação positiva, altamente significativa, entre a relação de sorção de imazapyr e os teores de MO, argila, Fe oxálico e Fe ditonito sob três solos de Minas Gerais. A relação de sorção de um solo muito argiloso é 3,5 vezes maior que a de um solo franco-argiloso-arenoso e 5,8 vezes maior que a de uma areia franca. Os pesquisadores atribuíram essa maior adsorção a uma maior concentração de Fe oxalato e de ditonito no primeiro solo. Contudo, esse tipo de interação é desprezível em solos com teores de matéria orgânica maiores que 1% (GEVAO et al., 2000; REGITANO et al., 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, clima, solo e características do experimento

O experimento foi conduzido no período de setembro de 2021 a maio de 2022 em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados / Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), estando situada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 22°11'57" S, longitude de 54°56'08" W e altitude de 458 metros. O clima local segundo a classificação de Koppen, do tipo Am (tropical de monções), com inverno seco e verão quente e chuvoso, sendo as temperaturas máximas observadas nos meses de dezembro a janeiro e as mínimas entre maio e agosto (FIETZ et al., 2017).

Forão utilizados solos de duas classes texturais; Latossolo Vermelho distrófico (LVd), de textura muito argilosa e Latossolo Vermelho Escuro álico (LEa) de textura média a arenosa (EMBRAPA, 2013). Os solos forão coletados de áreas de encostas, sem cultivos anteriores e nenhuma aplicação de herbicida, sendo previamente peneirados manualmente à fim de obter o máximo de homogeneização e eliminar material vegetal indesejável. Antes da instalação do experimento foi realizada a caracterização química e física dos solos (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados da análise química e física dos solos argiloso (Solo 1) e arenoso (Solo 2) (0 a 20 cm). Dourados - MS.

Resultado de Análise Química						
Cod. Lab.	Amostra	Prof.	pH		M.O	C.O.
			CaCl ₂	Água	g dm ⁻³	
11844	Solo 1	0-20	4,9	ns	18,5	10,75
11845	Solo 2	0-20	4,2	ns	7,67	4,45
Resultados de Análise Física						
Cod. Lab.	Amostra	Prof.	Areia	Argila	Silte	
			g Kg ⁻¹			
11844	Solo 1	0-20	121	737	142	
11845	Solo 2	0-20	843	149	8	

Fonte: Laboratório Sinergia Análises Agronômicas Ltda. Dourados – MS.

As sementes de plantas daninhas forão adquiridas da empresa Agro Cosmos – Sementes (Engenheiro Coelho - SP), sendo as espécies monocotiledôneas; *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers.

A palhada de cana-de-açúcar foi oriunda da variedade CTC 4, que se destaca devido ao seu bom desempenho na colheita mecanizada e resistência ao pisoteio das

máquinas, desenvolvimento vigoroso e fácil despalha.

A coleta da palha ocorreu logo após a colheita de uma área comercial pertencente a um fornecedor da região de Dourados/MS, antes da aplicação de herbicida. Após a coleta, a palhada foi seca em estufa de ar de circulação forçada a 65°C por 72 hrs e cortada em pedaços de aproximadamente 5 cm com a finalidade de promover uma cobertura uniforme da área do solo dos vasos e obter uma melhor representatividade do cenário de colheita mecanizada, em seguida armazenada em sacos plásticos em local fechado sem contato com o ambiente para que não ocorresse contaminação.

3.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial; 2x2x2, sendo duas doses do herbicida imazapic (112 e 147 g i.a ha⁻¹), duas quantidades de palha de cana-de-açúcar (0 e 10 t ha⁻¹) e duas simulações de precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹), com 4 repetições e 4 testemunhas, sendo esse fatorial isolado para as classes texturais (argiloso e arenoso) e para as duas espécies de plantas daninhas; *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers. em dois fluxos de germinação. Resultando em um total de 72 unidades experimentais, que foram constituídas por vasos de polietileno com 26 cm de diâmetro e com capacidade para 5 L de solo.

3.3 Instalação e condução do experimento.

As sementes de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers, foram pesadas em balança de precisão a fim de padronizar a semeadura, sendo adotados os valores de 0,5 gramas de sementes de ambas as espécies com base na porcentagem de germinação das sementes. Em cada uma das 72 unidades experimentais foram semeadas as duas espécies a cerca de 2 cm de profundidade e por volta de 1 cm de cobertura de solo, em espaços distintos; em uma metade do vaso o *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e na outra metade o *S. halepense* (L.) Pers, e foram devidamente identificadas. O fator fluxo de germinação consistiu em dois diferentes momentos de semeadura das plantas daninhas na mesma unidade experimental (vaso). Assim, para cada unidade experimental, foram simulados dois fluxos de germinação. O primeiro fluxo (F1) de germinação a semeadura foi realizada previamente a aplicação do herbicida, no mesmo dia da instalação do experimento (0 DAT), e o segundo fluxo (F2) de germinação as plantas daninhas foram semeadas aos 42 dias após a aplicação do herbicida (42 DAT) (Figura 1).



Figura 1 - Semeadura das duas espécies de plantas daninhas em lados distintos do

Após a sementeira do (F1) foi depositado a camada de palha de cana-de-açúcar nas unidades experimentais que correspondiam ao tratamento com esse fator. A quantidade de palha foi calculada de acordo com o diâmetro do vaso, tomando como referência os níveis de palha 0 t ha^{-1} e 10 t ha^{-1} . Os tratamentos com fator palha receberam 38 gramas de palha, equivalente a 10 t ha^{-1} e os tratamentos 0 t ha^{-1} não recebem a palha.

Posterior a deposição de palha na superfície do solo dos vasos, foi realizada a aplicação do herbicida imazapic em condição de solo seco, nas duas doses em pré-emergência das plantas daninhas (Tabela 1).

Tabela 2 - Doses (D1= dose 1 e D2= dose 2) e suas respectivas concentrações de equivalente ácido por hectare.

Doses	I.A	Grupo Químico	Formulação	% (g.i.a. L ou Kg.h^{-1})	Dose (L ou Kg.h^{-1} p.c.)
D1	imazapic	Imidazolinona	WG	105	0,150
D2	imazapic	Imidazolinona	WG	147	0,210

Para aplicação do herbicida foi utilizado um pulverizador costal de pressão constante, pressurizado por CO_2 , constituído por uma barra de condução e 4 pontas de pulverização do tipo leque, modelo XR11002, da marca Tejeet. O equipamento foi devidamente calibrado em uma pressão de 2 BAR e uma taxa de calda correspondente a 150 l ha^{-1} . Após a determinação das dosagens, a aplicação foi realizada em todas as unidades experimentais, exceto nas testemunhas. A pulverização ocorreu de acordo com as condições climáticas: Umidade relativa do ar era 56,6%, temperatura $26,8^\circ\text{C}$ e velocidade do vento igual a $0,3 \text{ km h}^{-1}$, determinadas por meio de um aparelho termo higrô anemômetro do modelo Thal 300; Luxímetro Digital Portátil. Após a pulverização, foram realizadas as simulações de precipitação de chuva por meio de um simulador com vazão

de 1 L min⁻¹. Foram simulados duas precipitações de acordo com cada tratamento em todas as unidades experimentais; sendo 10 e 30 mm ha⁻¹.

Como a palhada foi um fator isolado de barreira física e interceptação do herbicida, foi realizada cuidadosamente a sua retirada de todas as unidades experimentais após 72 horas da aplicação seguindo a metodologia proposta por Hlxson (2008), para que dessa forma a camada de palha não influenciasse na germinação das sementes.

No segundo fluxo de germinação não foi mais realizado a pulverização do herbicida e nem a deposição da palhada, apenas realizamos a semeadura das duas espécies de plantas daninhas em cada unidade experimental aos 42 DAT, para assim conduzir as avaliações com base na única aplicação do herbicida aos 0 DAT, a fim de identificar o efeito residual. Durante todo o experimento, tanto no primeiro quanto no segundo fluxo, mantivemos uma irrigação de manutenção de 10 mm com o auxílio do simulador de chuva em dias intercalados, afim de permitir que as plantas daninhas que não foram controladas pela aplicação pré-emergente tivessem sua demanda hídrica mantida.

3.4 Variáveis Analisadas

3.4.1 Eficácia de Controle

O controle das plantas daninhas foi realizado aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 DAE (dias após emergência) do primeiro e segundo fluxo de germinação. As avaliações foram visuais com base em uma escala percentual de notas proposta pela Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974), e também pela contagem das plantas de cada espécie. Para a determinação das notas e seus respectivos percentuais de eficácia utilizamos sempre como parâmetro as unidades experimentais das testemunhas, na qual eram nota 6, ou seja correspondente à um tipo de controle (Nenhum/Pobre) e seguíamos as avaliações em todas unidades experimentais, que podiam chegar até a nota 1, correspondente à um tipo de controle (Excelente).

3.4.2 Matéria seca residual da parte aérea

Aos 42 DAE tanto no primeiro quanto no segundo fluxo de infestação, após a última avaliação de eficácia de controle, as plantas remanescentes de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers de todas as unidades experimentais, inclusive das testemunhas foram cortadas rente ao colo, descartando o sistema radicular, posteriormente acondicionadas em sacos de papel e devidamente identificadas com as

informações de cada unidade experimental. Em seguida os sacos foram colocados em uma estufa de circulação forçada de ar à 65°C, por 72 horas. Após este período, as plantas foram pesadas em balança analítica, a fim de se mensurar os valores da massa de matéria seca residual da parte aérea dos tratamentos.

3.4.3 Análise estatística

Os dados de eficácia de controle obtidos para cada um dos tratamentos foram submetidos à análise de *Deviance* pelo teste F. O teste tukey foi aplicado para a comparação dos níveis dos tratamentos.

Para a análise dos dados de massa seca foi considerado um fatorial triplo (Dose, Palha e Precipitação) com tratamento adicional (Testemunha), e devido à alta variabilidade realizou-se a transformação “raiz quadrada” nas variáveis *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers, onde os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância, e quando significativos foram comparados pelo teste de ‘Tukey’ a 5% de significância. Foram elaborados gráficos de barras, com o auxílio do programa computacional R.

4. RESULTADOS

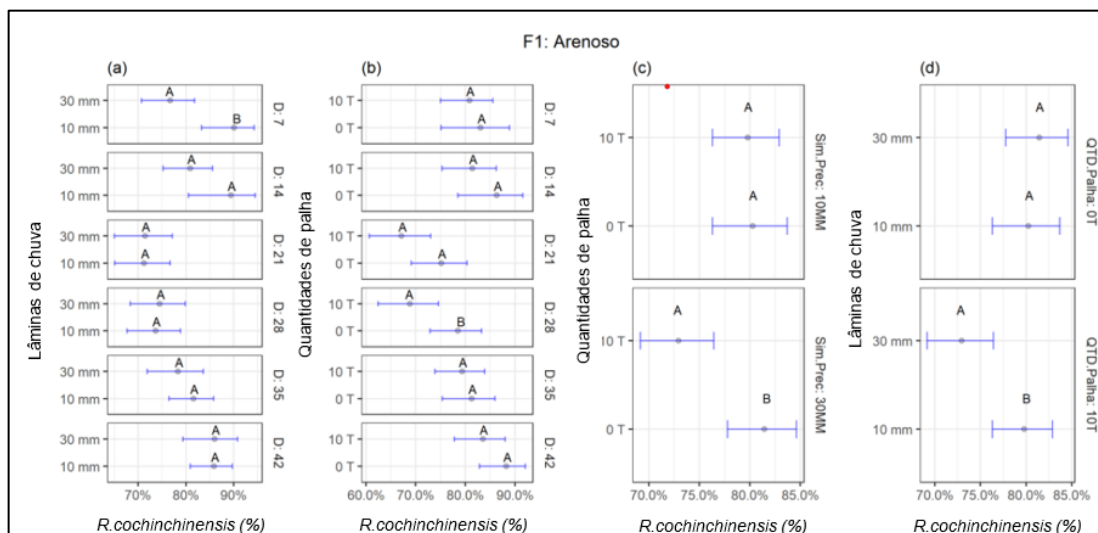
Para a variável espécie de planta daninha; *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton o teste F sobre a análise da variância demonstrou a significância ($P < 0,05$) para diferentes interações entre; doses do herbicida (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹), palhada (0 e 10tha⁻¹) e precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹), nas duas classes de solo (arenoso e argiloso) e nos dois fluxos de germinação (F1 e F2) (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados do teste F da análise de Deviance para espécie *Rottboellia cochinchinensis* para a variável percentual de controle visual.

Fonte Variação	GL	Arenoso (F1)	Argiloso (F1)	Arenoso (F2)	Argiloso (F2)
Dose	1	8,402 **	0,057	2,835 ns	3,13
QTD.Palha	1	0,760	55,849 **	10,702 **	34,482 **
Sim.Prec	1	1,366	28,249 **	4,061 **	23,701 **
D	5	4,713 **	4,505 **	23,56 **	0,383
Dose: QTD.Palha	1	2,463	16,624 **	0,509	1,113
Dose: Sim.Prec	1	0,245	10,206 **	7,528 **	42,937 **
QTD.Palha. Sim.Prec	1	19,485 **	1,300	43,565 **	5,628 **
Dose:D	5	0,768	0,267	0,894	0,105
QTD.Palha:D	5	2,315 **	0,681	0,454	0,167
Sim.Prec:D	5	2,444 **	7,416 **	0,15	0,116
Dose:QTD.Palha:Sim.Prec	1	3,470	0,282	0,319	11,152 **
Dose: QTD.Palha:D	5	0,172	8,008 **	0,782	0,222
Dose:Sim.Prec:D	5	0,577	0,593	0,231	0,151
QTD.Palha:Sim.Prec:D	5	0,375	1,997	0,196	0,058
Dose:QTD.Palha:Sim.Prec:D	5	0,137	0,156	0,066	0,102

GL – Graus de liberdade; (F1): Primeiro fluxo de infestação, (F2): Segundo fluxo de infestação; **Significativo à 5% de probabilidade.

Em relação a eficácia de controle em pré-ermeção do herbicida imazapic em solo de textura arenosa na espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton quando avaliado a interação entre os dias após emergência e as precipitações, notou-se uma diferença com maior percentual de controle quando simulado a precipitação de 10 mm aos 7 DAE, esse maior percentual de controle permaneceu aos 14 DAE, porém não mais significativo. Ao longo das avaliações até os 42 DAE não houve mais diferença significativa e o percentual de controle se mantiveram próximos em ambos os volumes de precipitação simulados (10 e 30 mm ha⁻¹), chegando acima de 80% ao final do primeiro fluxo (Figura 2 (a)).



**Interações de DAE (dias após emergência) x Precipitação (a), DAE x Palha (b) e Precipitação x Palha (c e d). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 2 - Percentual de controle de *Rottboellia cochinchinensis* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo arenoso.

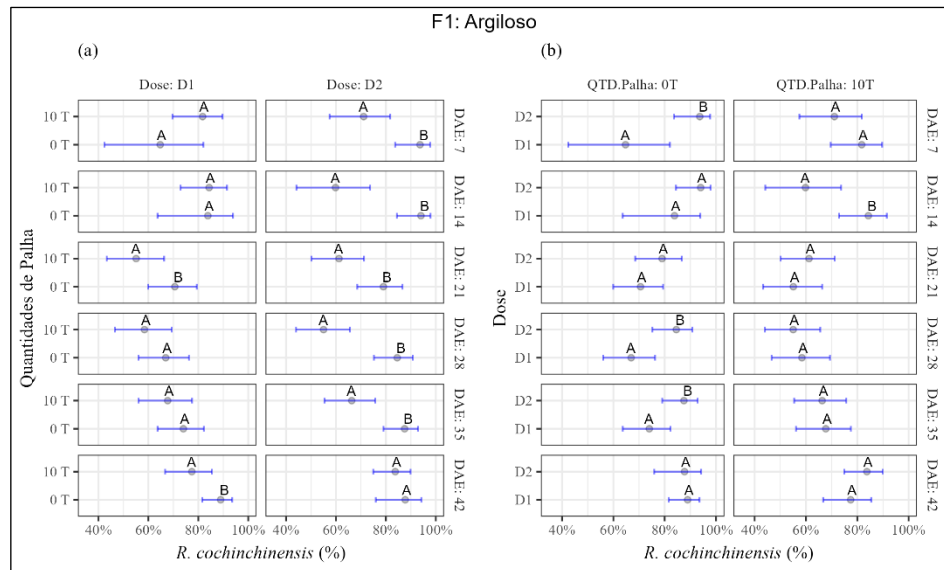
Quando avaliado o percentual de controle com relação a interação da palha (0 e 10 t ha⁻¹) ao longo dos dias após a emergência, a diferença significativa ocorreu apenas aos 28 DAE, apresentando um controle acima de 80% quando a aplicação foi direta no solo, e abaixo de 70% quando a aplicação foi sobre a palhada (Figura 2 (b)). Em todas as demais avaliações do primeiro fluxo não foi observado diferença significativa, ou seja; aplicação do imazapic direto no solo ou sobre a palhada obtiveram o mesmo percentual de controle estatisticamente (Figura 2 (b)).

Ainda na Figura 2 (gráfico (c)), foi constatado interações entre os volumes de precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹) e os tratamentos com palha (0 e 10 t ha⁻¹), quando analisado o volume de 10 mm não houve diferença significativa no percentual de controle de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton quando comparado a aplicação direta no solo ou sobre 10 t de palha, ambas ficaram em torno de 80% de controle. Quando analisado o volume de 30 mm, é possível observar uma diferença significativa, com um maior percentual de controle quando a aplicação ocorreu no solo descoberto, chegando a um controle acima de 80%, superior ao controle quando a aplicação ocorreu sobre 10 t ha⁻¹ de palha que ficou abaixo de 75%.

Também na Figura 2 - gráfico (d) onde analisamos a presença e ausência da palha com as diferentes simulações de precipitação, quando tivemos 0 t de palha não ocorreu diferença significativa tanto na simulação de 10 mm, quanto com 30 mm. Porém, apresentou diferença significativa quando comparado 10 t de palha e precipitação de 10 mm que apresentou um maior percentual de controle em torno de 80%, superior ao

apresentado na precipitação de 30 mm que obteve um percentual de controle abaixo de 75%.

Com relação a eficácia de controle em pré-ermeção do herbicida imazapic na espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton em solo de textura argilosa, tivemos interações significativas entre a palhada da cana-de-açúcar (0 e 10 t ha⁻¹) e as duas doses utilizadas (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹) em grande parte dos períodos de avaliação (Figura 3 (a)).



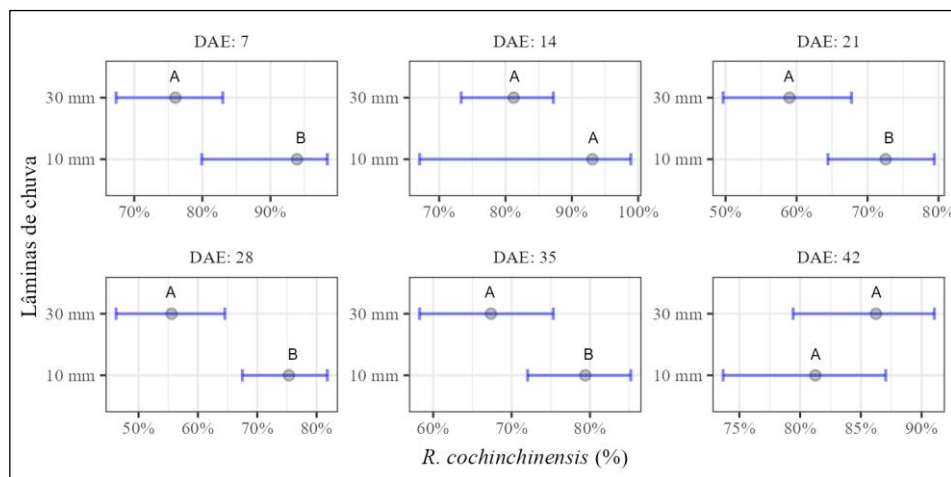
**Interações dos fatores Palha x (Dose + DAE; dias após emergência) (a), e Dose (DAE + Palha) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 3 - Percentual de controle de *Rottboellia cochinchinensis* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.

Aos 7, 14, 28 e 35 DAE a D1 não se diferenciou estatisticamente, porém, na D2 quando foi aplicado no solo descoberto se diferenciou significativamente em relação ao solo com palha em superfície, apresentando um controle acima de 90% aos 7 e 14 DAE, e acima de 80% aos 28 e 35 DAE. Aos 21 DAE tanto na D1, quanto na D2 observamos diferenças estatísticas, entretanto, mantendo o comportamento das avaliações anteriores, onde o maior percentual foi demonstrado no solo sem a presença da palhada, com uma eficácia de controle de 70% e 80% respectivamente. Já aos 42 DAE tivemos uma diferença significativa apenas na D1, porém, seguindo os resultados anteriores, onde a maior eficácia de controle foi observada quando a aplicação ocorreu sem a palhada, chegando em torno de 90% de controle, e os menores percentuais na D1 foram aos 21 DAE e na D2 aos 28 DAE, ambos aplicados sobre a palhada, ficando com uma eficácia abaixo de 60% (Figura 3 (a)).

Na Figura 3, gráfico (b), pode-se observar os dados referentes as interações entre as duas doses (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹) e o fator palhada (0 e 10 t ha⁻¹). Aos 7, 28 e 35 DAE a D2 se diferenciou estatisticamente com relação a D1 quando aplicado no solo descoberto, sem a palha da cana-de-açúcar em superfície, chegando a um controle acima de 90%. Ainda na condição sem palha aos 14, 21 e 42 DAE não se observa diferença significativa entre as doses, entretanto, a D2 permaneceu apresentando uma leve superioridade no controle. Quando analisado as interações da D1 e D2 na condição de aplicação sobre a palhada da cana-de-açúcar (10 t ha⁻¹), podemos observar uma diferença significativa apenas as 14 DAE, onde nota-se uma superioridade de controle da D1 com relação a D2, chegando a uma eficácia acima de 80%, porém, nas demais avaliações não se observou mais diferenças estatísticas e o controle entre ambas as doses ficou muito próximo.

Em relação a figura 4, onde temos os efeitos das simulações de precipitação (10 e 30mm ha⁻¹), sobre o controle pré-emergente do herbicida imazapic no *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton no primeiro fluxo de semeadura em solo argiloso, podemos observar uma diferença significativa aos 7, 21, 28 e 35 DAE, onde a maior eficácia de controle foi sempre quando simulado os 10 mm de precipitação, chegando próximo aos 100% de controle aos 7 DAE e cerca de 90% aos 35 DAE.



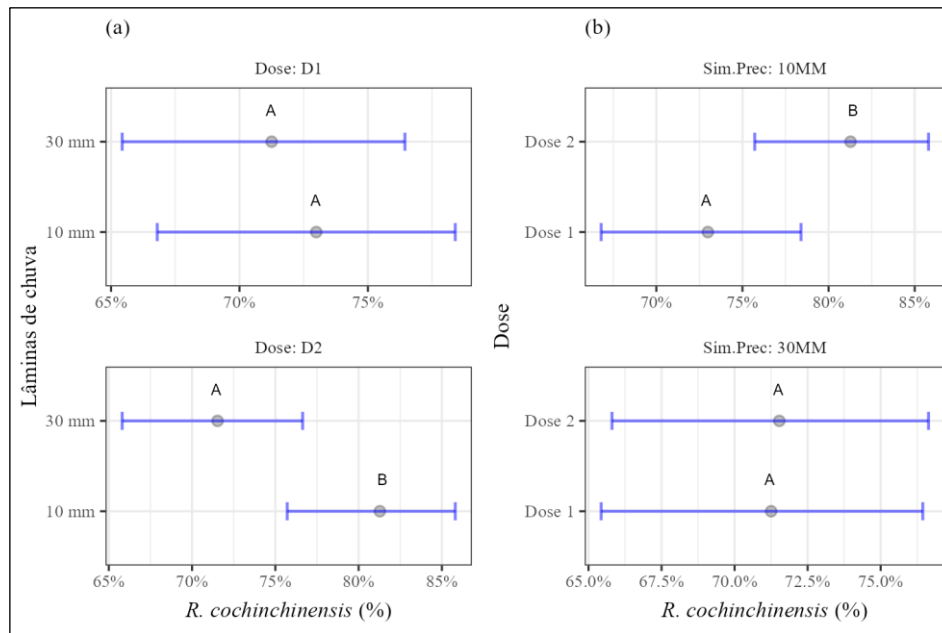
**Interações de Precipitação dentro de cada DAE (dias após emergência). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 4 - Percentual de controle de *Rottboellia cochinchinensis* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.

Aos 14 e 42 DAE não nota-se diferença significativa entre os volumes de precipitação de 10 e 30mm ha⁻¹, com controle entre 80 e 85% respectivamente.

Na figura 5 (a), quando observamos as simulações de precipitação (10 e 30

mm ha⁻¹) interagindo em cada dose (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹) em solo argiloso, nota-se uma diferença significativa apenas na D2, onde obteve o maior percentual de controle do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton quando simulado 10 mm, chegando acima de 80% de eficácia. Embora na D1 não observa-se diferença significativa, também é possível verificar uma leve superioridade na eficácia de controle quando simulado 10 mm.



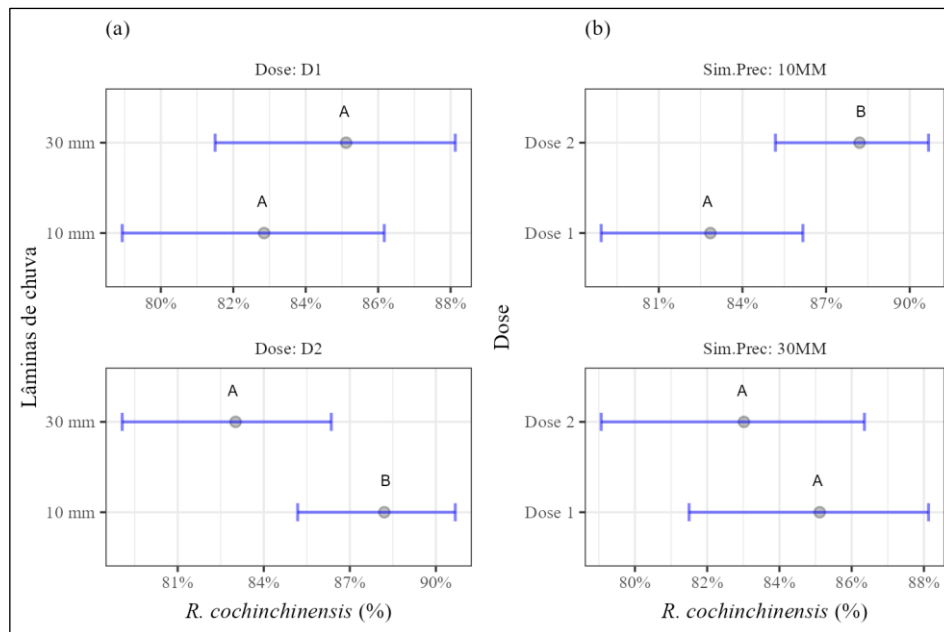
**Interações da Precipitação dentro de cada Dose (a) e Dose dentro de cada Precipitação (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 5 - Percentual de controle de *Rottboellia cochinchinensis* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.

Em relação a figura 5 (b), podemos observar as duas doses (D1e D2), interagindo em cada precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹), e novamente o que foi supracitado na figura 5 (a), se repete, ou seja; quando tivemos a maior dose (D2) com a menor simulação de precipitação (10mm), ocorreu a diferença significativa e o maior percentual de controle do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton, chegando acima de 80%, classificado como muito bom. Já analisando as duas doses com a simulação de precipitação de 30 mm, não apresentou diferença significativa e obtiveram um menor percentual de controle em ambas as doses, ficando abaixo de 72,5% de eficácia, classificado como controle suficiente.

Na Figura 6 (a) e (b), tivemos as mesmas interações da Figura 5 (a) e (b), para o controle do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton, porém, no fluxo 2 e em solo de textura arenosa. Embora, os dados sejam em outra textura de solo e em um período de avaliação

que já estávamos a cerca de 42 a 84 dias após a aplicação do herbicida, os resultados foram muito semelhantes. Quando observamos as interações das precipitações dentro de cada dose (Figura 6 (a)), apenas a D2 apresentou diferença significativa, sendo o maior percentual de controle quando simulado os 10 mm, acima de 87% de controle, em torno de 7% acima do que foi visto na mesma interação no solo argiloso (Figura 5 (a)).



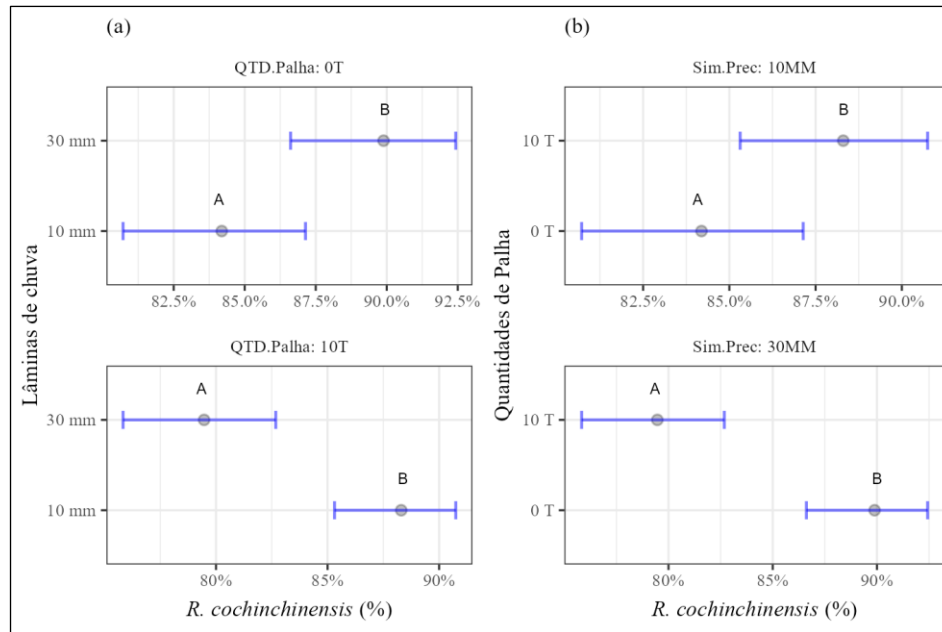
**Interações da Precipitação dentro de cada Dose (a) e Dose dentro de cada Precipitação (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 6 - Percentual de controle de *Rottboellia cochinchinensis* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.

E quando observamos as doses interagindo dentro de cada simulação de precipitação (Figura 6 (b)), também tivemos resultados semelhantes ao que foi visto na figura 5 (b). Notou-se diferença significativa apenas com relação as doses na simulação de 10 mm, onde a D2 apresentou controle superior a D1, com uma eficácia acima de 87% de controle, mostrando uma eficácia superior também quando comparamos com a mesma interação no fluxo 1 com solo de textura argilosa (Figura 5 (b)), ou seja o controle pré-emergente do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton em solo arenoso, no fluxo 2; entre 42 a 84 dias após a aplicação, manteve residual e eficácia, estando em uma classificação de controle classificado como muito bom. As doses não se diferenciaram estatisticamente quando simulado a precipitação de 30mm no fluxo 2 em solo arenoso, porém, apresentaram controle acima de 82%, sendo superior ao que foi observado na mesma interação no fluxo 1 em solo argiloso (Figura 5 (b)).

Na figura 7, observa-se as simulações de precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹),

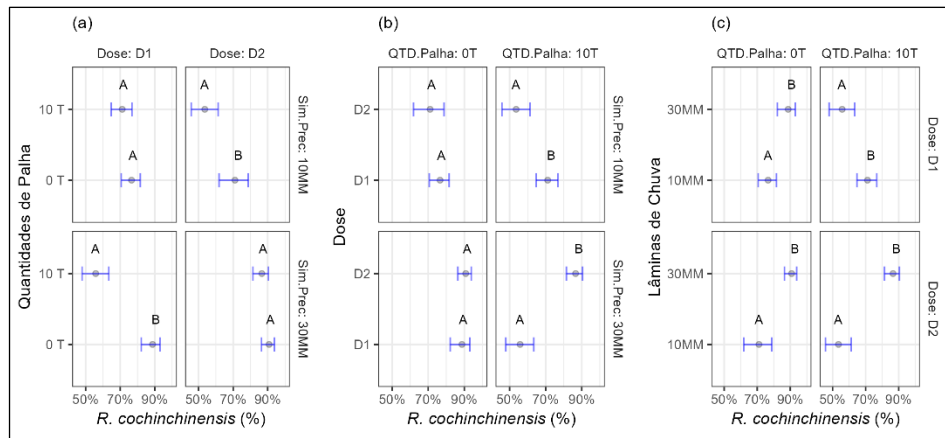
interagindo com os dois fatores da palhada da cana-de-açúcar (0 e 10 t ha^{-1}), notou-se uma diferença significativa em ambas as quantidades de palha, com resultados distintos, porém, convergentes com os resultados já observados para o controle de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton em solo arenoso no fluxo 1 (Figura 2 gráfico (c)).



**Interações da Precipitação dentro de cada fator Palha (a) e a Palha dentro de cada Precipitação (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 7 - Percentual de controle de *Rottboellia cochinchinensis* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.

A simulação de precipitação de 30 mm apresentou controle superior, cerca de 90% quando a aplicação ocorreu na ausência da palhada. Porém, quando observamos as precipitações com a presença da palhada, a eficácia superior foi com a simulação de 10 mm, com controle acima de 85% (Figura 7 (a)). Ao analisar as duas quantidades de palha interagindo sobre os dois volumes de precipitação (Figura 7 (b)), a quantidade de 10 ton de palhada se diferenciou estatisticamente na eficácia de controle quando simulado 10 mm de precipitação, com controle acima de 87,5%. Ainda na Figura 7 (b), nota-se uma diferença significativa no fator palhada com a simulação de precipitação de 30 mm, ocorrendo um maior percentual de controle quando a aplicação ocorreu com o solo descoberto, com eficácia de controle de 90%, superior aos 79% observados no tratamento com palha.



**Interações de Palha x (Precipitação + Dose) (a), Dose (Precipitação + Palha) (b) e Precipitação (Dose + Palha) (c). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 8 - Percentual de controle de *Rottboellia cochinchinensis* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo argiloso.

Para o controle pré-emergente do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton em solo argiloso no segundo fluxo de semeadura, observou-se diferenças significativas e interações em três fatores; palhada da cana-de-açúcar (0 e 10 t ha⁻¹), simulações de precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹) e doses (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹) (Figura 8). Na figura 8 gráfico (a), nota-se que não ocorreu diferença significativa independente do fator palhada, na precipitação de 10 mm, quando aplicado a D1. Entretanto, quando aplicado a D2, na mesma precipitação, a aplicação com o solo descoberto, sem palhada, se diferenciou estatisticamente, apresentando uma eficácia de controle acima de 70%, superior aos cerca de 55% observados quando a aplicação ocorreu sobre a palhada.

Ainda com relação a figura 8 gráfico (a), quando a D1 foi aplicada com uma simulação de precipitação de 30mm, e na ausência da palhada na superfície do solo, apresentou diferença significativa em relação a quando aplicada sobre a palha, apresentando uma eficácia de controle próximo aos 90%, nota-se com isso que mesmo em uma dosagem menor e não recomendada em um solo com teor de argila acima de 50%, o herbicida imazapic aplicado com o solo descoberto apresentou controle considerado muito bom. Observou-se também que a D2 quando simulado a precipitação de 30 mm, não se diferenciou estatisticamente com relação ao fator palhada, entretanto também apresentou controle considerado muito bom, próximo a 90%.

A aplicação das doses do herbicida imazapic não se diferenciaram estatisticamente quando ocorreram no solo descoberto, em ambas as simulações de precipitação; 10 e 30 mm ha⁻¹, chegando a uma eficácia de controle abaixo de 80% e próximo a 90% respectivamente. Porém, as doses apresentaram diferença significativa quando a aplicação ocorreu com a palhada em superfície, sendo possível observar quando ocorreu a precipitação de 10 mm a D1 apresentou controle superior chegando a cerca de

70% de eficácia, já a D2 ficou com um controle considerado regular em torno de 55%. Resultado diferente do que se esperava, pelo fato da D2 ter uma maior quantidade de ingrediente ativo sobre a palhada, isso poderia refletir em uma maior eficácia de controle. Essa melhor performance esperada da D2 no controle pré-emergente em um solo argiloso com palha em superfície, foi vista quando a precipitação simulada foi de 30 mm, na qual apresentou eficácia próxima dos 90%, resultado superior a D1 que obteve menos que 55% de controle (Figura 8 (b)).

Quando observado ainda na Figura 8 gráfico (c), as interações das simulações de precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹) com os fatores de palha (0 e 10 t ha⁻¹) e doses (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹), nota-se que, quando a aplicação ocorreu em solo descoberto houve diferença significativa com a simulação de 30 mm, apresentando controle superior em ambas as dosagens, na D1 chegando próximo aos 90%, e na D2 um pouco acima dos 90% de controle, classificadas respectivamente como controles muito bom e excelente respectivamente. As diferenças estatísticas também foram observadas quando a aplicação ocorreu sobre a camada de palha, sendo que na D1 a precipitação de 10 mm se mostrou superior com controle próximo a 70%, e na D2 a precipitação de 30mm repetiu o melhor desempenho visto no solo descoberto, se destacando com eficácia superior a 80% (Figura 8 (c)).

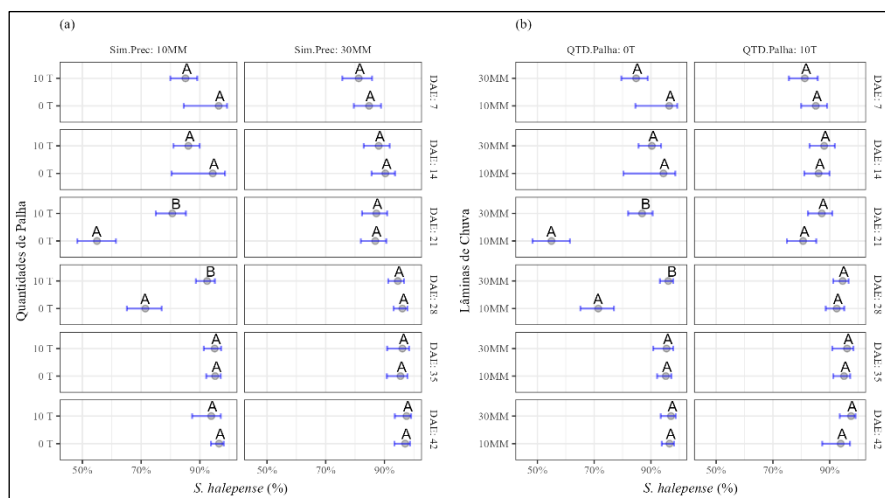
O teste F sobre a análise da variância demonstrou a significância (P<0,05) para diferentes interações entre; doses do herbicida (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹), palhada (0 e 10 t ha⁻¹) e precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹). Para a variável espécie de planta daninha; *Sorghum halepense* (L.) Pers, nas duas classes de solo (arenoso e argiloso) e nos dois fluxos de germinação (F1 e F2) (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados do teste F da análise de Deviance para espécie *Sorghum halepense* para a variável percentual de controle visual.

Fonte Variação	GL	Arenoso (F1)	Argiloso (F1)	Arenoso (F2)	Argiloso (F2)
Dose	1	6,069 **	8,294 **	5,49 **	62,775 **
QTD.Palha	1	27,407 **	40,519 **	0,744 ns	43,652 **
Sim.Prec	1	56,732 **	4,17 **	2,236 ns	4,191 **
D	5	30,616 **	20,698 **	83,787 **	1,509 ns
Dose:QTD.Palha	1	5,155 **	8,393 **	1,247 ns	0,659 ns
Dose:Sim.Prec	1	17,913 **	5,825 **	8,913 **	0,88 ns
QTD.Palha:Sim.Prec	1	54,445 **	16,407 **	2,274 ns	10,696 **
Dose:D	5	2,51 **	4,875 **	1,031 ns	0,97 ns
QTD.Palha:D	5	3,978 **	1,4 ns	4,125 **	0,66 ns
Sim.Prec:D	5	6,012 **	7,658 **	3,958 **	0,453 ns
Dose:QTD.Palha:Sim.Prec	1	0 ns	0,047 ns	2,912 ns	3,639 ns
Dose:QTD.Palha:D	5	0,627 ns	2,681 **	1,302 ns	0,247 ns
Dose:Sim.Prec:D	5	2,657 **	1,364 ns	0,487 ns	0,446 ns
QTD.Palha:Sim.Prec:D	5	5,138 **	0,847 ns	1,485 ns	0,107 ns
Dose:QTD.Palha:Sim.Prec:D	5	0,465 ns	0,671 ns	2,637 **	0,126 ns

GL – Graus de liberdade; (F1): Primeiro fluxo de infestação, (F2): Segundo fluxo de infestação; **Significativo à 5% de probabilidade.

Em relação ao controle pré-emergente do herbicida imazapic na espécie do *S. halepense* (L.) Pers, observando as interações da palhada da cana-de-açúcar (0 e 10 t ha⁻¹) com as precipitações (10 e 30 mm ha⁻¹) e os dias após emergência (DAE), apenas em duas avaliações do primeiro fluxo de semeadura notou-se diferença significativa, ambas na simulação de precipitação de 10 mm, na simulação de 30 mm não houve diferença significativa (Figura 9 (a)). Com a precipitação de 10 mm, aos 21 e 28 DAE os tratamentos com a palhada em superfície apresentaram controles superiores ao solo descoberto, com eficácia de controle de 80% e 90% respectivamente.

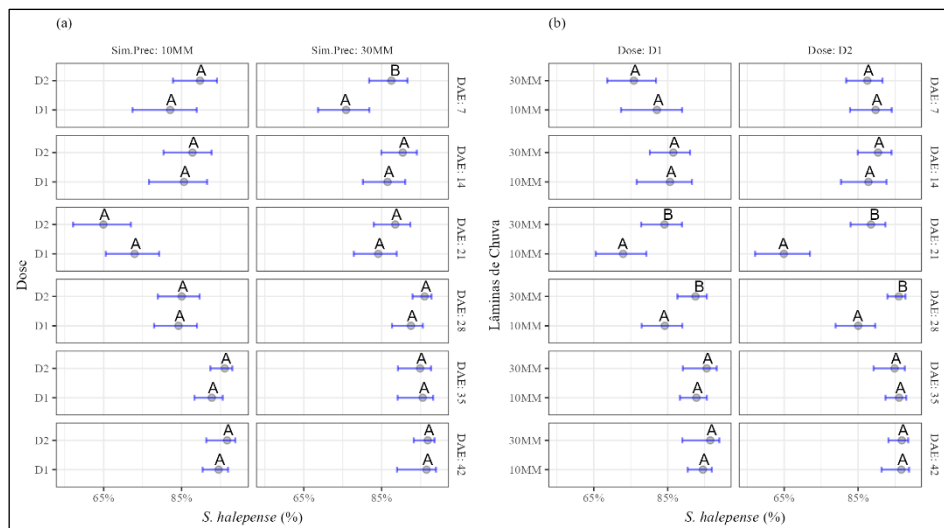


**Interações de Palha x (Precipitação + DAE; dias após emergência) (a) e Precipitação (DAE + Palha) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 9 - Percentual de controle de *Sorghum halepense* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo arenoso.

Quando observado a interação das simulações de precipitação com a palhada e os dias após emergência, ocorreu diferença significativa nos mesmos períodos de DAE supracitados e apenas na condição de ausência de palha, onde o volume de precipitação simulado de 30 mm apresentou eficácia superior, chegando em cerca de 90% de controle aos 21 DAE e próximo aos 100% aos 28 DAE (Figura 9 (b)).

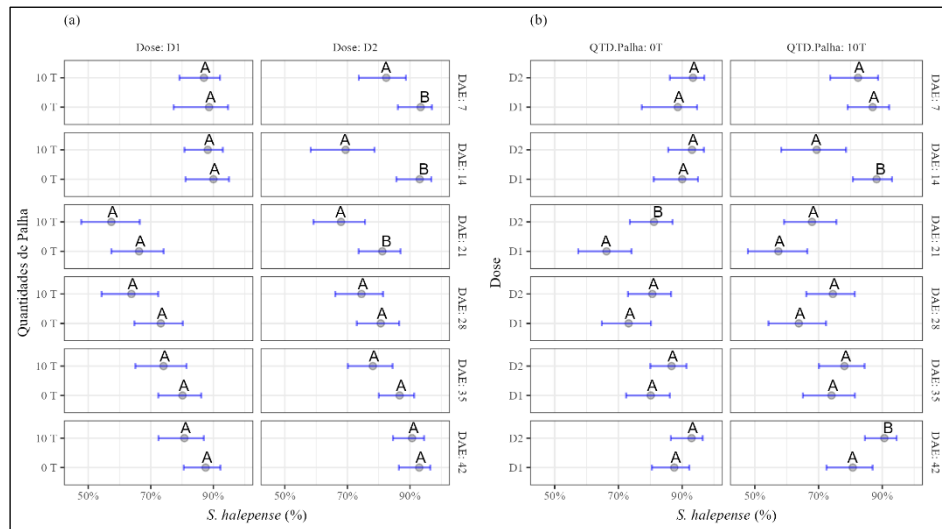
As interações das doses (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹) com as precipitações (10 e 30 mm ha⁻¹) e os dias após emergência (DAE), para o controle pré-emergente do *S. halepense* (L.) Pers no fluxo 1 de semeadura não apresentaram diferença significativa para a D1 e D2 quando a simulação de precipitação foi de 10 mm, chegando ambas as doses a uma eficácia de controle em torno de 90 % aos 42 DAE. Já quando a simulação de precipitação foi de 30 mm, apenas aos 7 DAE nota-se uma diferença significativa, na qual a D2 apresentou uma eficácia de controle superior a D1, acima de 85%. Em seguida o controle das doses se equivaleram, chegando aos 42 DAE com uma performance de controle próxima aos 90%, semelhante ao que foi observado na simulação de 10 mm (Figura 10 (a)).



**Interações de Dose x (Precipitação + DAE; dias após emergência) (a) e Precipitação (DAE + Dose) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 10 - Percentual de controle de *Sorghum halepense* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo arenoso.

Na figura 10 (b), podemos observar a interação das simulações de precipitação, com as doses e os dias após emergência. Tanto para D1, quanto para D2 notou-se uma diferença significativa apenas em dois períodos de avaliação do primeiro fluxo, na qual a simulação de 30 mm resultou em um maior percentual de controle, atingindo com ambas as doses cerca de 85% aos 21 DAE e acima de 90% aos 28 DAE.



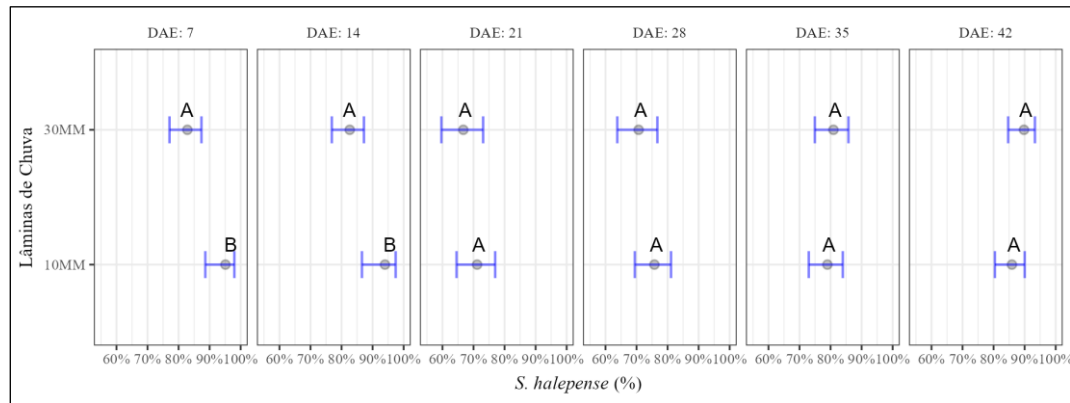
**Interações de Palha x (Dose + DAE;dias após emergência) (a) e Dose (DAE + Palha) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 11 - Percentual de controle de *Sorghum halepense* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.

Em relação ao controle pré-emergente do herbicida imazapic no *S. halepense* (L.) Pers no primeiro fluxo de semeadura em um solo argiloso, é possível observar as interações da palhada da cana-de-açúcar (0 e 10 t ha⁻¹) com as doses (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹) e os dias após emergência (Figura 11 (a)). Nota-se que não ocorreu diferenças estatísticas para a D1 independente do fator palhada ao longo das avaliações no primeiro fluxo de semeadura, chegando aos 42 DAE com percentuais de controle classificados como muito bom, tanto nos tratamentos com a palha em superfície, quanto com o solo descoberto. Já para a D2 notou-se diferenças significativas aos 7, 14 e 21 DAE, de forma que os percentuais de controle foram superiores quando a aplicação do herbicida imazapic ocorreu no solo descoberto, ou seja na ausência da palhada em superfície, atingindo eficácia acima de 90% aos 7 e 14 DAE e acima de 80% aos 21 DAE, ante 80% aos 7 DAE e abaixo de 70% aos 14 e 21 DAE quando com palha em superfície nos mesmos períodos (Figura 11 (b)). Ao final das avaliações do primeiro fluxo, com 42 DAE, foi observado tanto para D1, quanto para D2, que os percentuais de controle do herbicida imazapic se equivaleram, sem diferenças estatísticas independente do fator palhada.

Levando em consideração as interações das precipitações simuladas (10 e 30 mm ha⁻¹) ao longo dos dias após a emergência no primeiro fluxo de semeadura do *S. halepense* (L.) Pers, é possível observar uma diferença significativa apenas aos 7 e 14 DAE, de forma que quando simulada a precipitação de 10 mm o percentual de controle

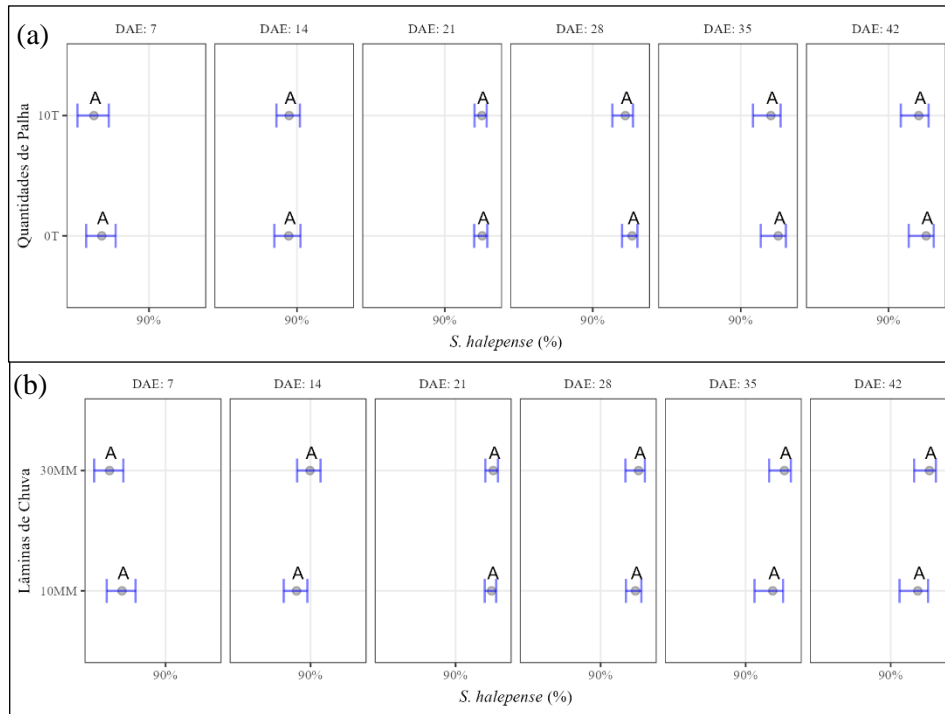
se mostrou superior no solo argiloso, ficando com eficácia acima de 90% em ambos os períodos. Entretanto, ao longo das avaliações do primeiro fluxo, ambos os volumes de precipitação não apresentaram mais diferenças significativas, se equivalendo no percentual de controle (Figura 12).



**Interações de Precipitação x dias após emergência (DAE). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 12 - Percentual de controle de *Sorghum halepense* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 1 de semeadura para o solo argiloso.

Quando observado o controle pré-emergente do *S. halepense* (L.) Pers através do herbicida imazapic em um solo arenoso, no segundo fluxo de semeadura, é possível observar que as interações do fator palhada da cana-de-açúcar (0 e 10 t ha^{-1}) ao longo dos dias após emergência (Figura 13 (a)), e do fator precipitação (10 e 30 mm ha^{-1}) ao longo dos dias após emergência (Figura 13 (b)). Observa-se nos resultados do segundo fluxo de infestação, ou seja; em cerca de 42 a 84 dias após a aplicação do herbicida, não apresentou diferenças estatísticas, o percentual de controle se equivaleu tanto com solo descoberto, quanto com a palha em superfície, como também com as precipitações de 10 e 30 mm ha^{-1} ao longo de todos DAE. Atingindo aos 42 DAE do segundo fluxo uma eficácia acima de 90% de controle, o que é classificado como excelente.

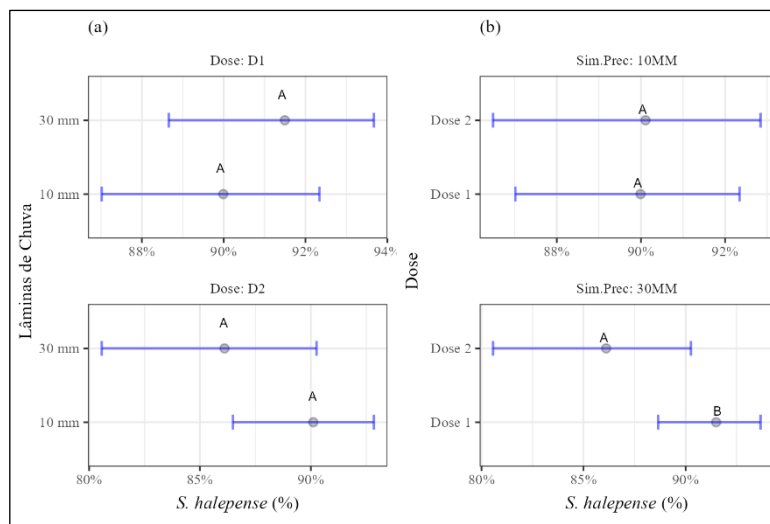


**Interações de Palha x dias após emergência (DAE) (a) e Precipitação x dias após emergência (DAE) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 13 - Percentual de controle de *Sorghum halepense* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.

A análise dos dados das interações das simulações de precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹) com as doses (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹), não indicam diferença significativa para o controle pré-emergente do *S. halepense* (L.) Pers em solo arenoso através do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura, com uma leve superioridade de controle da D1 quando o volume simulado foi de 30 mm, e o inverso ocorreu na D2 com o volume simulado foi de 10 mm, porém, ambas demonstraram um controle classificado como muito bom, acima de 85% (Figura 14 (a)).

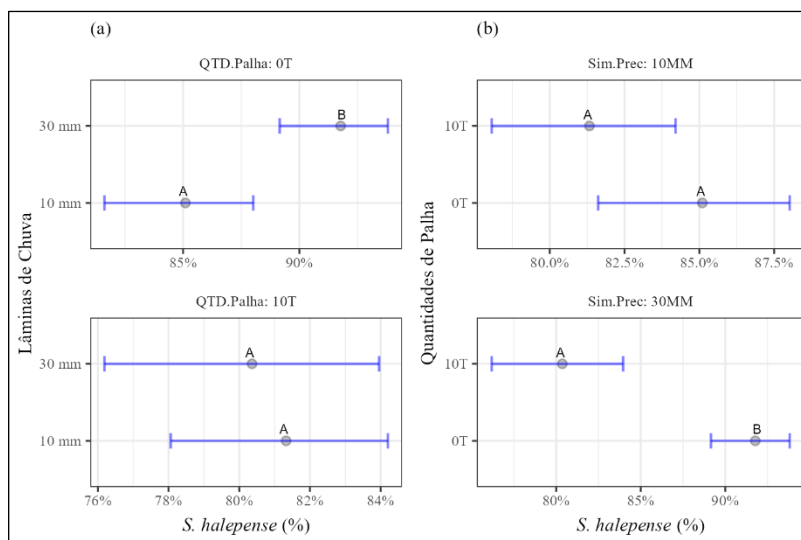
Com relação a Figura 14 (b), onde é possível observar as interações das doses com os volumes de precipitação simulados, quando o volume foi de 10 mm não ocorreu diferença significativa entre as doses, chegando a um percentual de controle próximo a 90%. Quando a simulação de precipitação foi de 30 mm, as doses se diferenciaram estatisticamente, na qual a D1 apresentou eficácia de controle superior, chegando acima de 90 %, e a D2 com uma eficácia de controle inferior, porém, ainda é classificado como muito bom, acima de 85%.



**Interações de Precipitação x (Dose) (a) e Dose x (Precipitação) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 14 - Percentual de controle de *Sorghum halepense* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo arenoso.

Com os resultados de controle pré-emergente do *S. halepense* (L.) Pers através do herbicida imazapic em solo de textura argilosa no segundo fluxo de semeadura, podemos observar interações entre os volumes simulados de precipitação (10 e 30 mm ha^{-1}) com as quantidades de palhada da cana-de-açúcar (0 e 10 $t ha^{-1}$), onde nota-se uma diferença significativa quando a aplicação ocorreu em solo descoberto e simulado uma precipitação de 30 mm, apresentando controle classificado como excelente, superior a 90% (Figura 15 (a)). Quando a aplicação ocorreu sobre a palhada, não ocorreu diferença significativa e os volumes simulados de precipitação se equivaleram nos controles, ficando acima de 80%, sendo controles classificados como muito bom.



**Interações de Precipitação x (Palha) (a) e Palha x (Precipitação) (b). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 15 - Percentual de controle de *Sorghum halepense* através da aplicação do herbicida imazapic no fluxo 2 de semeadura para o solo argiloso.

Quando observamos as interações do fator palhada com os volumes de precipitação simulados, tanto quando a aplicação ocorreu em solo descoberto, quanto com a palha em superfície, não houve diferença significativa na precipitação de 10 mm. Entretanto, quando analisado o fator palhada na simulação de 30 mm, observa-se uma diferença significativa, onde a aplicação em solo descoberto obteve eficácia de controle superior, próximo a 95%, ante 80% quando a aplicação ocorreu com palha em superfície (Figura 15 (b)).

O teste F sobre a análise da variância demonstrou a significância ($P < 0,05$) da interação de um fatorial triplo entre; doses do herbicida (D1 :105 g i.a ha⁻¹ e D2: 147 g i.a ha⁻¹), palhada (0 e 10 t ha⁻¹) e precipitação (10 e 30 mm ha⁻¹). Devido à alta variabilidade realizou-se a transformação “raiz quadrado” para as variáveis espécies de plantas daninhas; *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers, comparando-as ao tratamento testemunha (sem aplicação de herbicida) (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultados da análise de variância para as espécies *Rottboellia cochinchinensis* e *Sorghum halepense* para a variável de massa seca residual (%) aos 42 DAE (F1) e 42 DAE (F2) em solo arenoso e argiloso.

Variável	Fonte variação	GL	Arenoso (F1)	Argiloso (F1)	Arenoso (F2)	Argiloso (F2)
Camalote	Dose	1	0,883	0,771	0,333	1,039
	Palha	1	0,888	4,454 **	4,801 **	5,746 **
	Prec.	1	0,104	3,145	0,339	3,016
	Dose: Palha	1	0,999	0,734	1,309	0,199
	Dose: Prec.	1	0,347	0,095	1,186	0,007
	Palha: Prec.	1	1,923	0,065	1,845	0,023
	Dose: Palha: Prec.	1	0,769	0,040	2,268	3,073
	Ad vs fatorial	1	140,869 **	36,529 **	141,445 **	128,065 **
Massambará	Dose	1	0,309	2,635	0,051	8,337 **
	Palha	1	0,188	7,999 **	0,399	5,606 **
	Prec.	1	3,008	6,474 **	0,005	2,286
	Dose: Palha	1	0,198	0,039	3,171	0,000
	Dose: Prec.	1	0,822	0,033	0,001	0,000
	Palha: Prec.	1	0,275	3,928	0,025	0,078
	Dose: Palha: Prec.	1	00,906	0,084	0,006	2,247
	Ad vs fatorial	1	327,939 **	196,205 **	780,522 **	495,135 **

GL – Graus de liberdade; (F1): Primeiro fluxo de infestação, (F2): Segundo fluxo de infestação; **Significativo à 5% de probabilidade.

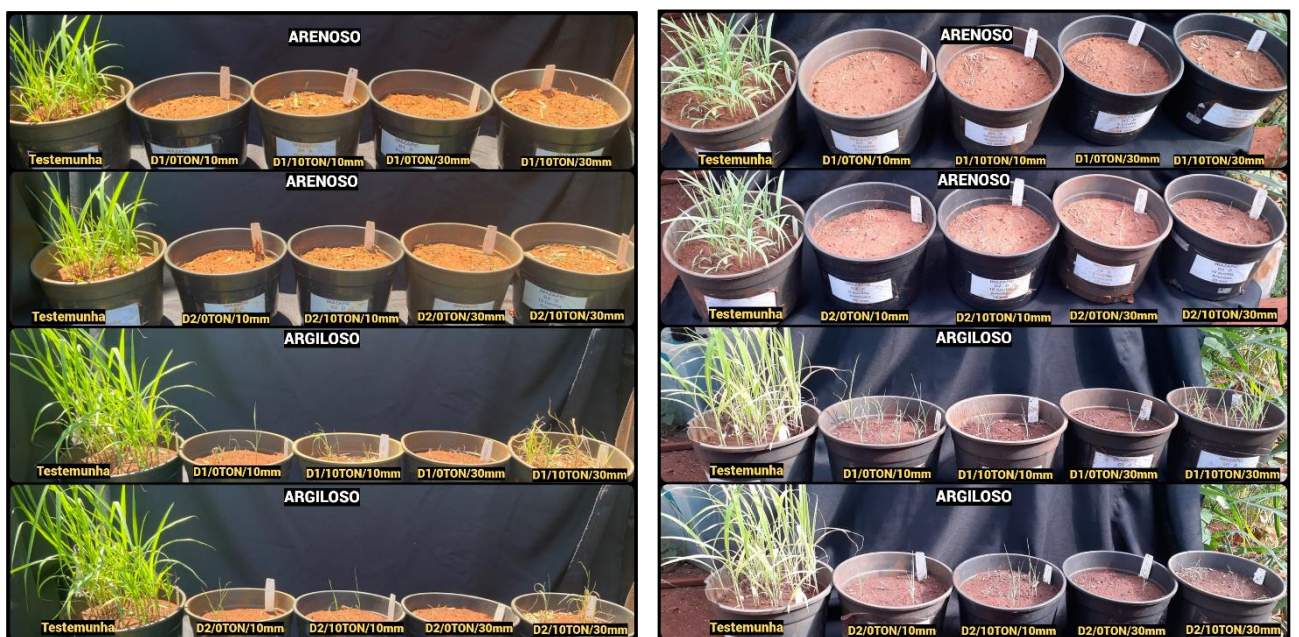
A tabela 5 demonstra os resultados da massa seca residual quando avaliado o controle do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers através da aplicação do herbicida imazapic, no primeiro e segundo fluxos de semeadura para o solo arenoso e argiloso.

Tabela 6 - Efeito dos tratamentos sobre a massa seca residual das duas espécies de plantas daninhas com o respectivo controle em médias e porcentagens, para o solo arenoso e argiloso nos dois fluxos de infestação.

Variável	Tratamento	Arenoso (F1)	Argiloso (F1)	Arenoso (F2)	Argiloso (F2)
<i>R.cochinchinensis</i>	Testemunha	0,483 a	0,833 a	0,338 a	1,137 a
	Fatorial	0,028 b	0,149 b	0,014 b	0,066 b
	% Redução	94,2%	82,11%	96%	94,19%
<i>S.halepense</i>	Testemunha	0,556 a	2,315 a	0,963 a	2,563 a
	Fatorial	0,017 b	0,148 b	0,019 b	0,047 b
	% Redução	97%	93,6%	98%	98%

**Teste de Médias: Testemunha (sem aplicação) vs fatorial triplo (Dose x Palha e Precipitação). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nota-se que ocorreram diferenças estatísticas em ambas as espécies de plantas daninhas, nas duas classes texturais de solo e nos dois fluxos de semeadura. Na espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton, ao final do primeiro fluxo de infestação, ou seja; 42 DAE, a redução do percentual de massa seca quando relacionada a testemunha foi de 94,2%, tendo aumentado esse percentual no segundo fluxo de infestação; 84 dias após a aplicação do herbicida, alcançando 96% de redução de massa seca quando avaliado no solo arenoso. Já quando se observa a redução de massa seca do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton para o solo argiloso, obteve um menor percentual tanto no primeiro quanto no segundo fluxo de infestação quando comparado ao solo arenoso, chegando a 82,11% e 94,19% respectivamente.



Testemunha (sem aplicação). D1: dose 1/D2: dose 2. 0Ton: sem palha/10ton: com palha. 10 e 30 mm: precipitações.

Figura 16 - Fluxo 1 de semeadura aos 42 DAE. **Figura 17** - Fluxo 2 de semeadura aos 42 DAE.

Em relação a espécie de planta daninha *S. halepense* (L.) Pers, ao final do primeiro fluxo de infestação, ou seja; 42 DAE, a redução do percentual de massa seca quando relacionada a testemunha foi de 97%, tendo ocorrido um leve aumento desse percentual no segundo fluxo de infestação; 84 dias após a aplicação do herbicida, alcançando 98% de redução de massa seca quando avaliado em solo arenoso. Para o solo argiloso, assim como observou-se na espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton, nota-se também um menor percentual de redução de massa seca do *S. halepense* (L.) Pers no primeiro fluxo de infestação quando comparado ao solo arenoso, chegando a 93,6%, porém, posteriormente também ocorreu um aumento na redução de massa seca no segundo fluxo de infestação, alcançando 98%, se equivalendo ao solo arenoso (Tabela 6).

5. DISCUSSÃO

O controle de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton apresentou menor eficácia quando o herbicida imazapic foi aplicado e logo após simulado o volume de precipitação de 30 mm. Isso foi observado no presente trabalho na Figura 2 (gráfico (d)), como também na Figura 5 (gráfico (a e b)) e Figura 6 (gráfico (a e b)), onde analisamos as interações da precipitação com relação a palhada e as diferentes doses, tanto no solo arenoso, quanto no solo argiloso. O inverso também foi observado na (Figura 4) e na (Figura 7 (a)), onde a maior eficácia de controle foi sempre quando simulado a menor precipitação de chuva; 10 mm. Uma menor eficácia de controle nos períodos iniciais do primeiro fluxo também foi observada para a espécie *S. halepense* (L.) Pers mesmo em um solo argiloso quando simulado a precipitação de 30 mm logo após a aplicação, o que possivelmente pode ter promovido um maior processo de lixiviação (Figura 12).

Esse fato pode estar associado tanto as características físico-químicas do herbicida imazapic; alta solubilidade e baixo K_{ow} , que mesmo sendo aplicado em solo com alto teor de argila as simulações de precipitação ocorrendo aos 0 DAE, ou seja, logo após a aplicação pode ter provocado um menor processo de sorção e um maior processo de lixiviação reduzindo a eficácia de controle. Como também associado as características edáficas no caso do solo arenoso; baixo teor de argila e matéria orgânica (Tabela 1), resultando com isso em um menor processo de adsorção do herbicida, tornando-o mais móvel no perfil do solo e perdendo estabilidade nos primeiros 5 cm aonde estavam a maior densidade das sementes das plantas daninhas. A sorção dos herbicidas além de regular a persistência das imidazolinonas no solo, também influencia na movimentação dos herbicidas no perfil, ocorrendo, geralmente, relação inversa entre a sorção e o potencial de lixiviação (AHMAD; RAHMAN, 2009).

Com relação a menor eficácia do herbicida imazapic para o controle de *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton quando simulado o volume de 30 mm no solo arenoso mesmo com a palhada em superfície, a menor adsorção do herbicida em um solo com menor teor de argila pode ter levado a um maior processo de lixiviação do herbicida. Os dados apresentados por Silva (2018), avaliando em seu estudo o potencial de lixiviação do herbicida imazapic no solo e na densidade de palha de 10 t ha^{-1} , simulando a mesma precipitação de 30 mm, viu que nas situações onde a simulação de precipitação ocorreu logo após a aplicação do herbicida, à quantidade de palha não interferiu na lixiviação do imazapic.

De acordo com Silva (2018), a lixiviação é um fenômeno desejado em aplicações de herbicida pré-emergentes, pois pode proporcionar a incorporação desses herbicidas nos primeiros 10 cm do perfil do solo, onde concentram-se a densidade do banco de sementes de plantas daninhas. A movimentação dos herbicidas na camada superficial do solo é necessária, a fim de melhorar a ação no controle de plântulas em germinação (OLIVEIRA; BRIGHENT, 2011), o que pode ser observado (Figura 9 (b)) onde em dois períodos de controle na espécie *S. halepense* (L.) Pers o volume de precipitação simulado de 30 mm apresentou uma maior eficácia de controle quando comparado ao de 10 mm, porém, nos demais períodos estabilizou o controle em ambas as precipitações.

Contudo, se a lixiviação dos compostos for intensa, pode reduzir a eficiência dos herbicidas e causar sérios riscos ambientais, vindo a atingir o lençol freático, contaminando reservas de águas subterrâneas (DORES et al., 2009; ALISTER; KOGAN, 2010). Hernandez et al. (2001) concluíram que, com o aumento no índice pluviométrico após a aplicação, de 30 para 90 mm, ocorre o arraste do imazapic (122,5 e 147,0 g ha⁻¹) para maiores profundidades em um solo com 55% de argila, pH 5,9 e 15 g dm⁻³ de matéria orgânica, reduzindo a eficiência do produto no controle das plantas daninhas presentes na camada superficial do solo.

Além das características físico-químicas já relatadas; alta solubilidade e baixo Kow, outras características que possuem influência na lixiviação dos herbicidas é o coeficiente de ionização (pKa), de acordo com (INOUE et al., 2006; KRAEMER et al., 2009a; REFATTI et al., 2014), por se tratar de um herbicida ionizável, o imazapic pode apresentar-se em duas formas quanto à sua carga líquida: solo abaixo de pH 3,9, a forma predominante é a molecular, cuja carga líquida é zero; e, quando o pH do solo se aproxima da neutralidade, passa a predominar a forma aniônica, diminuindo a força de atração entre as moléculas do herbicida e as cargas predominantes no solo. Desse comportamento resulta menor sorção do herbicida e, conseqüentemente, maior potencial de lixiviação no solo. Inoue et al.(2007), relata que em solos com pH acima do pKa da molécula (imazapic 3,9), como é o caso do solo arenoso (pH:4,2) e do solo argiloso (pH:4,9) (Tabela 1), o movimento do herbicida, através do perfil do solo, é favorecido, em razão da baixíssima sorção. Por esse motivo, os herbicidas ácidos são normalmente menos sorvidos aos colóides do solo do que os herbicidas neutros ou básicos.

De acordo com Silva (2018) em seu estudo sobre sorção de herbicidas residuais, pode observar com relação ao imazapic que o atributo com maior valor de significância na correlação com os coeficientes de adsorção é o pH, seguido pela porcentagem de matéria orgânica, sendo o segundo atributo a impactar de maneira significativa na adsorção de imazapic em solos, onde maiores porcentagens de matéria orgânica do solo resultaram em maiores valores de coeficientes de adsorção.

Isso corrobora com os resultados observados na (Figura 13) para o controle da espécie *S. halepense* (L.) Pers, onde notou-se que com as características do solo arenoso com menor teor de argila; 14,9%, menor teor de matéria orgânica 7,67 g dm³ e com um pH de (4,2) acima do pKa do imazapic (3,9), pode ter levado o herbicida a sofrer um menor processo de adsorção, ficando mais dessorvido resultando com isso em uma maior disponibilidade do ingrediente ativo na solução do solo para absorção das sementes em processo de germinação, acarretando em uma estabilidade do controle no solo arenoso no segundo fluxo de germinação, nas diferentes simulações de precipitação e palha. A sorção controla a disponibilidade de herbicidas para a planta, a taxa de degradação por microrganismos do solo (GOETZ et al., 1990) e o movimento do produto químico pelo perfil do solo (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2001; PORFIRI et al., 2015).

Com relação a transposição do imazapic através da palhada da cana-de-açúcar observamos nas (Figura 2 (b)) aos 28 DAE e (Figura 2 (c)) quando simulado 30 mm, menores eficácias de controle quando a aplicação ocorreu sobre palha, o que pode ter sido influenciado pela interceptação da palhada agindo como uma barreira física. Porém, nas demais avaliações observamos uma estabilidade no controle nos vasos com e sem palha, o que pode estar relacionado ao seu conjunto de características físico-químicas, como: solubilidade de 2.200 mg L⁻¹ a 25 °C, Kow de 0,16 (RODRIGUES, ALMEIDA, 2018). Isso corrobora com os resultados obtidos por Hernandez et al. (2001) onde observaram que a eficácia do herbicida imazapic depende da dose aplicada, independentemente da presença da palha de cana-de-açúcar, pelos resultados nas condições experimentais do seu estudo, concluiu que em uma camada de palha de cana-de-açúcar (var. SP79 - 1011) equivalente a 12 t ha⁻¹ não interferiu na ação do imazapic, tanto isolado como em mistura com pendimethalin, no controle de *Panicum maximum*, *Urochloa plantaginea*, *Digitaria horizontalis*, *Amaranthus viridis* e *Cyperus rotundus*.

Entretanto, em outros casos como observado na (Figura 3 (a)), observa-se que os menores percentuais de controle foram sempre quando a aplicação ocorreu sobre

a palha, embora obtendo um controle classificado como regular. Também observado na Figura 7 (b), o fator palhada impactou a eficácia de controle para espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e para a espécie *S. halepense* (L.) Pers na (Figura 15) significativamente em ambas mesmo quando ocorreu a simulação de precipitação de 30 mm, ocorrendo um maior percentual quando a aplicação ocorreu com o solo descoberto (0 ton). Essa observação também foi vista para a espécie *S. halepense* (L.) Pers com relação a dose (Figura 11 (a)), mesmo na maior dosagem; D2 os percentuais de controle foram superiores quando a aplicação do herbicida imazapic ocorreu no solo descoberto, ou seja, na ausência da palhada em superfície.

Essa possível interceptação da palhada também foi observada para a espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton com relação as doses na (Figura 8 (a)), quando aplicado a D2 na precipitação simulada de 10 mm e quando aplicado a menor dose (D1) na precipitação de 30 mm, a aplicação com o solo descoberto apresentou uma eficácia de controle superior. Demonstrando com isso que mesmo um herbicida como imazapic com características de alta mobilidade, a palhada pode reduzir sua eficácia. A cobertura com palha no solo, pode interceptar e reter os herbicidas aplicados na modalidade de pré-emergência, reduzindo a porcentagem de controle das plantas daninhas devido a barreira física ocasionada pela cobertura vegetal que não permite a transposição do herbicida aplicado na palha para o solo (MATOS et al., 2016). O herbicida imazapic não foi totalmente interceptado pela palhada, e embora os controles sobre palha foram menores ainda foram classificados como suficiente (<70%) e bom (80%). Mas, o pouco de interceptação que ocorreu acarretou em uma redução na eficácia de controle de ambas as espécies quando comparado a aplicação ao solo descoberto, isso pode representar na prática uma redução na residualidade do herbicida, podendo trazer consequências como a reinfestação das plantas daninhas na área antes da estabilização da cultura principal.

Com relação ao controle de *R. Cochinchinensis* observamos tanto na (Figura 3 (a)), quando aplicado a menor dose (D1; 105 g i.a ha⁻¹), resultou em uma menor eficácia de controle por não ser uma dose recomendada para solos com percentual de argila acima de 35%, como no solo avaliado (Tabela 1), acarretando em uma maior adsorção aos colóides e consequentemente uma menor quantidade de equivalente ácido disponível. E o inverso foi observado na (Figura 3 (b)), quando aplicado a maior dose analisada (D2; 147 g i.a ha⁻¹) apresentou os maiores percentuais de controle no solo argiloso. Esse resultado pode estar atribuído a um dos princípios para ajuste de dose de herbicida pré-

emergente; que é o percentual de argila e matéria orgânica do solo, e no caso a D2, é a recomendação de bula do imazapic para solos com maiores teores de matéria orgânica e com textura de argila acima de 35%, condizente com o solo analisado (Tabela 1), possivelmente essa maior quantidade de equivalente ácido resultou em um maior residual ao final do fluxo 1 de germinação. Nesse contexto a textura do solo tem influência direta na eficácia de controle do herbicida imazapic, para solos com maior teor de argila as doses recomendadas devem ser maiores. Além da influência do pH na sorção das moléculas do herbicida, a sorção das imidazolinonas pelos solos é altamente influenciada pelos teores de matéria orgânica e argila, sendo que, os solos com maiores teores de argila ou matéria orgânica requerem maiores doses dos produtos (MILLER e WESTRA, 1998; CHRISTOFFOLETTI et al., 2009; KRAEMER et al., 2009b).

No presente estudo a D2 do herbicida imazapic apresentou os melhores resultados de controle pré-emergente da espécie *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton no solo argiloso, quando foi submetida a precipitação de 30mm, tanto com solo descoberto quanto com a palhada em superfície (Figura 8 (c)). Com a menor precipitação de 10 mm a maior dose aplicada não refletiu em maior eficácia de controle (Figura 8 (b)), ou seja, além do ajuste de dose ser necessário em uma condição de solo com maior teor de argila, a precipitação é fundamental para uma maior disponibilidade do herbicida imazapic, resultando em um maior controle pré-emergente no segundo fluxo de semeadura.

A precipitação de 30 mm também apresentou um resultado superior quando analisamos a espécie *S. halepense* (L.) Pers na (Figura 10 (a e b)), em um solo de textura arenosa e nas aplicações em solo descoberto, em ambas as doses (D1 e D2), onde possivelmente acarretou uma maior dessorção e conseqüentemente disponibilidade do ingrediente ativo para absorção das plantas daninhas. De acordo com Silva (2018) quando simulado a precipitação de chuva de 6 mm logo após a aplicação do imazapic proporcionou uma recuperação do herbicida superior a 80%, já para a chuva de 24 mm observou-se uma recuperação máxima próxima a 100%.

De acordo com Silva et al. (2014), no caso da argila 2:1 há maior adsorção de herbicidas devido a maior área superficial específica, já em minerais 1:1, presentes em solos intemperizados de clima tropical e subtropical, como o Brasil, possuem menor capacidade de expandir-se e de retenção de moléculas, sendo somente cátions nas bordas do mineral. Ainda os óxidos de ferro e alumínio também atuam na sorção de diversos herbicidas, principalmente os ácidos fracos, como as imidazolinonas, e estes minerais

encontram-se presentes em grande maioria nos solos brasileiros intemperizados, como os Latossolos. De modo que os óxidos de Fe e Al foram as frações de solo que mais se relacionaram com a sorção do imazaquin, demonstrado por Reginato et al. (2001).

De acordo com Monqueiro et al. (2008), o fato de moléculas como o imazapic terem resultados mais favorável em solos de textura argilosa, deve-se provavelmente a inerência desses herbicidas serem adsorvidos a matéria orgânica, minerais de argila e óxidos metálicos do solo. Enquanto adsorvidos, ficam menos expostos aos processos de degradação e transporte, o que pode prolongar o efeito residual no solo (LANGENBACH, 2006). O processo de adsorção retarda ou, em alguns casos, até mesmo impede o movimento e a ação de herbicidas no perfil do solo. Entretanto, depois de sorvida, uma fração das moléculas pode retornar à solução do solo e exercer a atividade herbicida, sendo esse processo conhecido como dessorção (BOUCHARD et al., 1989). O processo de dessorção de pesticidas também é importante, pois determina a taxa de liberação e a mobilidade potencial de pesticidas no solo (KOSKINEN e HARPER, 1990; MAMY e BARRIUSO, 2007). Além disso, esse processo pode refletir algumas das interações envolvidas entre o produto químico e os diferentes tipos de solos (WANG e LIU, 1999; BOIVIN et al., 2005).

Ainda com relação ao controle da espécie *S. halepense* (L.) Pers quando analisamos a performance das duas dosagens para um solo de textura arenosa, ainda que o herbicida imazapic não tenha recomendação em bula para o controle dessa planta daninha, a D1 é a dose recomendada para o solo em análise (Tabela 1), e a D2 é uma dose superior a recomendação para esse solo, ambas apresentaram um controle classificado como muito bom, embora a D2 tenha obtido uma leve redução na eficácia de controle em solo arenoso quando simulado a precipitação de 30 mm (Figura 14), onde possivelmente sofreu um maior processo de lixiviação. Porém, nesse caso, pensando em redução de custos no tratamento de herbicida pré-emergente, como também buscando reduzir o risco de fitotoxicidade e de uma possível contaminação de lençol freático em um solo arenoso com a dosagem maior, a D1 se apresenta como uma alternativa classificada como muito boa de controle pré-emergente do *S. halepense* (L.) Pers em solo de textura arenosa.

Ao final das avaliações do primeiro fluxo, com 42 DAE, foi observado tanto para D1, quanto para D2, que os percentuais de controle do herbicida imazapic para as espécies *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers se equivaleram, sem diferenças estatísticas independente do fator palhada e precipitações (Figuras 3 e 10 (a e

b) e 11 (a)) . Corroborando com o que foi observado por Silva (2018) em seu estudo sobre comportamento ambiental e bioatividade sobre plantas daninhas de herbicidas residuais aplicados sobre a palha de cana-de-açúcar em diferentes condições hídricas do solo, constatou que; a palha de cana-de-açúcar não apresenta uma expressiva barreira física para o herbicida imazapic, pois ele não é altamente adsorvido a esse material e sua recuperação em palha de cana- de-açúcar ocorre de forma fácil, com baixa precipitações, independentemente da quantidade de palha que ele foi posicionado.

Esses diferentes resultados observados no controle visual das espécies e na redução de massa seca deixam claro a influência dos atributos físico-químicos do solo no comportamento do herbicida no meio. A recomendação adequada das doses de herbicida, com maior eficiência no controle das plantas daninhas, depende da interação solo-planta-herbicida; onde no solo está relacionado com a dissipação dos herbicidas por meio de processos e velocidades distintas, influenciadas pelas propriedades físico-químicas da molécula, pelos atributos do solo, pelas condições ambientais ou pela interação desses fatores (CHRISTOFFOLETI et al, 2009).

Com base nos resultados de redução de massa seca, notou-se em ambas as espécies de plantas daninhas no primeiro fluxo de infestação, o solo argiloso apresentou um menor percentual de redução quando comparado ao solo arenoso. Possivelmente, pelo fato de a molécula ter um Koc moderado e ser muito influenciada pelo teor de argila e matéria orgânica do solo, quando aplicada em um solo de textura mais argilosa pode ter sofrido um maior processo de sorção (Figura 16).

Já no segundo fluxo de infestação, ou seja, mais de 84 dias após a aplicação do herbicida, para o *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton a diferença entre o solo arenoso e argiloso se manteve, porém foi bem menor, e para o *S. halepense* (L.) Pers o percentual de redução se equivaliu em ambos os solos. Possivelmente, isso pode ter ocorrido pelo fato que ao longo da condução do experimento, ocorriam sempre regas nos vasos para a manutenção da umidade do solo e para permitir condições de desenvolvimento para as plantas, essa umidade pode ter influenciado na dessorção do imazapic, tornando-o mais disponível e aumentando sua ação herbicida no segundo fluxo de infestação no solo argiloso (Figura 17). Solos que possuem altos teores de argila e matéria orgânica, ou ambos, apresentam maior sorção e persistência de herbicidas, seguido por baixos índices de lixiviação e de degradação destes (LI et al., 2003; SI et al., 2006). Goss (1992) relata que, quanto maior for a solubilidade de um determinado herbicida, maior será seu poder de dissociação na solução do solo para que haja controle efetivo de plantas daninhas,

influenciando fortemente o manejo químico.

Como citado por Gerstl (2000) as características químicas e físicas dos solos tendem a provocar retenção diferencial dos herbicidas, o que refletirá na biodisponibilidade distinta destes na solução do solo, podendo influenciar o controle das plantas daninhas e a sua lixiviação para camadas mais profundas. Vizantinopoulos & Lolos (1994) constataram elevada influência na mobilidade no solo da molécula imazapyr, mesma grupo químico do imazapic, e concluíram que esse processo estar associado ao pH, teor de argila e conteúdo de matéria orgânica.

Com o fatorial triplo (Dose x Palha x Precipitação), todos os tratamentos em que se empregou o imazapic proporcionaram redução no acúmulo de biomassa seca das duas espécies de plantas daninhas, mostrando que a comunidade infestante se desenvolveu pouco quando sob esses tratamentos. O *S. halepense* (L.) Pers apresentou uma maior redução no percentual de massa seca em ambas as classes texturais de solo e nos dois fluxos de infestação, obtendo uma redução média de 97%, ante 92% do *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton demonstrando nesse caso uma maior susceptibilidade ao herbicida imazapic. Os dados da redução do percentual de massa seca denotam além de uma excelente performance no controle das duas plantas daninhas, uma estabilidade no controle ao longo do tempo em ambas as classes de solo, o que pode estar relacionado ao alto residual do herbicida imazapic. De acordo com Monqueiro et al. (2010) a maior atividade residual do imazapic se dá até os 45 dias após sua aplicação, entretanto aos 210 dias após a aplicação este ainda apresenta alguma atividade residual.

Embora em alguns casos (Figura 2 (b), Figura 2 (c), Figura 3 (a e b), Figura 7 (a e b), Figura 8 (a e c), Figura 9 (b), Figura 11 (b) e Figura 15 (a e b)), a aplicação em solo descoberto tenha demonstrado diferenças significativas com melhor eficácia de controle com base nas avaliações visuais, analisando o percentual de redução da massa seca residual (Tabela 6), observamos um excelente controle de ambas as espécies, podendo supor com base nos resultados de massa seca residual, que o fator palhada não influenciou negativamente na eficácia do controle pré-emergente do herbicida imazapic.

6. CONCLUSÃO

O herbicida imazapic apresentou controle considerado excelente até o final do segundo fluxo para as duas espécies de plantas daninhas; *R. cochinchinensis* (Lour.) Clayton e *S. halepense* (L.) Pers, indicando a viabilidade da aplicação em pré-emergência.

O fator precipitação resultou em maiores performances de controle sempre com o menor volume simulado de 10 mm tanto em solo arenoso quanto argiloso.

O fator quantidade de palha influenciou reduzindo a eficácia de controle tanto no solo arenoso quanto no solo argiloso, porém, não impactando significativamente na redução de matéria seca final.

O imazapic apresentou melhor eficácia de controle em solo argiloso quando analisado a maior dose (D2: 147 g i.a. ha⁻¹) e quando aplicado em solo descoberto, a quantidade de palha e a textura do solo podem influenciar a performance pré-emergente desse herbicida.

Isto posto, faz-se importante a consideração das classes texturais do solo e da presença de cobertura para uma correta recomendação da aplicação de imazapic no campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEGAS, F. S. Pontos relevantes na tecnologia de aplicação de agrotóxicos. **Embrapa Soja**, Londrina, 23 de novembro de 2016.
- AGROFIT - Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. **MAPA - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS**. Consulta de ingrediente ativo. Disponível em:<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso:05/09/2022.
- ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación em ensayos de control de malezas. Alam, 1ª ed. Bogotá, **Asociación Latinoamericana de Malezas**, 38p. 1974.
- ANTANIASSI, U. R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos. Anais do **V Congresso Brasileiro de Algodão**, FCA/ UNESP, BOTUCATU/SP, 2015.
- ARÉVALO R. A, BERTONCINI E. I. Efeito e manejo de *Cyperus rotundus* (tiririca) na agricultura brasileira In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**. Palestras Florianópolis: SBCPD, p. 44-66. 1995.
- ARÉVALO, R. A. Matoecologia da cana-de-açúcar. São Paulo: **Ciba-Geigy**, 1978. 16 p.
- AZANIA, C. A. M. **Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar**. 2008. Disponível em:<<http://www.infobibos.com/canamx/aluno/aulas/Aula15/AulaAzania2008/Texto%20b%C3%A1sico.pdf>>. Acesso em 19/09/2022.
- AZANIA, C. A. M. **Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar**. Campinas: Boletim técnico-informativo do instituto agrônomo. 2018.
- BANKS, P. A.; ROBINSON, E. L. Soil reception and activity of acetochlor, alachlor and metolachlor as affected by wheat (*Triticum aestivum*), atraw irrigation. **Leed Sci.**, v. 34, p. 607-611, 1986.
- BARROS, D. M.; SILVA, P. V. MEURER H. L.; MEURER L. S. S.; DOMINGOS E. R.; DIAS R. C.; INACIO E. M. MONQUERO P. A. Regime hídrico e palha influenciam na eficácia de herbicidas pré-emergentes no controle de capim-amargoso? Controle de capim amargoso através de herbicidas pré-emergentes. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 194-201, 2021.
- BOIVIN A., CHERRIER R., SCHIAVON M. A comparison of five pesticides adsorption and desorption processes in thirteen contrasting field soils. **Chemosphere**. 2005;61:668.
- BOUCHARD, D. C.; ENFIELD, C. G.; PIWONI, M. D. Transport processes involving organic chemicals. In: SAWHNEY, B. L. (Ed.). Reactions and movement of organic chemicals in soils. **Madison, Soil Science Society of America**, 1989. p. 349-372.
- BONFLEUR, E.J. et. al. Organomineral Interactions and Herbicide Sorption in Brazilian Tropical and Subtropical Oxisols under No-Tillage. **Journal Agriculture Food Chemical**. V.64(20), pp 3925–3934.2016.
- BYRT, C.S.; GROF, C.P.L.; FURBANK, R.T. C4 Plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective. **Journal of Integrative Plant Biology**. v.53: p. 120–135. 2011.

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.; TRINDADE, M.L.; SILVA, J.R. & VELINI, E.D. Dynamics of sulfentrazone applied to sugarcane crop residues. **Weed Science**, vol. 64, n. 1, p. 201-206, 2016.

CASTRO, T. S.; ROCHA, P. R. R.; BARRETO, G. F.; MAIA, S. S.; ALBUQUERQUE, J. A.A.; ALVES, J. M. A. Weed Interference in Semierect and Semi-prostrate Cowpea Cultivars. **Planta Daninha**, v. 37, n. e019196146, p. 1–9, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100080>> . Acesso: 09/06/2022.

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

CARVALHO, S.J.P. et. al. Crescimento e desenvolvimento da planta daninha capim-camalote. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.591-600, 2005a.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. **Piracicaba**, v. 2, p. 72, 2009.

CHRISTOFFOLETI, P.J. Biologia e manejo do capim-camalote (*Rottboellia cochinchinensis*) na cultura da cana-de-açúcar – Curitiba: **SENAR AR-PR.**, 2020. 22 p.

CHRISTOFFOLETI, P.J. & NICOLAI, M. (2012) – Cana-de-açúcar - expansão desafiada. **Revista Cultivar**, vol. XIV, n. 161.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LOPEZ-OVEJERO, R.F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. **1. ed. Piracicaba**: CP2, 2009. 72 p.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasil. 2023.

CONCENÇO, G.; SALTON, J. C.; CECCON, G. Espécies de *Sorghum* infestantes: importância nos sistemas produtivos. **Embrapa Agropecuária Oeste**, Dourados-MS, 2012. 49p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69595/1/COT2012180.pdf>>. Acesso em: 10/08/2022.

CONSTANTIN, J. Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência da *Brachiaria decumbens* Stapf. com a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 1993. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – **Universidade Estadual Paulista**, Botucatu, 1993.

CORREIA, N. M. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de tomate rasteiro dos estados de GO, MG e SP. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2015. 49 p. (**Embrapa Hortaliças. Documentos, 147**). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1028984>> Acesso em: 17/08/2022.

CORREIA, N. M.; GOMES, L. J. P. Seed bank and control of *Rottboellia exaltata* using clomazone alone and in combination with other herbicides. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 538-544, 2014.

CORREIA, N.M.; KRONKA JR., B. Controle químico de plantas dos gêneros *Ipomoea* e *Merremia* em cana-soca. **Planta Daninha**, v.28, n.esp, p. 1143-1152, 2010.

CORREIA, N. M.; GOMES, L. P.; PERUSSI, F. J. Emergence of *Rottboellia exaltata* influenced by sowing depth, amount of sugarcane straw on the soil surface, and residual

herbicide use. **Acta Scientia rum. Agronomy**, v. 35, n. 2, p. 145-152, 2013.

COSTA, M. V.; FONTES C. H.; CARVALHO G. JÚNIOR E. C. M. Ultra-Brix: A Device for Measuring the Soluble Solids Content in Sugarcane. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1227, 2021.

DEUBER, R. Ciência das plantas daninhas; fundamentos. Jaboticabal: Funep, 1992. v.1. 431p. **EMBRAPA Climas**. S.d. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso: 18/09/2022.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Sugarcane straw and the populations of pests and nematoids. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 305-310, 2013.

DUGGLEBY R.G., MCCOURT J.A., GUDDAT L.W. Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiol Biochem**. 2008;46:309-24.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Brasília, DF). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 198p.

FAMASUL – Federação da agricultura e pecuária Mato Grosso do Sul. **Boletim Sucroenergético**, Campo grande, ed. 3. fev. 2023. Disponível em: https://portal.sistemafamasul.com.br/sites/default/files/boletimcasapdf/Boletim_Sucroenerg%C3%A9tico_-_3%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 10 set 2023.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, É.; FLUMIGNAN, D. L. O clima da região de Dourados, MS. 3. ed. rev. e atual. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2017. 34 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 138).

FIRMINO, L. E.; et al. Sorção do imazapyr em solo com diferentes texturas. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 395-402, 2008.

FONTES, J. R. A.; OLIVEIRA, I. J.; MORAIS, R. R. Manejo de Plantas Daninhas na Cultura do Feijão-Caupi: Controle Cultural em Cultivares de Porte Prostrado e Semiprostrado. Circular Técnica 65 - **Embrapa**, p. 1-7, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1087032>>. Acesso: 08/04/2022.

GALON L. et al. Eficiência de controle de *Brachiaria brizantha* e seletividade dos herbicidas {(diuron + hexazinone) + MSMA } aplicados à cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**. 2012; 30: 367-376.

GAZZIERO, D.L.P.; KZRYZANOWSKI F. C.; ULBRICH, A. V.; VOLL, E.; PITELLI, R.A. Estudo da superação de dormência de sementes de capim massambará (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) através de nitrato de potássio e ácido sulfúrico. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 21-24, 1991.

GAZZIERO, D.L.P.; ULBRICH, A.V.; E. & PITELLI, R.A. Estudos dos efeitos do período de convivência do capim massambará (*Sorghum halepense*(L.) Pers.) com o crescimento e produção da cultura da soja. In **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Londrina, Paraná. Resultados de pesquisa de soja 1988/89. Londrina, PR: EMBRAPA CNPSO, 1989 p.306-8.

- GERSTL, Z., An update on the Koc concept in regard to regional scale management. **Crop Prot**, 19:643648, 2000.
- GEVAO, B. et al. Bound pesticide residues in soils: A review. **Environ. Pollut.**, v. 108, n. 1, p. 3-14, 2000.
- GHERZA, C.; SORIANO, A.; SANCHEZ, R. & VALLA, L.G. Estrategias de invasión y perpetuación del sorgo de alepo. **Revista CREA**, n. 74, 1979.
- GOMES, F.G. J.; CHRISTOFFOLET, P.J. Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Planta Daninha** 26(4): 789-798. 2008.
- GOSS, D. W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. **Weed Technology**, Champaign, v.6, n.4, p.701-708, 1992.
- GRANCO, G.; CALDAS, M. M.; BERGTOLD, J. S.; SANT'ANNA, A. C. Exploring the policy and social factors fueling the expansion and shift of sugarcane production in the Brazilian Cerrado. **GeoJournal**, v. 82, n. 1, p. 63-80, ago. 2015.
- HALL & PATTERSON HEAP – International Herbicide-Resistant Weed Database. 2021 IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2020.
- HERNANDEZ, D. D.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Influência do resíduo de colheita de cana-de-açúcar sem queima sobre a eficiência do imazapic e imazapic + pendimethalin. **Planta Daninha**, v. 9, n. 3, p. 419-426, 2001.
- HLXSON, A. C. **Soil properties affect simazine and saflufenacil fate, behavior, and performance**. 2008. 242 f. Dissection (Mestrado em Fitotecnia) - Faculty of North Carolina State University, 2008.
- HOLM, L.G.; PLUCKNETT, D.L.; PANCHO, J.V.; HERBERGER, J.P. The world's worst weeds: Distribution and biology. **Honolulu: The East-west Center by the University Press of Hawaii**, 1977. 609p.
- INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D.G. Potencial de lixiviação do imazapic e isoxaflutole em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 547-555, 2007.
- JAVARONI, R. C.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Comportamento dos herbicidas atrazina e alachlor em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 58-64, jan./fev. 1999.
- KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K.H.M.; WARD, P. Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. **Plos one**, v. 14, n. 2, p. 1 - 14, 2018.
- KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas. t.I - Plantas inferiores; monocotiledôneas - 2ª. ed.** São Paulo: BASF, 1997. 825p.
- KLEEMANN, S.; DESBIOLLES, J.; GILL, G.; PRESTON, C. Seeding systems and preemergence herbicides. **GRDC**, 2015. Disponível em: < <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2015/02/seeding-systems-and-pre-emergence-herbicides> > . Acesso em: 14/09/2022.

KRAEMER, A.F.; MARCHESAN, E.; GROHS, M.; AVILA, L.A.; MACHADO, S.L.O.; ZANELLA, R. et al. Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1660-1666, 2009b.

KOSKINEN W.C., HARPER S.H. **Pesticides in the soil environment processes, impacts and modeling**. Madison: Soil Science Society of America, 1990.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. II-capim brachiaria (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.323-330, 2001.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III-capim brachiaria (*Brachiaria decumbens*) e capim colônia (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003.

KUVA, M.; PITELLI, R. A.; SALGADO, T. P. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

LANGENBACH, T.; CORREIA, F. V. Dinâmica da distribuição e degradação de atrazina em Argissolo VermelhoAmarelo sob condições de clima tropical úmido. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, n. 1, p. 1-10, 2006.

LEGUIZAMÓN, E. S. *Sorghum halepense*L. Pers. (Sorgo de Alepo): base de conocimientos para su manejo en sistemas de producción. **Departamento de Sistemas de Producción Vegetal - Malezas**. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario, Novembro, 2006.

LI, H.; SHENG, G.; TEPPEM, B. J.; JOHNSTON, C. T.; BOYD, S. A. Sorption and desorption of pesticides by clay minerals and humic acid-clay complexes. **Soil Science Society of American Journal**, v. 67, p. 122-131, 2003.

LOCKE, M.A. & BRYSON, C.T. (1997) - Herbicide-soil interactions in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, vol. 45, n. 2, p. 307-320.

LORENZI, H. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. **Plantarum**, 3.ed., 2000. 608p.

MACIEL, C.D.G.; VELINI, E.D. Simulação do caminhamento da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de plantio direto. **Planta Daninha**, vol. 23, n. 3, p. 471-481. 2005.

MANGELS, G. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil - a review of the literature. In: SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. L. (Eds.). *The imidazolinone herbicides*. **Boca Raton**: CRC, 1991. p.191-209.

MAMY L., BARRIUSO E. Desorption and time-dependent sorption of herbicides in soils. **Eur J Soil Sci**. 2007;58:174-87.

MATOS, A. K. A.; CARBONARI, C. A.; COTRICK, G. L. G. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.

- MERDUM, H. Factors affecting preferential flow. **Journal of Science and Engineering**, West Bengal, v. 7, n. 2, p. 90-94, 2004.
- MILLER, P.; WESTRA, P. Herbicide behavior in soils. **Crop Series – Production**. Colorado: Fort Collins, 1998. (Colorado State University Cooperative Extension, 562).
- MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R. DO ; BINHA, D. P. ; Silva, A.C ; SILVA, P. V. DA . Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 25, p. 613-619, 2007.
- MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R. DO ; BINHA, D. P. ; Silva, A.C . eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *ipomoea grandifolia*. **Bragantia (São Paulo)**, v. 68, p. 367-372, 2009.
- MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; AMARAL, L. R. Eficiência de herbicidas préemergentes após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, 2008.
- MONQUERO, P. A.; HIJANO N.; ORZARI I.; SABBAG R. S.; HIRATA A. C. S. Profundidade de sementeira, pH, textura e manejo da cobertura do solo na emergência de plântulas de *Rottboellia exaltata*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2799-2812, 2012.
- MONQUERO, P. A.; SILVA V.; SILVA HIRATA A. C.; TABLAS D.C. ORZARI I. LIXIVIAÇÃO e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic. **Planta daninha**, v. 28, p. 185-195, 2010.
- MONQUERO, P.A. et al. Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic. **Planta daninha**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 185-195, 2010.
- MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; INÁCIO, E.R.; BRUNHARA J.P.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V.; SILVA, A.C. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, 27: 85-95. 2009.
- NÓBREGA JUNIOR, J. E.; RIET-CORREA, F.; MEDEIROS, R. M. T.; DANTAS, A. F. M. Intoxicação por *Sorghum halepense* (Poaceae) em bovinos no semi-árido. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 201-204, 2006.
- OLIVEIRA, A. R.; FREITAS S. P. Palha de cana-de-açúcar associada ao herbicida trifloxysulfuron sodium + ametryn no controle de *Rottboellia exaltata*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 187-194, 2009.
- OLIVEIRA, L. A. R.; MACHADO, C. A.; CARDOSO, M. N.; OLIVEIRA, A. C. A.; AMARAL, A. L.; RABBANI, A.R.C.; SILVA, A.V.C.; LEDO, A.S. Genetic diversity of *Saccharum* complex using ISSR markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.
- OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 22ª ed. Curitiba: Ompix Editora Ltda, 2011, p. 263-304.
- PORFIRI, C., MONTOYA, J. C., KOSKINEN, W. C., AZCARATE, M. P., 2015. Adsorption and transport of imazapyr through intact soil columns taken from two soils under two tillage systems. **Geoderma**, 251–252, 1–9.

- PRATA, F.; LAVORENTI A. A retenção e mobilidade de defensivos agrícolas no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE DINÂMICA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO SOLO: aspectos práticos e ambientais, 2002. **Piracicaba. Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. P. 56-69.
- PROCÓPIO, S. O. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. **Viçosa: UFV**, 150 p. 2003.
- RENNER, K. A. et al. Effect of tillage an application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technol.**, v. 12, n. 2, p. 281-285, 1998.
- REGITANO, J.B.; ALLEONI, L.R.F.; TORNISIELO, V.L. Atributos de solos tropicais e a sorção de imazaquin. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.801- 807, 2001.
- REFATTI, J.P.; AVILA, L.A.; AGOSTINETTO, D.; MANICA-BERTO, R.; CASBUNDT, A.; ELGUEIRA, D.B. Efeito da calagem na lixiviação de imazethapyr e imazapyr em solo de cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.44, n.6, p.1008-1014, 2014.
- RIBEIRO NM, et. al. Suscetibilidade diferencial de espécies de ipomeia (*Ipomoea* e *Merremia*) a herbicidas residuais e o efeito de períodos de seca sobre a eficácia. **Australian Journal of Crop Science**. 4: 1090-1098. 2018.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina: Edição dos Autores, 2005. 591 p.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 7. Ed. Londrina: IAPAR, 2018. 763 p.
- ROSSI, C.V.S.; LUCHINI, L.C.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI; E.; COSTA, A.G.F.; CORRÊA, T.M.; PIVETTA, J.P. Associação do metribuzin à palha de cana-de-açúcar na eficácia de controle de plantas daninhas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, 24, 2004b, São Pedro. Anais. São Pedro: SBCPD, 2004, p.51.
- ROSSI, CVS, VELINI, ED; LUCHINI, LC; NEGRISOLI, E .; CORREA, MR; PIVETTA, J.P C. A.G.F Silva. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicada sobre palha de cana-de- açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v.31, n.1, p.223-230, 2013.
- SELIM, H.M.; ZHOU, L. & ZHU, H. (2003) - Herbicide retention in soil as affected by sugarcane mulch residue. **Journal of Environmental Quality**, vol. 32, n. 4, p. 1445-1454.
- SI, Y.; ZHANGA, J.; WANGB, S.; ZHANGA, L.; ZHOU, D. Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. **Geoderma**, v. 130, n. 1, p. 66-76, 2006.
- SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA, JUNIOR, R. S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, **MG: Editora UFV**, 2007. 367 p.
- SILVA, G. B. F.; AZANIA, C.A.M.; NOVO, M.C.S.S.; WUTKE, E.B.; ZERA, F.S.; AZANIA, A.A.P.M. Tolerância de espécies de mucuna a herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 30, n. 3, p. 589-597. 2012.

SILVA, P. V. da.; MONQUERO, P.A. Influência da palha no controle químico de plantas daninhas no sistema de cana crua. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.1, p.94-103, jan./abr. 2013.

SILVA, A.A.; D'ANTONIO, L.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR., R.S. Comportamento de herbicidas no solo. In: Monquero, P. A. Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas. São Carlos: **RiMa Editora**, 2014. v.1, cap. 8, p.167-215.

SILVA, Paulo Vinicius da. Comportamento ambiental e bioatividade sobre plantas daninhas de herbicidas residuais aplicados sobre a palha de cana de açúcar em diferentes condições hídricas do solo. 2018. **Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, São Paulo, 2018.

SIMONI, F. et al. Eficácia de imazapic e sulfentrazone sobre *Cyperus rotundus* em diferentes condições de chuva e palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 769-778, 2006.

SMITH, M. C. et al. Integrated management of itchgrass in a corn cropping system: **Modelling the effect of control tactics**. *Weed Sci.*, v.49, n. 1, p. 123-134, 2001.

SINDIVEG. Mercado total de defensivos agrícolas por produto aplicado. Estatísticas. **Sindiveg**, 2022. Disponível em:<<https://sindiveg.org.br/mercado-total>> . Acesso em: 15/08/2022.

SOARES, M. B. B.; FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; CARREGA, W. C.;ALBUQUERQUE, J. A.A. PIROTTA, M. Z. Fitossociologia de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo de solo em áreas de reforma de cana crua. **Agroambiente**, v. 5, n. 3, p. 173-181, 2011.

SOUZA, Z. M. et al. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v35, n.5, p.1062-1068, set-out, 2005.

SUDIANTO E. et al. Clearfield® rice: Its development, success, and key challenges on a global perspective. **Crop Prot.** 2013;49:40-51.

SHANER, D. L.; SINGH, B. K. Phytotoxicity of acetohydroxyacid synthase inhibitors is not due to accumulation of 2-ketobutyrate and/or 2-aminobutyrate. **Plant Physiol.**, v. 103, n. 4, p. 1221-1226, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TAN S., EVANS R., SINGH B. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**. 2006;30:195-204.

TOFOLI, GR; VELINI, ED; NEGRISOLI, E .; CAVENAGHI, AL; MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar.**Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.27, n. 4, pág. 815-821, 2009.

TOLEDO, REB et al. Eficácia do herbicida amicarbazone aplicada sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar.**Planta Daninha**, v.27, n.2, p.319-326, 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Relatório final safra 2019/2020**: acompanhamento de safra. 2020.

VIZANTINOPOULOS, S.; LOLOS, P. Persistence and leaching of the herbicide imazapyr in soil. Bull. **Environ. Contam. Toxicol.**, v. 52, p. 404-410, 1994.

WANG Q., Liu W. Correlation of imazapyr adsorption and desorption with soil properties. **Soil Sci.** 1999;164(6):411-6.