

ALEIXA DE JESUS SILVA

DINÂMICA, METABOLISMO E AÇÃO DE TIAFENACIL EM PLANTAS

Botucatu

2025

ALEIXA DE JESUS SILVA

DINÂMICA, METABOLISMO E AÇÃO DE TIAFENACIL EM PLANTAS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

Botucatu

2025

S586d

Silva, Aleixa de Jesus

Dinâmica, metabolismo e ação de tiafenacil em plantas / Aleixa de Jesus Silva. -- Botucatu, 2025
54 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

1. Capim-pé-de-galinha. 2. Capim-braquiaria. 3. Leiteiro. 4. Estresse hídrico. 5. Plantas daninhas. I. Título.

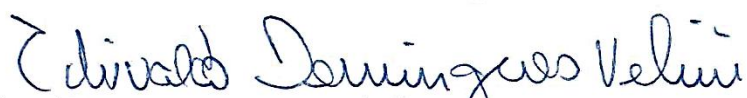
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: DINÂMICA, METABOLISMO E AÇÃO DE TIAFENACIL EM PLANTAS.

AUTORA: ALEIXA DE JESUS SILVA

ORIENTADOR: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu
Pesquisador Dr. ROBERTO ESTÊVÃO BRAGION DE TOLEDO (Participação Virtual)
/ Ourofino Agrociência
Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Botucatu, 07 de março de 2025.

AGRADECIMENTOS

A Deus por seu amor incondicional e salvação eterna, por sempre estar comigo e me rodear de pessoas maravilhosas que me levam a trilhar Seu caminho.

Aos meus pais, José Cândido e Geracilda Eva, por apoiarem meus projetos, ideias e decisões, muitas das vezes sem justificativas. Pela dedicação e esforço sem medidas em me ensinar e instruir na Palavra de Deus.

Às minhas irmãs, Amanda e Caroline, por sempre estarem dispostas a escutar minhas incertezas e pelo apoio em todos meus anos de vida.

Ao Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini pela paciência, orientação e imensuráveis ensinamentos transmitidos.

À Ivana Paula Ferraz Santos e Ana Karollyna Alves de Matos pela paciência e pelo tempo dedicado em me ajudar e ensinar. Pelos indispensáveis conhecimentos compartilhados nesse período de convivência.

Ao Dr. Sidnei Douglas Cavalieri e Dr^a. Fernanda Satie Ikeda pelas orientações e encorajamento em prosseguir na pós-graduação.

À equipe técnica do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) e da Bioativa, Marcelo Viana de Moraes, José Roberto Marques Silva, Luis Marcelo Siono e José Guilherme Ferreira Cordeiro, pela colaboração e suporte na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Caio Antônio Carbonari e Dr. Roberto Bragion de Toledo pela disponibilização em colaborar com este trabalho.

Às amigas feitas durante a pós-graduação, Aressa Peres, Alysson Dalma, Gisleide Nunes, Isadora Frederico, Jéssica Bonamichi, Mari Carmen, Mariana Ferreira, Marina Cuchi, Tamara Mundt, Vandrei Cassimiro e demais colegas de laboratório, pelos bons momentos compartilhados, pelas conversas e altas risadas que tornaram este trajeto mais agradável.

Aos meus amigos da Igreja Presbiteriana do Brasil (IPJP) Carol Andrade, Gisele, Hélio, Jheizon, Júlia, Laura e Rafael, pelas orações e momentos de comunhão.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), ao Programa de Agronomia/Agricultura pela oportunidade e aos professores pelo conhecimento e ensinamento durante minha formação.

À Ourofino Agrociência pela disponibilização das amostras e oportunidade de trabalhar com a empresa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudo concedida.

Sempre grata.

RESUMO

O tiafenacil é o ingrediente ativo do produto comercial Terrad'or e atua na inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), possui rápida ação nas plantas e amplo espectro de controle, sendo recomendado para aplicação em pós-emergência de plantas daninhas. Por ser uma molécula recém-lançada no Brasil, poucos são os estudos de dinâmica, metabolismo e eficácia em plantas. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi estudar a dinâmica, metabolismo e eficácia do herbicida tiafenacil em plantas. Os estudos foram conduzidos em casa de vegetação e os experimentos realizados em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições. Para o estudo de absorção, a dose de 81,36 g i.a. ha⁻¹ foi aplicada em duas condições hídricas (com e sem estresse hídrico) e em três períodos de análise [deposição (15 minutos), 6 e 24 horas após aplicação (HAA)]. Para o experimento de translocação, foram aplicadas quatro doses de tiafenacil (0; 4,07; 40,68; e 81,36 g i.a. ha⁻¹ acrescidas de 0,5% v v⁻¹ do adjuvante Nori®) em plantas de *Urochloa decumbens*, com a proteção de um perfilho da planta para as aplicações. Aos 7 dias após a aplicação (DAA) os perfilhos aplicados e protegidos foram coletados, submetidos a lavagem e maceração para determinação dos teores interno, externo (não absorvido) e total (interno mais externo) por LC-MS/MS. A eficácia foi avaliada em plantas *Eleusine indica*, *Euphorbia heterophylla* e *U. decumbens* com 14 tratamentos, em esquema fatorial 2 x 7, sendo 2 herbicidas (tiafenacil e tiafenacil ácido) e 7 doses (0; 7,42; 14,83; 29,66; 59,33; 118,65 e 237,30 g i.a. ha⁻¹), acrescidas de 0,5% v v⁻¹ do adjuvante Nori®. As avaliações visuais de fitointoxicação em *E. heterophylla* foram realizadas aos 2 e 5 DAA, e aos 2, 7, 14 e 21 DAA em *E. indica* e *U. decumbens*, com coleta e secagem em estufa das plantas no último período para determinação da massa seca. No experimento de absorção, constatou-se baixos teores do herbicida nas plantas em relação ao total aplicado, porém os teores depositados foram rapidamente absorvidos pelas plantas nos períodos de 6 e 24 HAA, sendo observada influência do déficit hídrico na dinâmica do tiafenacil. Não foram identificados teores de tiafenacil e sua forma ácida no perfilho protegido independente da dose aplicada. O tiafenacil em sua forma ácida apresentou controle eficiente das espécies *E. indica* e *E. heterophylla* com doses menores que as recomendadas, enquanto plantas de *U. decumbens* demonstraram menor sensibilidade aos herbicidas. Conclui-se que o herbicida tiafenacil teve rápida absorção nas plantas, com alta eficácia no controle das plantas daninhas mesmo utilizando doses menores que as recomendadas, e não sendo observados teores nos perfilhos protegidos.

Palavras-chave: Terrad'or; capim-pé-de-galinha; leiteiro; braquiária; estresse hídrico.

ABSTRACT

Tiafenacil is the active ingredient of the commercial product Terrad'or and acts by inhibiting the enzyme protoporphyrinogen oxidase (PROTOX). It exhibits rapid action on plants and a broad control spectrum and is recommended for post-emergence application in weeds. As a newly launched molecule in Brazil, there are few studies regarding its dynamics, metabolism, and efficacy in plants. Therefore, the objective of this study was to investigate the dynamics, metabolism, and efficacy of the herbicide tiafenacil in plants. The studies were conducted in a greenhouse, and the experiments were arranged in a completely randomized design with four replications. For the absorption study, a dose of 81.36 g a.i. ha⁻¹ was applied under two water conditions (with and without water stress) and at three evaluation periods [deposition (15 minutes), 6, and 24 hours after application (HAA)]. For the translocation experiment, four doses of tiafenacil (0; 4.07; 40.68; and 81.36 g a.i. ha⁻¹ with the addition of 0.5% v v⁻¹ of the adjuvant Nori®) were applied to *Urochloa decumbens* plants, protecting one tiller of the plant during application. At 7 days after application (DAA), the treated and protected tillers were collected, washed, and ground for determination of internal, external (non-absorbed), and total (internal plus external) residues by LC-MS/MS. Herbicide efficacy was evaluated on *Eleusine indica*, *Euphorbia heterophylla*, and *U. decumbens* plants under a 2 × 7 factorial scheme, consisting of two herbicides (tiafenacil and tiafenacil acid) and seven doses (0; 7.42; 14.83; 29.66; 59.33; 118.65; and 237.30 g a.i. ha⁻¹), all with the addition of 0.5% v v⁻¹ of the adjuvant Nori®. Visual phytotoxicity evaluations were performed at 2 and 5 DAA for *E. heterophylla* and at 2, 7, 14, and 21 DAA for *E. indica* and *U. decumbens*, followed by collection and oven-drying of the plants at the final evaluation for dry mass determination. In the absorption experiment, low herbicide levels were detected in the plants relative to the total applied, but the deposited amounts were rapidly absorbed within 6 and 24 HAA, with water deficit influencing tiafenacil dynamics. No residues of tiafenacil or its acid form were detected in the protected tillers regardless of the dose applied. Tiafenacil acid showed efficient control of *E. indica* and *E. heterophylla* at doses lower than those recommended, whereas *U. decumbens* plants exhibited lower sensitivity to the herbicides. It is concluded that tiafenacil was rapidly absorbed by the plants, achieving high weed control efficacy even at lower doses than recommended, and no residues were observed in the protected tillers.

Keywords: Terrad'or; goosegrass; wild poinsettia; brachiaria; water stress.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
CAPÍTULO 1 - DINÂMICA DO HERBICIDA TIAFENACIL EM PLANTAS DE CAPIM-BRAQUIÁRIA (<i>Urochloa decumbens</i>)	17
1.1 INTRODUÇÃO	17
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	19
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
1.4 CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 2 – EFICÁCIA DO HERBICIDA TIAFENACIL NO CONTROLE DE CAPIM-PÉ-DE-GALINHA (<i>Eleusine indica</i>), LEITEIRO (<i>Euphorbia heterophylla</i>) E CAPIM-BRAQUIÁRIA (<i>Urochloa decumbens</i>)	33
2.1 INTRODUÇÃO.....	33
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
2.4 CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS	49
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS	53

INTRODUÇÃO GERAL

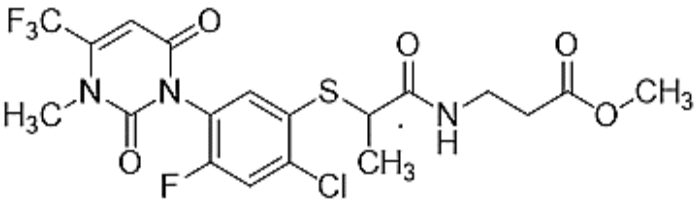
Plantas daninhas são plantas que competem com a cultura por nutrientes, água e luz, causam perdas econômicas ou danos ecológicos, cria problemas de saúde humana e animal e/ou que cresce onde é indesejável (BLANCO, 1972; WSSA, 2016). Para a agricultura, além da interferência por competição, que resulta em redução de produtividade, essas plantas também podem atuar como hospedeiras de pragas e doenças, dificultar a colheita da planta cultivada, entre outros danos.

O principal método de controle das plantas daninhas é o químico, que tem como vantagens eficiência e menor custo, quando racionalmente utilizado. Entretanto, o uso incorreto por longos períodos pode acarretar a seleção de biótipos de espécies de plantas daninhas resistentes. Este cenário fez com que novas práticas de manejo e alternativas a esses herbicidas fossem desenvolvidas.

Dentre os novos herbicidas registrados para uso no Brasil, tem-se o tiafenacil pertencente ao grupo químico das uracilas (Tabela 1) que atua na inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), localizada nos cloroplastos e mitocôndrias, última enzima comum das rotas de síntese do grupo heme e da clorofila. Ela converte a protoporfirinogênio-IX em protoporfirina-IX, por meio de aromatização oxidativa, com exigência de oxigênio molecular, que é reduzido em peróxido de hidrogênio (MANTRINGE *et al.*, 1989; DUKE *et al.*, 1991).

O herbicida atua pela inibição competitiva da PROTOX, resultando no acúmulo de protoporfirinogênio-IX que se difunde para o citoplasma da célula, onde é convertido em protoporfirina-IX por peroxidases insensíveis ao herbicida. Por ser um composto fotodinâmico e seu acúmulo no citoplasma, ocorre a formação de oxigênio singlet ($O^{\cdot}$) quando na presença de luz e oxigênio molecular, provocando a peroxidação dos lipídeos de membranas e inibindo a síntese de clorofila, consequentemente, morte da célula (MANTRINGE *et al.*, 1989; HAO *et al.*, 2011; CARVALHO E GONÇALVES NETTO, 2016).

Tabela 1 - Fórmula estrutural e propriedades físico-químicas do tiafenacil.

Nome comum	tiafenacil
Grupo químico	uracila
Fórmula estrutural	
Fórmula molecular	$C_{19}H_{18}ClF_4N_3O_5S$
IUPAC nomenclatura	methyl 3-[(2RS)-2-({2-chloro-4-fluoro-5-[3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)-3,6-dihydropyrimidin-1(2H)-yl]-phenyl}sulfanyl)propanamido]propanoate
Peso molecular	511,9 g mol ⁻¹
Solubilidade em água a 20°C	110 mg L ⁻¹
Log K_{ow} a 25°C	1,95
Pressão de vapor a 20°C	<1,48 x 10 ⁻⁸ Pa

Fonte: adaptado de APVMA (2020); PPDB (2025); PubChem (2025).

Park *et al.* (2018) constataram que o tiafenacil possui níveis semelhantes de inibição da PROTOX quando comparado a herbicidas do mesmo grupo químico, o butafenacil e saflufenacil. Quando comparados com o grupo químico difeniléteres, herbicidas que também são inibidores da PROTOX, as uracilas possuem maior eficácia na inibição da enzima PROTOX, devido a estrutura heterocíclica do herbicida, conferindo maior afinidade com a enzima.

O tiafenacil foi desenvolvido pela empresa FarmHannong Co., Ltd., localizada na Coreia do Sul. No Brasil, foi lançado com o nome comercial Terrad'or® pela empresa Ourofino Agrociência. É um herbicida indicado para aplicação no manejo pré-plantio das culturas de milho e soja, aplicação em jato dirigido na cultura de café e citros, e dessecação pré-colheita nas culturas de algodão, feijão e soja. É classificado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) como produto pouco

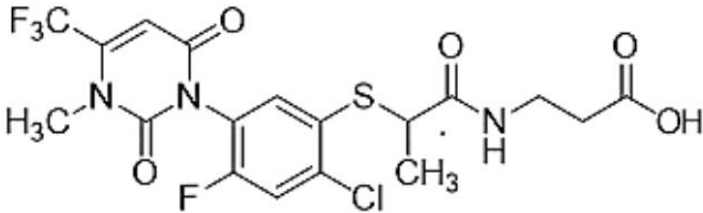
improvável de causar dano agudo (Categoria 5). Possui amplo espectro de controle e é indicado para o manejo das principais plantas daninhas com registros de resistência a diversos herbicidas e de difícil controle, como *Eleusine indica* (capim-pé-de-galinha), *Euphorbia heterophylla* (leiteiro ou amendoim-bravo), *Digitaria insularis* (capim-amargoso), *Amaranthus* spp. (caruru), *Conyza bonariensis* (Buva), *Bidens pilosa* (picão-preto), *Urochloa decumbens* (capim-braquiária), entre outras (AGROFIT, 2025).

Devido ao recente lançamento do tiafenacil, ainda são escassas as pesquisas voltadas para o conhecimento da sua dinâmica no ambiente, resultando em pouca informação sobre sua dinâmica nas plantas. No que diz respeito à sua eficácia de controle, alguns trabalhos têm sido realizados com o objetivo de avaliar o controle das principais espécies daninhas resistentes a outros mecanismos de ação, inserindo-o no sistema como alternativa de manejo, seja em aplicação isolada ou em diferentes misturas e épocas de aplicação (DUARTE *et al.*, 2023; ALBRECHT *et al.* 2024; LAGUERRE; CONTRERAS JR; HANSON, 2024; PANIÇA *et al.*, 2024). Todavia, é necessário a determinação das doses que proporcionem um controle eficiente de diferentes espécies. Essas informações auxiliam o uso correto e adequado do produto, garantindo a preservação do ingrediente ativo.

Cada composto herbicida é único em termos de dinâmica no ambiente e está sujeito a inúmeras reações originando diferentes metabólitos dependentes de suas características físico-químicas, condições ambientais, propriedades químicas e físicas do solo, morfologia, anatomia e idade das plantas alvo, formulação do produto, entre outros fatores. Alguns estudos demonstraram que o tiafenacil passa por diversas transformações bioquímicas que resultam na formação de vários compostos metabólitos (APVMA, 2020; ZHOU *et al.*, 2024).

O tiafenacil ácido (Tabela 2) é um dos metabólitos do tiafenacil, resultado da hidrólise do radical metil éster ($-\text{COOCH}_3$) e formação de um grupo ácido carboxílico ($-\text{COOH}$). Considerando-se a possibilidade de alteração do tiafenacil para sua forma ácida, torna-se de grande relevância o conhecimento a respeito do seu efeito herbicida, doses, eficiência de controle e dinâmica nas plantas.

Tabela 2 - Fórmula estrutural e propriedades físico-químicas do metabólito tiafenacil ácido.

Nome comum	tiafenacil ácido
Grupo químico	uracila
Fórmula estrutural	
Fórmula molecular	$C_{18}H_{16}ClF_4N_3O_5S$
IUPAC nomenclatura	3-[2-[2-chloro-4-fluoro-5-[3-methyl-2,6-dioxo-4-(trifluoromethyl)pyrimidin-1-yl]phenyl]sulfanylpropanoylamino]propanoic acid
Peso molecular	497,8 g mol ⁻¹

Fonte: adaptado de PPDB (2025); PubChem (2025).

Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho a produção de informações sobre a dinâmica do herbicida tiafenacil (Terrad'or®) em plantas e sua eficácia de controle.

CAPÍTULO 1

DINÂMICA DO HERBICIDA TIAFENACIL EM PLANTAS DE CAPIM-BRAQUIÁRIA (*Urochloa decumbens*)

1.1 INTRODUÇÃO

O tiafenacil é um novo ingrediente ativo que possui como mecanismo a inibição da ação da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). No Brasil, foi lançado com o nome comercial Terrad'or® pela empresa Ourofino Agrociência. Possui amplo espectro de controle, é recomendado para aplicação em pós-emergência de plantas daninhas e tem rápida ação fitotóxica (AGROFIT, 2025).

Os herbicidas inibidores da PROTOX são conhecidos por terem baixa ou nenhuma mobilidade na planta. Isso ocorre, principalmente, devido à rápida ação desses herbicidas que causam expressivos danos à estrutura foliar em curto espaço de tempo resultando em baixa translocação para as demais partes da planta (RIZZARDI, *et al.*, 2008). Entretanto, devido ao recém lançamento do herbicida tiafenacil, pouco se sabe sobre sua dinâmica nas plantas, um processo influenciado por fatores inerentes às plantas, características físico-químicas dos herbicidas e fatores ambientais.

Os aspectos relacionados às plantas incluem anatomia foliar, estágio de desenvolvimento, espécie alvo, morfologia das folhas e presença de estruturas especializadas, como tricomas. O movimento do herbicida do local de contato para demais partes da planta está relacionado, principalmente, às suas propriedades lipofílicas e hidrofílicas, medidas por meio do coeficiente de partição (Kow), e o pKa, que indica a capacidade de dissociação do herbicida (ROMAN E VARGAS, 2005; SILVA *et al.* 2007).

O pKa de um herbicida determina seu grau de ionização, o qual pode variar conforme o pH do meio (herbicidas iônicos) ou permanecer constante (herbicidas não iônicos). De maneira geral, herbicidas com baixos valores de pKa possuem maior mobilidade via floema. Por outro lado, compostos com pKa elevado tendem a permanecer ionizados ou na forma neutra, apresentando baixa mobilidade sistêmica.

O coeficiente de partição octanol/água ($\log K_{ow}$), por sua vez, indica a afinidade da molécula por fases lipofílicas ou hidrofílicas, sendo um parâmetro fundamental para prever a eficiência de absorção foliar e a capacidade de translocação nos tecidos vegetais (DEVINE *et al*, 1993; SHANER, 2014).

Para o herbicida tiafenacil, o valor de $\log K_{ow}$ é de 1,95 e o pKa de 10,4 (Tabela 1) sugerem que se trata de uma molécula moderadamente lipofílica, capaz de atravessar rapidamente a cutícula foliar, mas com mobilidade limitada no floema.

Tabela 1 - Fórmula estrutural e propriedades físico-químicas do herbicida tiafenacil.

Nome comercial	Terrad'or®
Ingrediente ativo	tiafenacil
Concentração	339 g i.a. L ⁻¹
Grupo químico	uracila
Peso molecular	511,9 g mol ⁻¹
Solubilidade em água a 20°C	110 mg L ⁻¹
Log K_{ow} a 25°C	1,95
Pressão de vapor a 20°C	<1,48 x 10 ⁻⁸ Pa
pKa	10,4

Fonte: adaptado de APVMA (2020); AGROFIT (2025); Ourofino Agrociência (2025).

A temperatura, disponibilidade e concentração do herbicida, umidade relativa da atmosfera e umidade do solo são fatores ambientais que também interferem na dinâmica do herbicida nas plantas (SILVA *et al.* 2007). Quando a planta daninha se encontra em ambiente que um ou mais desses fatores não estão em condições adequadas, a eficácia do produto pode não atingir níveis desejáveis de controle.

Plantas sob condições de estresse hídrico podem apresentar mudanças morfológicas que ocasionam a redução na absorção e translocação de herbicidas aplicados em pós-emergência, resultando em menor eficiência de controle (PEREGOY *et al.*, 1990). Pereira (2010) observou menor controle de espécies de

Urochloa spp. submetidas a estresse hídrico utilizando herbicidas inibidores da ACCase. Da mesma forma, Roman *et al.* (2005) constataram decréscimo no controle de plantas de *Euphorbia heterophylla* não irrigadas ao utilizar o herbicida carfentrazone-ethyl.

Um dos metabólitos do tiafenacil é o tiafenacil ácido, resultado da hidrólise do radical metil éster e formação de um grupo ácido carboxílico na molécula (ZHOU *et al.*, 2024). No presente trabalho, considerou-se importante a quantificação desse metabólito após a absorção do herbicida nas plantas para melhor compreensão sobre a conversão do tiafenacil em tiafenacil ácido e sua dinâmica.

Diante disso, entende-se a importância de obter informações sobre a penetração, absorção e translocação do herbicida tiafenacil nas plantas, bem como a influência do estresse hídrico em sua dinâmica. Devido à sua rápida ação, a utilização de plantas menos sensíveis ao herbicida pode ser uma ferramenta para melhor compreensão de sua dinâmica.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi estudar a dinâmica do herbicida tiafenacil em plantas de capim-braquiária (*Urochloa decumbens*) e a influência do estresse hídrico.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do estudo de dinâmica do herbicida tiafenacil em plantas de capim-braquiária, conduziu-se dois experimentos, sendo um de absorção e outro de translocação, no laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu, São Paulo (22°84'S; 48°W Gr.). Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições e conduzido em casa de vegetação.

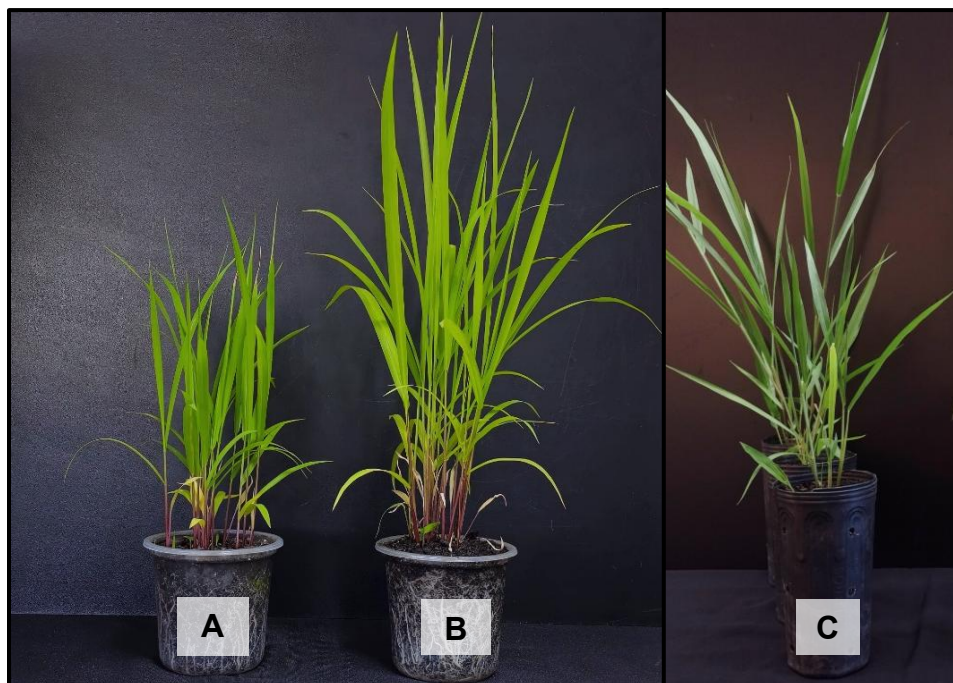
As plantas de capim-braquiária já se encontravam em avançado estágio de desenvolvimento, no qual o tiafenacil não seria recomendado isoladamente. Portanto o estudo não teve por objetivo avaliar controle e sim a dinâmica do tiafenacil nas plantas.

Para o experimento de absorção, a dose de aplicação do tiafenacil foi de 81,36 g i.a. ha⁻¹ (240 mL ha⁻¹ de Terrad'or®) acrescido 0,5% v/v do adjuvante Nori® e testemunha sem aplicação. Foi realizado duas condições hídricas (com e sem

estresse hídrico), três períodos de coletas (15 minutos após aplicação (MAA) para identificação da quantidade total depositada; 6 e 24 horas após aplicação (HAA)). As parcelas foram constituídas por vasos de 0,35 L de volume, preenchidos com 100 g de substrato comercial, mantendo-se 20 plantas de capim-braquiária (Figura 1). Para simulação do estresse hídrico, as parcelas constituídas dos tratamentos com essa condição, foram submetidas a rega apenas na presença de sintomas de murcha, com irrigação mínima para manutenção das plantas. Após a aplicação do herbicida, a disponibilidade de água foi a mesma para todas as parcelas, mantendo-se o solo com umidade, independente do tratamento.

Para o experimento de translocação utilizou-se três doses de tiafenacil: 4,07; 40,68; e 81,36 g i.a. ha⁻¹ (12, 120 e 240 mL ha⁻¹ de Terrad'or®, respectivamente) acrescido 0,5% v/v do adjuvante Nori®, e testemunha sem aplicação. As parcelas foram constituídas por vasos de 1,7 L de volume, preenchidos com 1000 g de substrato comercial, mantendo-se uma planta de capim-braquiária (Figura 1).

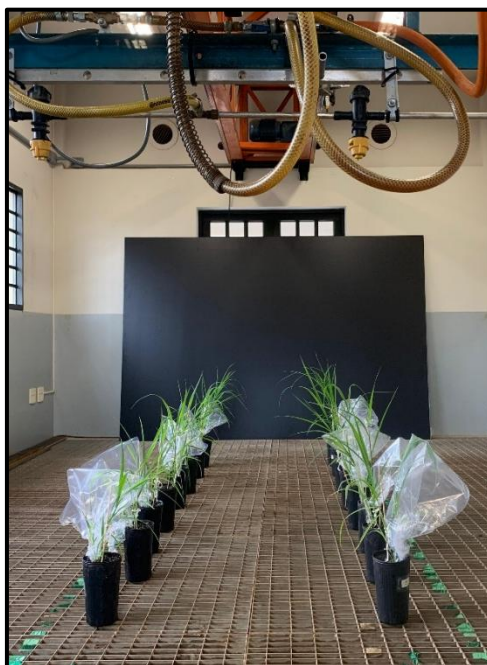
Figura 1 - A) Parcela do experimento de absorção com estresse hídrico e B) sem estresse hídrico; e C) Parcela do experimento de translocação



Foram utilizados vasos maiores para o experimento de translocação pois era necessário favorecer o maior desenvolvimento das plantas que foram mantidas por mais tempo para formação de perfilhos. No momento da aplicação, as plantas apresentavam 3 a 4 perfilhos.

Para realização da aplicação dos tratamentos, realizou-se a proteção de um perfilho de cada planta utilizando sacos plásticos (Figura 2). Após a aplicação, retirou-se os sacos plásticos dos perfilhos protegidos e os vasos retornaram para casa de vegetação.

Figura 2 - Aplicação do experimento de translocação em plantas de capim-braquiária com um perfilho protegido.



Para a aplicação dos tratamentos utilizou-se um pulverizador estacionário instalado em ambiente fechado, provido com barra de pulverização com quatro pontas de pulverização TeeJet XR110.02VS, espaçadas de 0,5 m e posicionadas a 0,5 m em relação aos alvos. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹ com volume de calda de 200 L ha⁻¹, sob pressão constante de 150 kPa, pressurizado por ar comprimido.

Para a quantificação do produto depositado no experimento de absorção, as plantas foram coletas aos 15 minutos após aplicação permitindo que o produto secasse sobre a superfície foliar.

Para a determinação dos teores externos e internos às plantas, coletou-se a parte aérea das plantas com um corte na base. Os períodos de coletas do experimento referente a absorção, foram aos 15 minutos após aplicação (deposição), 6 e 24 HAA. O material coletado foi pesado e submetido a duas lavagens de 150 e 200 mL de água deionizada, totalizando volume da solução de 300 mL e 400 mL para plantas com e sem estresse, respectivamente.

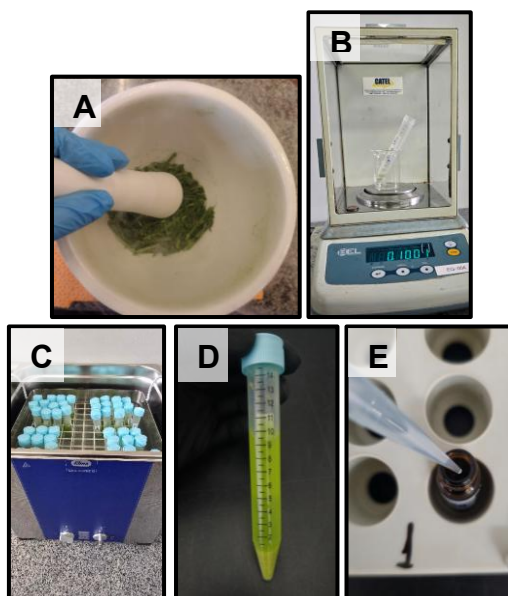
Para o experimento de translocação, aos 7 dias após aplicação (DAA), coletou-se os perfilhos protegidos sem aplicação e perfilhos com aplicação. Os perfilhos protegidos foram armazenados em freezer a -80°C sem realizar processo de lavagem pois não foram realizada aplicação do produto. Os perfilhos com aplicação, foram pesados e submetidos a duas lavagens de 200 mL de água deionizada, totalizando 400 mL de solução.

A solução obtida das lavagens das plantas dos dois experimentos, foram homogeneizada e reservado 5 mL com 5 mL de metanol. As plantas lavadas foram armazenadas em freezer a -80°C .

Para quantificação do teor externo (não absorvido) dos herbicidas, foram filtrados em membrana porosa (PVDF de $0,45\ \mu\text{m}$ e 13,0 mm de diâmetro) 3 mL da solução de lavagem de cada período de coleta. As amostras foram diluídas e acondicionada em frascos tipo “vials” de 2 mL para análises cromatográficas.

Para determinação dos teores internos, o material vegetal armazenado foi macerado manualmente com nitrogênio líquido e seco em liofilizador. Posteriormente, pesaram-se 0,1 g de cada amostra em tubo Falcon de 15 mL, adicionando-se 10 mL da solução extratora metanol:água (80:20 v v⁻¹). As amostras foram submetidas à sonicação por 30 minutos, filtradas em filtro de membrana porosa (PVDF de $0,45\ \mu\text{m}$ e 13,0 mm de diâmetro), diluídas e acondicionada em frascos do tipo “vials” de 2 mL para análises cromatográficas (Figura 3).

Figura 3 - A) Maceração; B) Pesagem; C) Sonicação; D) Amostra após sonicação; e E) Amostra condicionada em “vials” de 2 mL



A determinação das concentrações dos herbicidas nas soluções foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência e espectrometria de massas, por um sistema LC-MS/MS, composto por um cromatógrafo líquido de alta eficiência (LCMS-8060NX, Shimadzu Corporation), acoplado a um espectrômetro de massas triplo quadrupolo (LC-40D XR, Shimadzu Corporation). As condições cromatográficas para o tiafenacil e o tiafenacil ácido estão apresentadas na Tabela 2.

O tempo total de corrida cromatográfica para o tiafenacil e ácido tiafenacil foi de 7 minutos, com retenção na coluna cromatográfica de 3,95 e 3,41 minutos, respectivamente; curvas analíticas $y = -385,3434x^2 + 33675,07x$ e $y = -5254,916x^2 + 571288,1x$; e coeficiente de determinação $R^2 = 0.9993$ e $R^2 = 0,9996$, respectivamente.

O teor total foi considerado o valor externo somado ao interno do herbicida aos 15 MAA (depositado). Devido a não quantificação de outros metabólitos do tiafenacil internamente às plantas, o valor absorvido foi considerado o teor total (depositado) menos o teor externo quantificado em cada período de coleta.

Tabela 2 - Condições cromatográficas utilizadas para quantificação dos compostos

Coluna Analítica	Phenyl Hexyl (100 x 2.1mm) - H21-046568
Volume de injeção	5 µL
Fase móvel (pH 7,0)	Fase A (FA) = 100% Água Fase B (FB) = 100% Metanol
Gradiente	0 - 1 minutos = 70% FA e 30% FB 1 - 5 minutos = 5% FA e 95% FB 5 - 7 minutos = 70% FA e 30 % FB
Fluxo	0,5 mL min ⁻¹
Temperatura do forno	40°C

Os dados dos teores totais, externos e absorvidos foram submetidos a análise de variância com auxílio do programa estatístico SISVAR (versão 5.6) e calculado os intervalos de confiança (média ± intervalo de confiança), a partir da fórmula:

$$IC = \frac{t * desvpad}{\sqrt{n}}$$

onde, t é o valor de t tabelado com nível de significância de 5%, desvpad é o desvio padrão da amostra, e n é o número de repetições dentro de cada tratamento.

O valor absorvido também foi convertido em porcentagem.

Para verificar a correlação entre o teor de tiafenacil ácido e o teor total de tiafenacil nas amostras, foi realizada uma análise de regressão linear simples. Os dados foram organizados em pares correspondentes (x, y), sendo o eixo x representado pelos valores de tiafenacil ácido (µg g⁻¹ MS⁻¹) e o eixo y pelos valores do teor total de tiafenacil (µg g⁻¹ MS⁻¹). A análise foi conduzida no software Microsoft Excel®, por meio da inserção de um gráfico de dispersão, com ajuste de linha de tendência linear.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

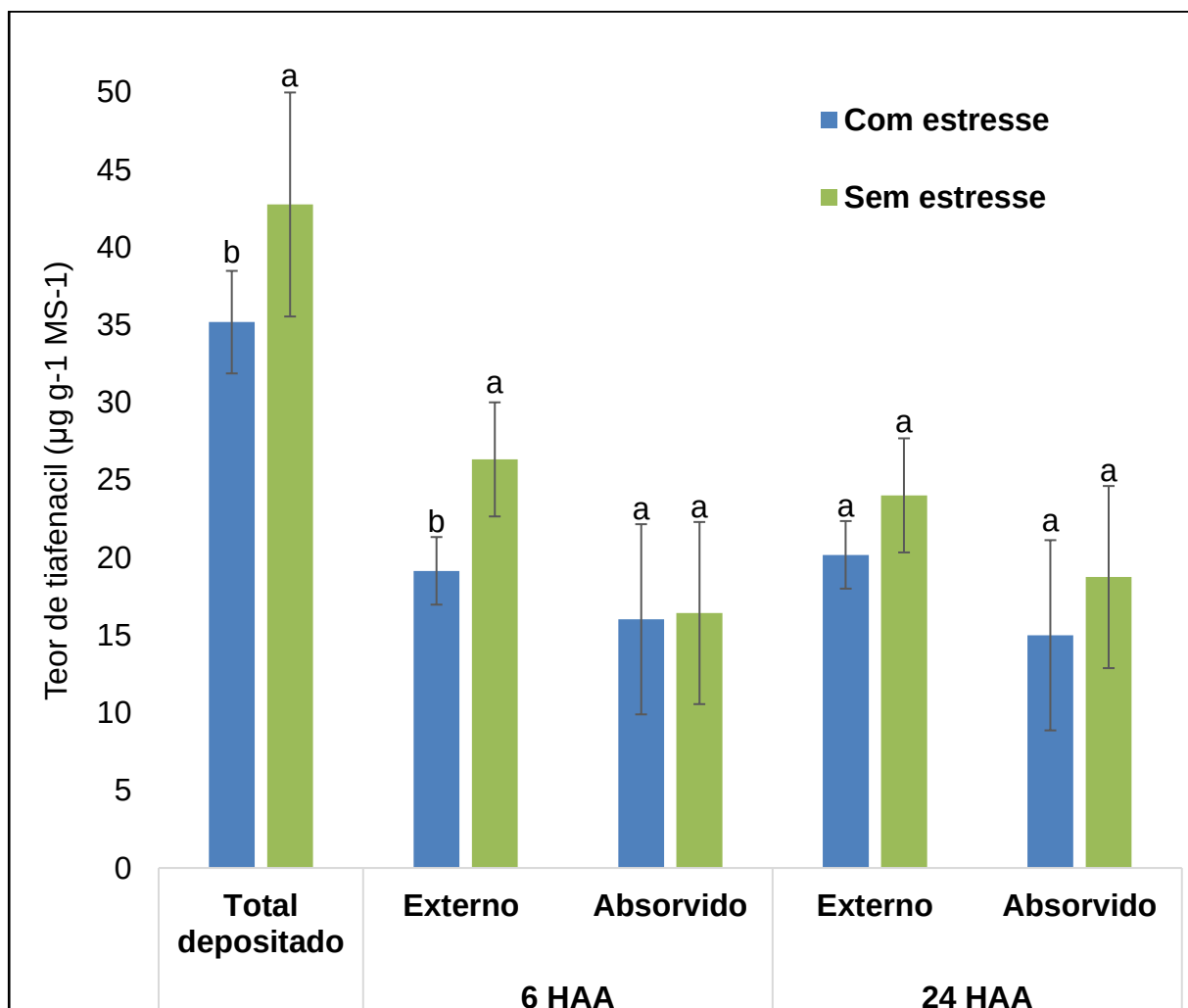
Não foram observados sintomas nas folhas das plantas com aplicação de tiafenacil no período avaliado, o que possibilita a melhor quantificação dos teores externos sem o extravasamento do produto absorvido através das injúrias causadas pelo herbicida durante a lavagem das plantas.

Na Figura 4 encontra-se os teores totais depositado, teor externo, teor absorvido do herbicida tiafenacil pelas plantas de capim-braquiária com e sem estresse hídrico nos períodos avaliados. Em plantas sem estresse hídrico houve maior deposição do herbicida, possivelmente relacionado aos aspectos morfológicos das plantas, já que quando submetidas a déficit hídrico, apresentam decréscimo na produção de massa seca (TAIZ E ZEIGER, 1991).

Plantas em condição de déficit hídrico apresentam diversas adaptações fisiológicas e redução de acúmulo de massa seca e área foliar com o objetivo de regular a redução das perdas de água para a atmosfera (TAIZ E ZEIGER, 1991). A deposição pode ser afetada pelas alterações morfológicas das plantas, como a orientação vertical das folhas, reduzindo a interceptação das gotas pulverizadas (SILVA *et al.*, 2007).

No presente trabalho, as plantas sem estresse hídrico apresentaram maior crescimento do que as com estresse o que possibilitou maior deposição do produto nas folhas. Devido a isso, observou-se maior teor externo de tiafenacil em plantas com estresse as 6 HAA. Às 6 e 24 HAA, os valores de absorção pelas plantas foram semelhantes, independente da condição hídrica avaliada.

Figura 4 – Teor total depositado, externo e absorvido do herbicida tiafenacil às 6 e 24 HAA em plantas de capim-braquiária em condição de estresse e sem estresse hídrico



Médias seguidas pela mesma letra minúscula na comparação entre condições hídricas não diferem entre si pela análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 estão apresentados o teor total depositado, teor externo e porcentagem absorvido de tiafenacil para as duas condições hídricas (com e sem estresse hídrico). Às 6 HAA, a média de absorção do herbicida tiafenacil foi de 41,99% e às 24 HAA igual a 43,24%. Apesar de relativamente baixa, demonstra a rápida absorção do herbicida pelas plantas de capim-braquiária nas primeiras horas após aplicação. O tiafenacil possui valor de $\log K_{ow}$ igual a 1,95 (APVMA, 2020), indicando ser uma molécula com moderada lipofilicidade. Essa característica favorece a penetração pela cutícula das folhas e absorção pelas membranas celulares resultando em uma rápida absorção após sua aplicação (ROMAN; VARGAS, 2005).

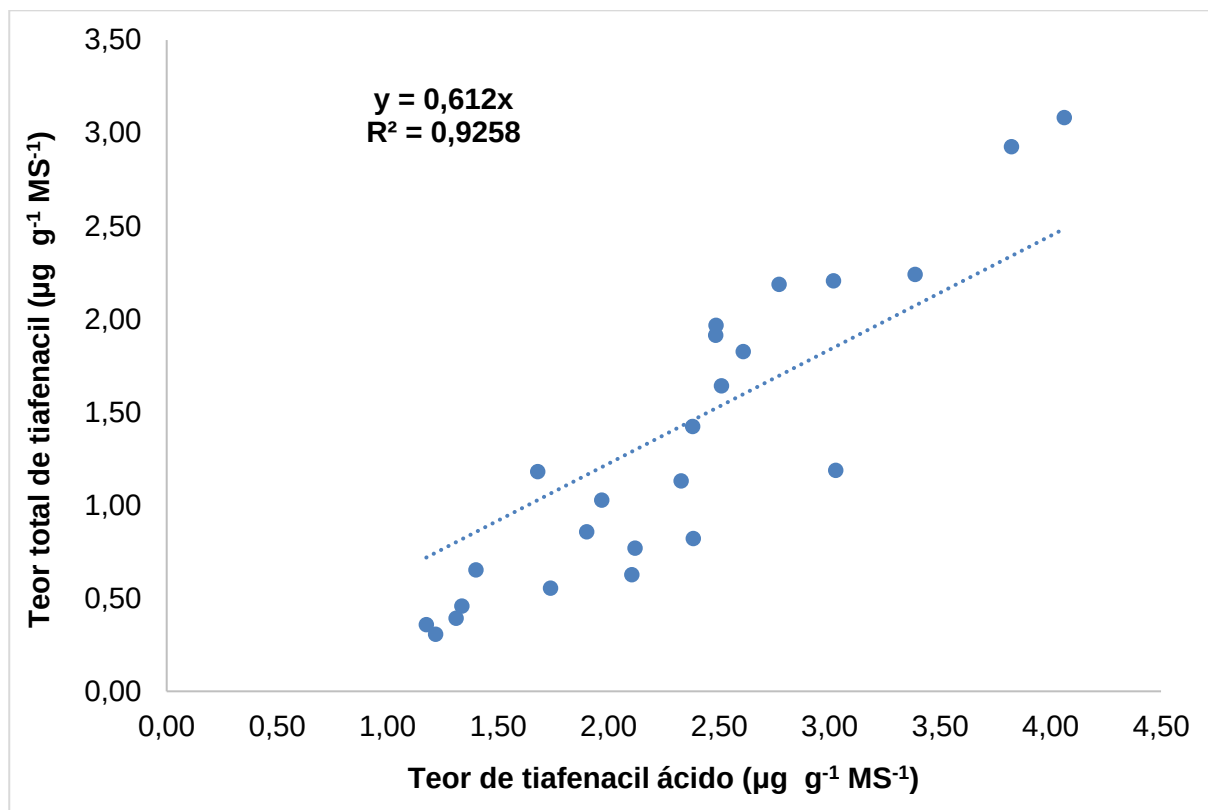
Tabela 3 - Teor total depositado, teor externo e porcentagem absorvido do herbicida tiafenacil as 6 e 24 HAA em plantas de capim-braquiária com e sem estresse hídrico

Condição hídrica	Teor total depositado ($\mu\text{g g}^{-1} \text{MS}^{-1}$)	Teor externo ($\mu\text{g g}^{-1} \text{MS}^{-1}$)		Absorvido (%)	
		6 HAA	24 HAA	6 HAA	24 HAA
Com estresse	35,17	19,15	20,18	45,56	42,63
Sem estresse	42,75	26,33	24,01	38,42	43,85

Assim como o estresse hídrico, outros fatores também podem influenciar a absorção do herbicida pela planta, como fatores inerentes à planta (espécie, estágio de desenvolvimento, morfologia e anatomia das folhas e raízes), fatores ambientais (temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar e do solo, luz, condições química e físicas do solo), tecnologia de aplicação (bico de pulverização, velocidade de aplicação, entre outros) e características do produto (formulação do produto, concentração, adjuvantes, características físico-químicas) (VELINI *et al.*, 2009). Assim, no presente trabalho, nota-se que a absorção do herbicida foi baixa (<50%) e que pode estar relacionado, principalmente, a características do produto e da planta, visto que os fatores relacionados à aplicação e ambiente foram em sistemas controlados.

Na Figura 5 é apresentada a correlação do teor interno total (tiafenacil mais tiafenacil ácido) e o teor de tiafenacil ácido quantificado internamente às plantas de capim-braquiária as 24 HAA. Observa-se que aproximadamente 61% do teor total de tiafenacil as 24 HAA encontrava-se na forma ácida. Dessa forma, constata-se que houve metabolismo do tiafenacil com rápida conversão para sua forma ácida dentro do período de 24 HAA, não sendo identificado tiafenacil ácido externo à planta.

Figura 5 – Correlação dos teores total de tiafenacil e tiafenacil ácido internos a plantas de capim-braquiária as 24 HAA



Teor total de tiafenacil= soma de tiafenacil e tiafenacil ácido quantificados internamente às plantas.

Na Tabela 4 encontram-se os dados referentes ao experimento de translocação, com os teores de tiafenacil e tiafenacil ácido em perfilhos de plantas de capim-braquiária protegidos e com aplicação do produto Terrador® aos 7 DAA. Não foram identificados teores de tiafenacil em sua forma original ou ácida no perfilho protegido independente da dose aplicada indicando baixo ou nenhum movimento do herbicida em plantas de capim-braquiária. Herbicidas com valores de $\log K_{ow}$ próximos de 2 combinado com o valor de pK_a maior que 7, como o tiafenacil ($\log K_{ow}$ 1,95 e pK_a ~13,75), tendem a apresentar baixa mobilidade no floema. A moderada lipofilicidade favorece a rápida penetração pela cutícula lipídica das folhas, mas dificulta sua translocação no floema (ROMAN E VARGAS, 2005).

Tabela 4. Teores de tiafenacil (T) e tiafenacil ácido (TA) em perfilhos com aplicação do produto Terrador® e perfilhos protegidos de plantas de capim-braquiária aos 7 DAA

Dose (ml p.c. ha ⁻¹)	Perfilho aplicado			Perfilho protegido	
	Teor externo	Teor interno		Teor interno	
	µg g ⁻¹ MS ⁻¹				
	T	T	TA	T	TA
12	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00
120	1,65	0,20	0,04	0,00	0,00
240	1,52	0,77	0,05	0,00	0,00

1.4 CONCLUSÕES

Conclui-se com esse trabalho que a condição hídrica influenciou na dinâmica do herbicida tiafenacil. Foi constatada rápida absorção do tiafenacil e conversão para a forma ácida.

No entanto a porcentagem de absorção foi no máximo 46% indicando ainda haver espaço para aprimoramento da formulação ou dos adjuvantes utilizados. Não foram identificados teores de tiafenacil e tiafenacil ácido no perfilho protegido. Não houve indícios de translocação do tiafenacil via floema.

REFERÊNCIAS

AGROFIT – **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

APVM - AUSTRALIAN PESTICIDES AND VETERINARY MEDICINES AUTHORITY. **Public release summary on the evaluation of the new active tiafenacil in the product Terrador 700 WG Herbicide**. Canberra: APVMA, 2020. Disponível em: https://www.apvma.gov.au/sites/default/files/publication/75726-public_release_summary_on_the_evaluation_of_the_tiafenacil_in_the_product_terrador_700_wg_herbicide.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

DEVINE, M. D. *et al.* **Physiology of herbicide action**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

OUROFINO AGROCIÊNCIA – **Folheto Terrad'or®**. Disponível em: https://ourofinoagro.com.br/wp-content/uploads/2025/04/Folheto_Terrador_0125OF06-1.pdf. Acesso em: 10 mar. 2025.

PEREGOY, R. *et al.* Moisture stress effects on the absorption, translocation, and metabolism of haloxyfop in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). **Weed Sci.**, v. 38, n. 4-5, p. 331-337, 1990.

PEREIRA, M. R. R. **Potenciais hídricos no solo sobre a eficácia de herbicidas em plantas daninhas monocotiledôneas**. 2010. 175 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

RIZZARDI, M.A. *et al.* Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p.107-131.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L. (ed.). **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005. 152 p.: il.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIBEIRO, M. C. F. Efeito do teor de umidade do solo na seletividade e na eficácia de carfentrazone-ethyl no controle de plantas daninhas na cultura da soja. **R. Bras. Herbic.** Passo Fundo, 2005.

SHANER, D. L. (ed.). **Herbicide Handbook**. 10. ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2014.

SILVA, J.F. *et al.* Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

VELINI, E. D. *et al.* **Glyphosate**. Botucatu: FEPAF, 2009. 1^a ed, 496 p., 2009.

ZHOU, W. *et al.* Concurrent Analysis of Tiafenacil and Its Transformation Products in Soil by Using Newly Developed UHPLC-QTOF-MS/MS-Based Approaches. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 15, p. 8367, 2024.

CAPÍTULO 2

EFICÁCIA DO HERBICIDA TIAFENACIL NO CONTROLE DE CAPIM-PÉ-DE-GALINHA (*Eleusine indica*), LEITEIRO (*Euphorbia heterophylla*) E CAPIM-BRAQUIÁRIA (*Urochloa decumbens*)

2.1 INTRODUÇÃO

Entre os fatores que resultam na redução de produtividade no agronegócio, destaca-se as plantas daninhas. São espécies que possuem alta capacidade de competição por luz, água, nutrientes e espaço em relação às plantas cultivadas. A principal alternativa de controle é o manejo químico devido à elevada eficiência, praticidade e redução dos custos em comparação com outros métodos. Entretanto, o uso contínuo e a falta de rotação dos herbicidas utilizados resultaram no aumento de falhas de controle, que podem estar relacionadas à pressão de seleção exercida por esses herbicidas, aumentando a população de biótipos tolerantes e resistentes.

Atualmente, a espécie *Eleusine indica* (L.) Gaertn (nome comum: capim-pé-de-galinha) é uma das principais plantas daninhas com aumento de biótipos resistentes a herbicidas, principalmente aos inibidores da ACCase e glyphosate, ocasionando intensas infestações nas áreas de cultivo de algodão, milho e soja.

Há 37 biótipos registrados com resistência a herbicidas em 13 países, sendo três casos no Brasil: resistência aos inibidores da ALS (2003), glyphosate (2016) e aos inibidores da ALS e glyphosate (2017). Em 2015, nos Estados Unidos da América foram registrados dois biótipos resistentes a um herbicida inibidor da PROTOX (Heap, 2025). É uma espécie que possui metabolismo fotossintético tipo C₄, ciclo anual e é pouco exigente quanto ao tipo de solo, adaptando-se em solos compactados com baixa fertilidade e ampla faixa de pH (KISSMANN, 1997).

Outra planta daninha com alta capacidade competitiva é *Euphorbia heterophylla* L. (nome comum: leiteiro, amendoim-bravo), que apresenta elevada taxa de multiplicação, rápido acúmulo de biomassa e ciclo anual curto. Foram registrados cinco biótipos com resistência a diferentes mecanismos de ação, sendo três identificados no Brasil: resistência aos inibidores da ALS (1993), ALS e PROTOX (2004) e ao glyphosate (2019) (Heap, 2025). Possui metabolismo fotossintético C₄,

com adequado desenvolvimento em variados tipos de solo, mas com preferência por solos férteis e bem drenados (KISSMANN, 1997).

A espécie *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster (nome comum: capim-braquiária) é uma importante forrageira usada no Brasil, usualmente utilizada para formação de pastagem e palhada. Quando deixa de ser uma forrageira, pode se tornar uma planta daninha de difícil erradicação, causando altos prejuízos. Isso se deve principalmente à pouca exigência em fertilidade do solo e à intensa produção de sementes (PEREIRA; CAMPOS, 2001).

Para o manejo destas espécies de maior agressividade, as opções de controle estão reduzidas devido à ineficiência dos principais herbicidas utilizados. Para minimizar a dependência de herbicidas com os mesmos mecanismos de ação, o desenvolvimento de novas moléculas herbicidas é uma das soluções para aumentar as alternativas no sistema de rotação de herbicidas.

Recentemente registrado para uso no Brasil, o tiafenacil é um novo herbicida desenvolvido pela empresa FarmHannong Co., Ltd., localizada na Coreia do Sul. É um herbicida inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), pertencente ao grupo químico das uracilas (PARK *et al.*, 2018). Segundo Hao *et al.* (2011), os herbicidas inibidores da PROTOX selecionam resistência de plantas daninhas em taxa menor quando comparados a outros mecanismos de ação, o que torna um importante auxílio na prevenção e manejo dos casos de resistência.

O tiafenacil é considerado de baixo risco para os organismos não alvos e possui baixa taxa de aplicação (PARK *et al.*, 2018). É indicado para aplicação em dessecação pré-plantio das culturas de milho e soja, aplicação em jato dirigido na cultura de café e citros, e dessecação pré-colheita nas culturas de algodão, feijão e soja (AGROFIT, 2025).

Em trabalhos realizados por Duarte *et al.* (2023) observou-se maior eficiência no controle de *Conyza bonariensis* quando o tiafenacil foi utilizado em combinação com outros herbicidas em dose igual a 67,8 g i.a. ha⁻¹. Park *et al.* (2018), constataram maior controle com doses mais baixas em plantas dicotiledôneas, enquanto para o controle de monocotiledôneas foram necessárias doses relativamente altas, concluindo que dose inferiores a 85 g i.a. ha⁻¹ são suficientes para o controle de plantas dicotiledôneas e monocotiledônea.

Outros estudos têm inserido o tiafenacil no sistema como alternativa de manejo em aplicação isolada ou em diferentes associações e épocas de aplicação (ALBRECHT *et al.* 2024; LAGUERRE; CONTRERAS JR; HANSON, 2024; PANIÇA *et al.*, 2024). Entretanto, faz-se necessário o conhecimento de doses ideais do herbicida tiafenacil para o controle de diferentes espécies de plantas daninhas.

As propriedades físico-químicas das moléculas herbicidas são informações importantes para estudar seu comportamento no ambiente e sua eficiência. A depender dos fatores bióticos e abióticos do ambiente, de suas características físico-químicas e da espécie alvo, a molécula herbicida estará sujeita a inúmeras reações originando diferentes metabólitos (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Alguns estudos demonstraram que o tiafenacil passa por diversas transformações bioquímicas que resultam na formação de vários compostos metabólitos (APVMA, 2020; ZHOU *et al.*, 2024).

O tiafenacil ácido é um dos metabólitos do herbicida tiafenacil, formado por meio da hidrólise do radical metil éster ($-\text{COOCH}_3$) e consequentemente geração de um grupo ácido carboxílico ($-\text{COOH}$). Contudo, ainda são escassas as informações sobre a atividade herbicida desse metabólito quando aplicado diretamente nas plantas, evidenciando a importância de estudar seu potencial herbicida e sua eficiência no controle de plantas daninhas.

Assim, o tiafenacil possui alto potencial de uso, tornando-se uma excelente alternativa para o controle de plantas daninhas anuais e perenes nas principais culturas cultivadas. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficácia de diferentes doses do herbicida tiafenacil e tiafenacil ácido no controle de capim-pé-de-galinha, leiteiro e capim-braquiária.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de eficácia do herbicida tiafenacil e sua forma ácida no controle de capim-pé-de-galinha, leiteiro e capim-braquiária foi desenvolvido no laboratório do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu, (22°84’S; 48°W Gr).

Para as plantas daninhas leiteiro e capim-braquiária as parcelas foram constituídas por vasos de 0,350 L de volume, preenchidos com 100 g de substrato

comercial, mantendo-se três plantas por vaso. Para capim-pé-galinha, as parcelas foram constituídas por vasos de 1,7 L de volume, preenchidos com 500 g de substrato comercial, mantendo-se duas plantas por vaso. Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em casa de vegetação.

Para o controle de capim-pé-de-galinha e capim-braquiária, a dose recomendada do herbicida Terrad'or® é de 118,65 g i.a. ha⁻¹ e para o leiteiro é de 40,68 a 59,33 g i.a. ha⁻¹. Assim, estabeleceu-se as doses dos herbicidas de forma a incluir as doses indicada em bula para o controle de cada espécie.

Em relação ao tiafenacil ácido, utilizou-se uma formulação experimental. Por possuir peso molecular diferente do tiafenacil, realizou-se o ajuste das doses para que as doses de tiafenacil e tiafenacil ácido corresponderem as mesmas concentrações em mol ha⁻¹.

Dessa forma, as doses aplicadas do herbicida tiafenacil (Terrad'or®) foram de 0; 7,42; 14,83; 29,66; 59,33; 118,65 e 237,30 g i.a. ha⁻¹; e do tiafenacil ácido de 0; 7,21; 14,43; 28,85; 57,71; 115,41 e 230,82 g i.a. ha⁻¹. Todos os tratamentos foram acrescidos 0,5% v v⁻¹ do adjuvante Nori®.

A aplicação dos tratamentos foram realizados aos 50 dias após semeadura (DAS) utilizando um pulverizador estacionário instalado em ambiente fechado, provido com barra de pulverização com quatro pontas de pulverização TeeJet XR110.02VS, espaçadas de 0,5 m e posicionadas a 0,5 m em relação aos alvos (Figura 1). O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹ com volume de calda de 200 L ha⁻¹, sob pressão constante de 150 kPa, pressurizado por ar comprimido.

Figura 1 - Aplicação dos tratamentos utilizando pulverizador estacionário instalado em ambiente fechado no laboratório do NUPAM (Botucatu, SP)



Foram realizadas avaliações visuais de fitointoxicação aos 2 e 5 dias após aplicação (DAA) para o leiteiro, e aos 2, 7, 14 e 21 DAA para capim-pé-de-galinha e capim-braquiária, com escala visual de 0 (ausência de sintomas) a 100% (morte da planta). Ao último dia de avaliação visual, foi realizada a coleta da parte aérea das plantas e posteriormente seca em estufa de circulação de ar forçada a 60°C para determinação da massa seca. As avaliações visuais e coleta da parte aérea foram de acordo com a observação de sintomas de cada espécie.

Para o capim-pé-de-galinha, os dados de massa seca foram convertidos em porcentagem de redução em relação a diferença de crescimento da testemunha para biomassa inicial. Esses dados de porcentagem foram ajustados a modelos de regressão não-linear de Mitscherlich (Mitscherlich, 1909) com auxílio do programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, SAS Institute, version 9.1.3, Cary, North Carolina, USA). Os resultados são apresentados de acordo com a equação:

$$Y = (a[1 - 10^{(-c(X+b))}])$$

em que: a , b e c são os parâmetros da equação; o parâmetro a corresponde à assíntota máxima da curva, b ao deslocamento lateral da curva, e c à concavidade. O valor de Y indica a porcentagem de redução de massa seca em relação a fresca e seca da testemunha, e X representa a dose do herbicida tiafenacil (mL p.c. ha⁻¹).

Os dados referentes a massa seca do leiteiro e capim-braquiária, porcentagem de redução do capim-pé-de-galinha e as porcentagem de fitointoxicação das três espécies para os dois produtos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, comparados pelo teste *t* a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico SISVAR (versão 5.6).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, verificou-se que a forma ácida do herbicida tiafenacil também apresenta efeito herbicida semelhante à sua forma original.

As porcentagens de controle de capim-pé-de-galinha aos 2, 7, 14 e 21 DAA de tiafenacil e sua forma ácida estão apresentadas na Tabela 1. Para todos os períodos avaliados, as médias de porcentagem de controle dos dois produtos foram significativamente diferentes da testemunha sem aplicação.

Um dia após aplicação, já era possível observar sintomas visuais de fitointoxicação nas plantas de capim-pé-de-galinha, evidenciando a rápida ação dos herbicidas. Aos 2 DAA observou-se porcentagem superior a 30% a partir da dose de 59,33 g i.a. ha⁻¹ de tiafenacil (Figura 2). Para as plantas tratadas com tiafenacil ácido, apenas na maior dose observou-se porcentagem maior que 30%. Aos 21 DAA a maior dose aplicada de tiafenacil ocasionou 80% de fitointoxicação, enquanto o tiafenacil ácido resultou em 70,50% (Figura 2).

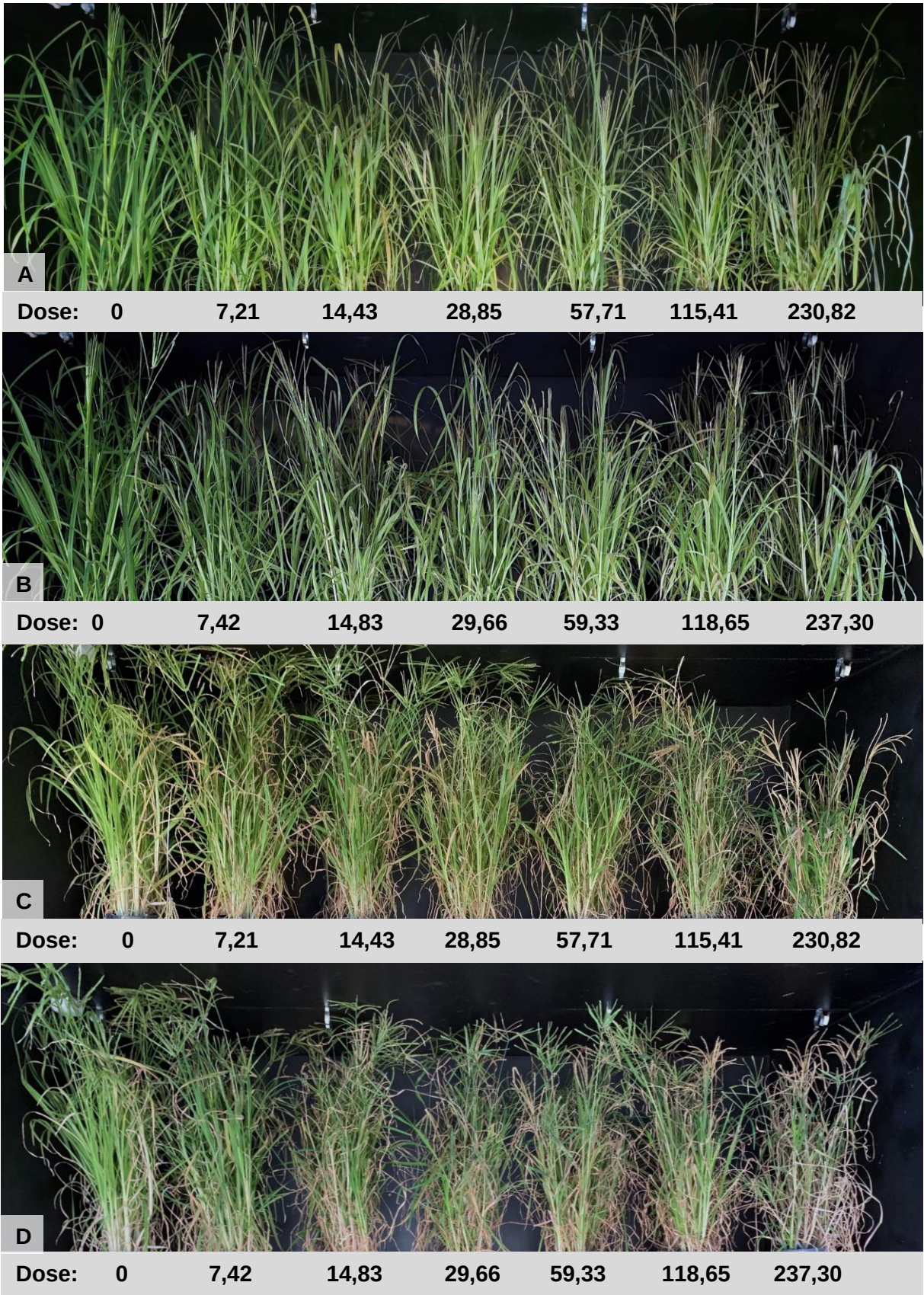
As plantas de capim-pé-de-galinha encontravam-se em estágio avançado de desenvolvimento (plantas com inflorescência ou mais de cinco perfilhos) no momento da aplicação dos tratamentos, justificando porcentagens de controle inferiores a 90% para ambos os compostos, não representando um dado conclusivo sobre sua eficácia de controle dessa espécie.

Tabela 1 - Porcentagem de fitointoxicação visual de plantas de capim-pé-de-galinha aos 2, 7, 14 e 21 DAA de doses de tiafenacil e tiafenacil ácido

Tiafenacil				
Dose (g i.a. ha⁻¹)	% controle			
	2DAA	7DAA	14 DAA	21 DAA
0,00	0,00 e	0,00 f	0,00 d	0,00 e
7,42	17,00 d	55,75 e	60,00 c	35,00 d
14,83	26,25 c	66,75 d	70,00 bc	57,50 c
29,66	28,75 c	72,25 c	70,00 bc	65,00 b
59,33	33,75 b	76,25 b	72,00 b	65,00 b
118,65	35,75 ab	76,50 b	80,00 ab	65,50 b
237,30	37,00 a	79,25 a	89,50 A	80,00 a
F tratamento	146,93**	3.940,10 **	59,91 **	2.162,61 **
CV (%)	8,51	1,46	12,00	2,20
Tiafenacil ácido				
0,00	0,00 e	0,00 g	0,00 e	0,00 f
7,21	16,25 d	43,75 f	48,50 d	24,75 e
14,43	21,25 c	55,75 e	58,00 c	25,50 e
28,85	26,25 b	65,50 d	62,00 b	32,50 d
57,71	27,50 b	74,25 c	63,50 b	41,50 c
115,41	28,75 ab	79,75 b	78,75 a	46,00 b
230,82	32,50 a	86,50 a	81,50 a	70,50 a
F tratamento	61,96**	579,90**	782,30**	291,52**
CV (%)	12,79	4,21	3,48	7,42

**significativo a 1% de probabilidade.

Figura 2 - Plantas de capim-pé-de-galinha aos 2 DAA (A e B) e 21 DAA (C e D) de doses (g i.a. ha⁻¹) de tiafenacil ácido (A e C) e tiafenacil (B e D)



A redução de massa seca de plantas de capim-pé-de-galinha em relação a diferença da testemunha para biomassa inicial estão apresentadas na Tabela 2. Todas as doses dos dois produtos diferiram da testemunha sem aplicação, exceto a menor dose de tiafenacil ácido. A partir da dose de 29,66 g i.a. ha⁻¹ de tiafenacil, a redução foi superior a 50%, sem diferença significativa da maior dose aplicada. Para o tiafenacil ácido, apenas a partir de 57,71 g i.a. ha⁻¹ redução foi superior a 50%.

Tabela 2 - Porcentagem de redução da massa seca de plantas de capim-pé-de-galinha aos 21 DAA de doses de tiafenacil e tiafenacil ácido

Tiafenacil		Tiafenacil ácido	
Dose (g i.a. ha ⁻¹)	% redução	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	% redução
0,00	0,00 c	0,00	0,00 c
7,42	49,31 ab	7,21	22,92 bc
14,83	41,51 b	14,43	47,71 ab
29,66	51,73 ab	28,85	44,98 ab
59,33	54,12 ab	57,71	60,99 a
118,65	51,92 ab	115,41	66,22 a
237,30	65,36 a	230,82	69,93 a
F tratamento	11,25 **		5,87 **
CV (%)	27,92		46,78

**significativo a 1% de probabilidade.

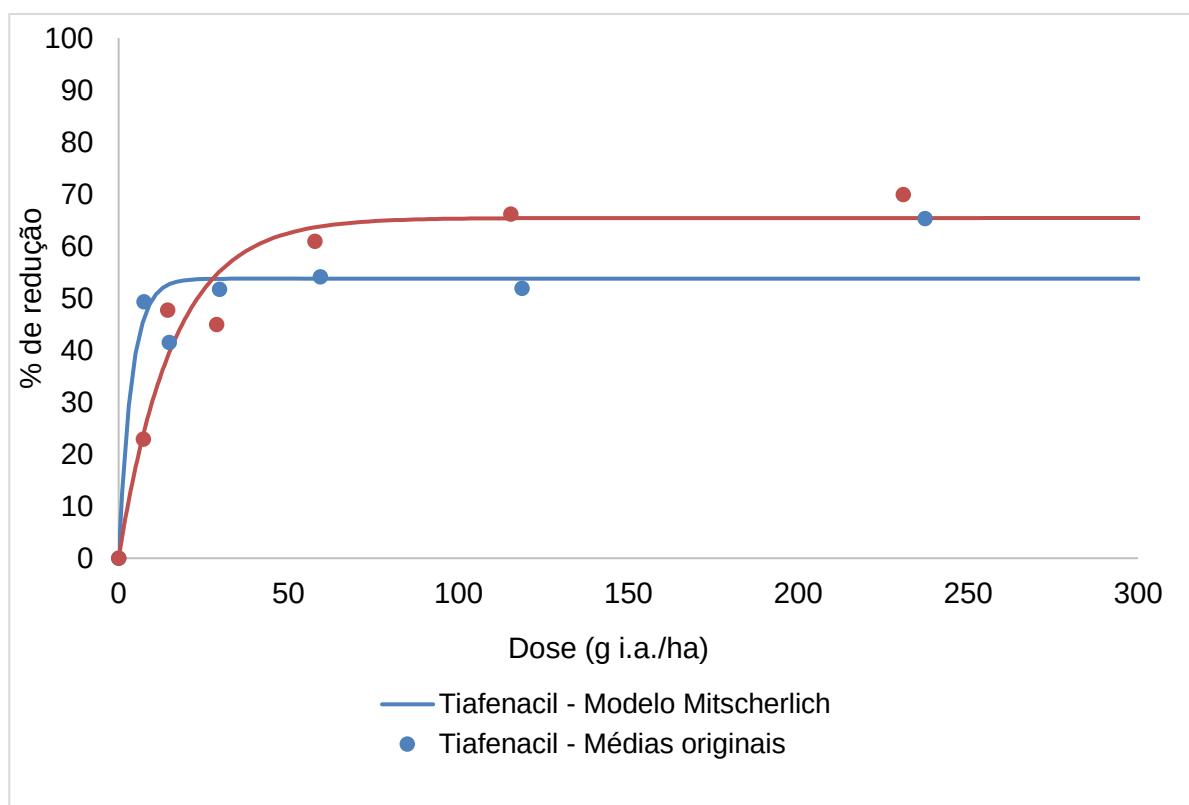
As porcentagens de redução de massa seca foram ajustadas modelos de regressão não-linear de Mitscherlich. As estimativas dos parâmetros e coeficiente de determinação das equações para o capim-pé-de-galinha estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa dos parâmetros dos modelos de Mitscherlich para a redução de massa seca de plantas de capim-pé-de-galinha aos 21 DAA para tiafenacil e tiafenacil ácido

Parâmetros	Tiafenacil	Tiafenacil ácido
a	53,74	65,41
b	0,00	0,00
c	0,11	0,03
F	148,54	220,10
R²	0,98	0,98

Na Figura 3 estão os modelos de regressão entre a redução de massa seca do capim-pé-de-galinha e as doses de tiafenacil e sua forma ácida, demonstrando que doses relativamente baixas resultaram em redução similar às doses elevadas. A partir da dose de 16,50 g i.a. ha⁻¹ de tiafenacil e 53,50 g i.a. ha⁻¹ de tiafenacil ácido, nota-se que há semelhança na redução de massa seca em relação as maiores doses.

Figura 3 - Modelo de Mitscherlich ajustado para porcentagem de redução da massa seca de plantas de capim-pé-de-galinha aos 21 DAA de doses de tiafenacil e tiafenacil ácido



Assim, os modelos de regressão demonstram que não são necessária altas doses de tiafenacil e tiafenacil ácido para efeitos mais significativos na redução de massa seca. Resultado que corrobora com Park *et al.* (2018) que identificaram controle de plantas monocotiledôneas com doses inferiores a 85 g i.a. ha⁻¹ de tiafenacil.

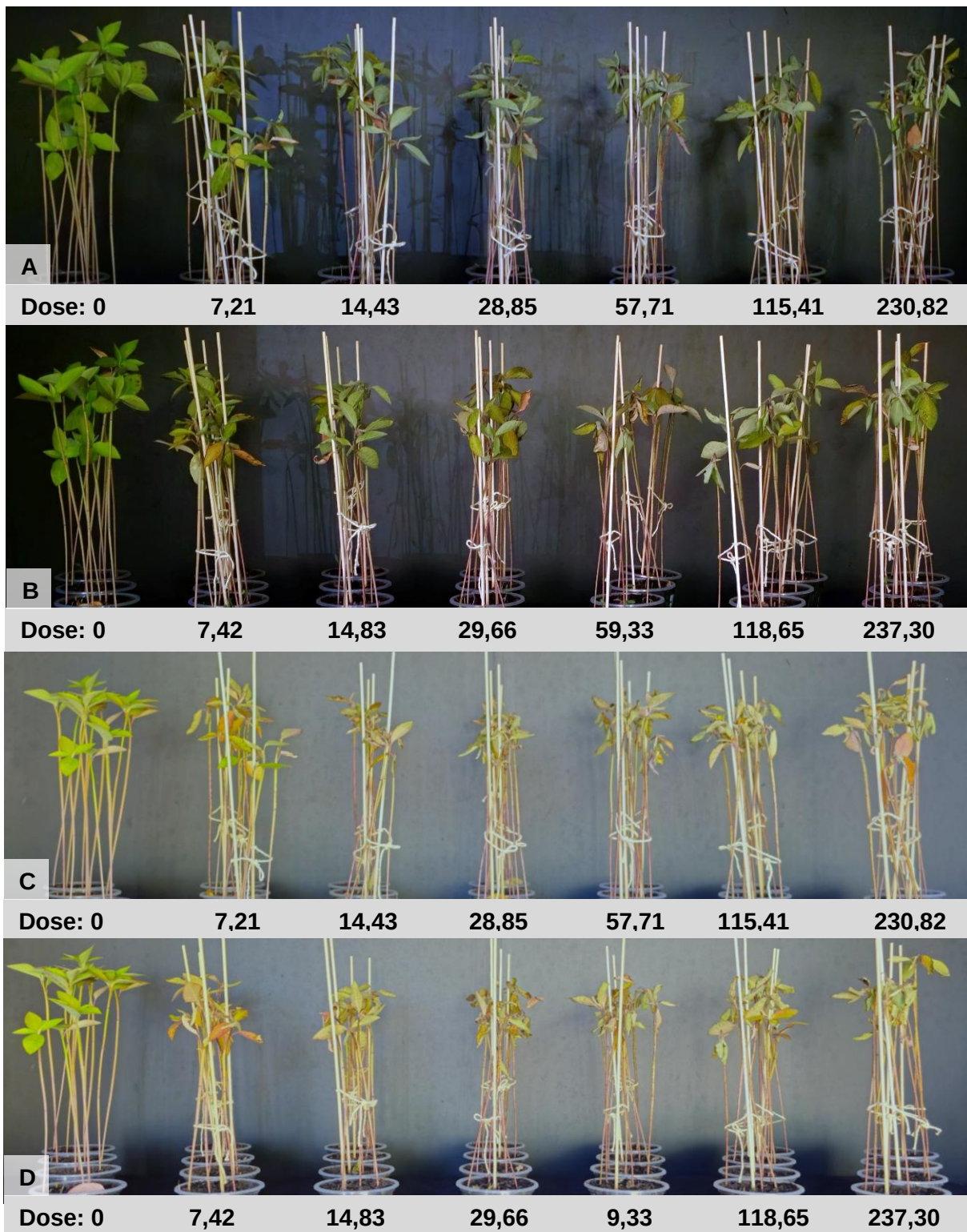
Aos 2 DAA já era possível observar injúrias severas em plantas de leiteiro para todas as doses testadas (Figura 4). Aos 5 DAA, a porcentagem de fitointoxicação foi superior a 90% mesmo para as menores doses aplicadas (Figura 4), demonstrando a alta sensibilidade da espécie (Tabela 4). Santos *et al.* (2024) constataram excelentes níveis de controle para essa espécie com a aplicação isolada de tiafenacil utilizando dose igual a 67,8 g i.a. ha⁻¹ (200 mL p.c. ha⁻¹ de Terrad'or®), mas no presente estudo, doses menores (29,66 e 28,85 g i.a. ha⁻¹ de tiafenacil e tiafenacil ácido, respectivamente) foram suficientes para 100% de controle,

Tabela 4 - Porcentagem de fitointoxicação visual de plantas de leiteiro aos 2 e 5 DAA de doses de tiafenacil e tiafenacil ácido

Tiafenacil			Tiafenacil ácido		
Dose (g i.a. ha ⁻¹)	% controle		Dose (g i.a. ha ⁻¹)	% controle	
	2 DAA	5 DAA		2 DAA	5 DAA
0,00	0,00 e	0,00 c	0,00	0,00 E	0,00 d
7,42	72,50 d	97,25 b	7,21	64,25 D	94,50 b
14,83	77,50 c	97,75 b	14,43	74,75 C	96,00 c
29,66	87,25 b	100,00 a	28,85	85,75 B	100,00 a
59,33	95,50 a	100,00 a	57,71	94,50 A	100,00 a
118,65	97,00 a	100,00 a	115,41	93,75 A	100,00 a
237,3	97,50 a	100,00 a	230,82	94,50 A	100,00 a
F tratamento	590,12**	3526,17**		463,84**	16.666,71**
CV (%)	3,79	1,49		4,35	0,68

**significativo a 1% de probabilidade.

Figura 4 - Plantas de leiteiro aos 2 DAA (A e B) e 21 DAA (C e D) de doses (g i.a. ha⁻¹) de tiafenacil ácido (A e C) e tiafenacil (B e D)



O peso de massa seca das plantas de leiteiro não apresentaram diferenças significativas entre as doses aplicadas e testemunha (Tabela 5). A média de massa seca foi de 1,16 g para o tiafenacil e 1,17 g para sua forma ácida. Devido à rápida morte das plantas proporcionada pelos herbicidas, a coleta para determinação da massa seca foi realizada aos 5 DAA, não havendo tempo suficiente para observação do crescimento das plantas. Essa rápida ação é característica de herbicidas inibidores da PROTOX, com sintomas visíveis de 4 a 6 horas após aplicação (HAA) e morte das plantas em poucos dias (Rizzardi *et al.*, 2008).

Tabela 5 - Massa seca (g) de plantas de leiteiro aos 5 DAA de doses de tiafenacil e tiafenacil ácido

Tiafenacil		Tiafenacil ácido	
Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Massa seca (g)	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Massa seca (g)
0,00	1,38	0,00	1,38
7,42	1,12	7,21	1,05
14,83	1,01	14,43	1,10
29,66	1,09	28,85	1,16
59,33	1,23	57,71	1,09
118,65	1,23	115,41	1,20
237,3	1,06	230,82	1,24
F tratamento	0,90 ^{ns}		0,58 ^{ns}
CV (%)	22,88		24,98

^{ns} não significativo.

Para o capim-braquiária, aos 2 DAA observaram-se poucos sintomas visuais (Figura 5) e baixa porcentagem de fitointoxicação (Tabela 6). Aos 21 DAA, nem mesmo a maior dose dos produtos resultou controle satisfatório (Figura 6) com fitointoxicação inferior a 60%. O peso de massa seca aos 21 DAA não apresentou diferença significativa entre as doses aplicadas e testemunha (Tabela 7), com médias de 3,30 g para o tiafenacil e 3,05 g para sua forma ácida. Os resultados indicam que o capim-braquiária apresenta baixa sensibilidade ao tiafenacil e sua forma ácida.

A baixa mobilidade dos herbicidas inibidores da PROTOX, torna necessária uma boa cobertura foliar para controle eficiente dos herbicidas aplicados em pós-emergência das plantas daninhas (Rizzardi *et al.*, 2008). A deposição do produto pode ser influenciada por fatores como ângulo ou orientação das folhas, forma e área do limbo foliar e presença de estruturas especializadas (tricomas) (Silva *et al.*, 2007), fatores que podem ter influenciado a quantidade de produto depositado nas folhas do capim-braquiária e, conseqüentemente, sua eficácia.

Tabela 6 - Porcentagem de fitointoxicação visual de plantas de capim-braquiária aos 2, 7, 14 e 21 DAA de doses de tiafenacil e tiafenacil ácido

Tiafenacil				
Dose	% controle			
	2DAA	7DAA	14 DAA	21 DAA
0,00	0,00 d	0,00 e	0,00 e	0,00 e
7,42	6,50 c	12,75 d	23,75 d	28,75 d
14,83	9,00 b	14,75 d	31,25 c	32,50 d
29,66	10,00 b	19,50 c	37,50 b	37,50 c
59,33	10,00 b	21,50 c	38,75 b	51,25 b
118,65	10,00 b	29,50 b	38,75 b	52,50 b
237,3	13,00 a	38,00 a	50,00 a	57,50 a
F tratamento	96,47 **	87,89**	143,33 **	236,32 **
CV (%)	10,11	13,41	8,50	6,89
Tiafenacil ácido				
0,00	0,00 e	0,00 e	0,00 f	0,00 f
7,21	6,00 d	12,00 d	17,00 e	18,75 e
14,43	7,25 c	13,25 d	27,50 d	27,50 d
28,85	9,50 b	18,00 c	35,00 c	37,25 c
57,71	10,00 b	19,75 c	36,25 bc	51,00 b
115,41	10,00 b	27,25 b	38,00 b	52,75 b
230,82	12,00 a	34,50 a	50,00 a	56,75 a
F tratamento	96,31**	114,03**	267,08**	318,61**
CV (%)	10,35	11,70	6,86	6,68

**significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 7 - Massa seca (g) de plantas de capim-braquiária aos 21 DAA de doses de tiafenacil e tiafenacil ácido

Tiafenacil		Tiafenacil ácido	
Dose (g i.a. ha⁻¹)	Massa seca (g)	Dose (g i.a. ha⁻¹)	Massa seca (g)
0,00	2,93	0,00	2,93
7,42	3,67	7,21	3,56
14,83	3,51	14,43	2,70
29,66	3,48	28,85	3,20
59,33	3,16	57,71	3,21
118,65	3,24	115,41	3,18
237,3	3,15	230,82	2,56
F tratamento	0,43 ^{ns}		1,13 ^{ns}
CV (%)	23,61		21,01

^{ns} não significativo.

Figura 5 - Plantas de capim-braquiária aos 2 DAA de doses (g i.a. ha⁻¹) de A) tiafenacil ácido e B) tiafenacil

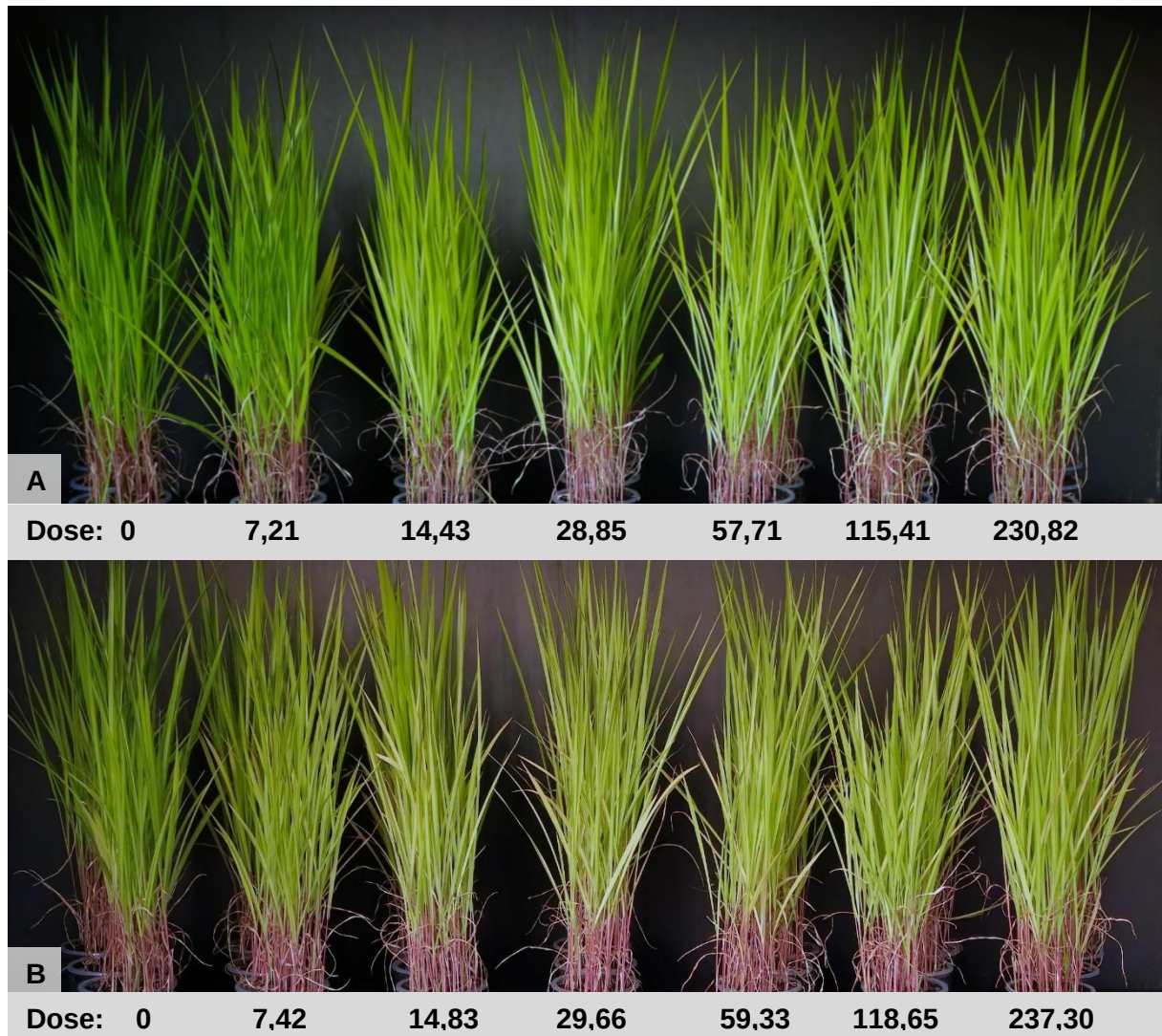
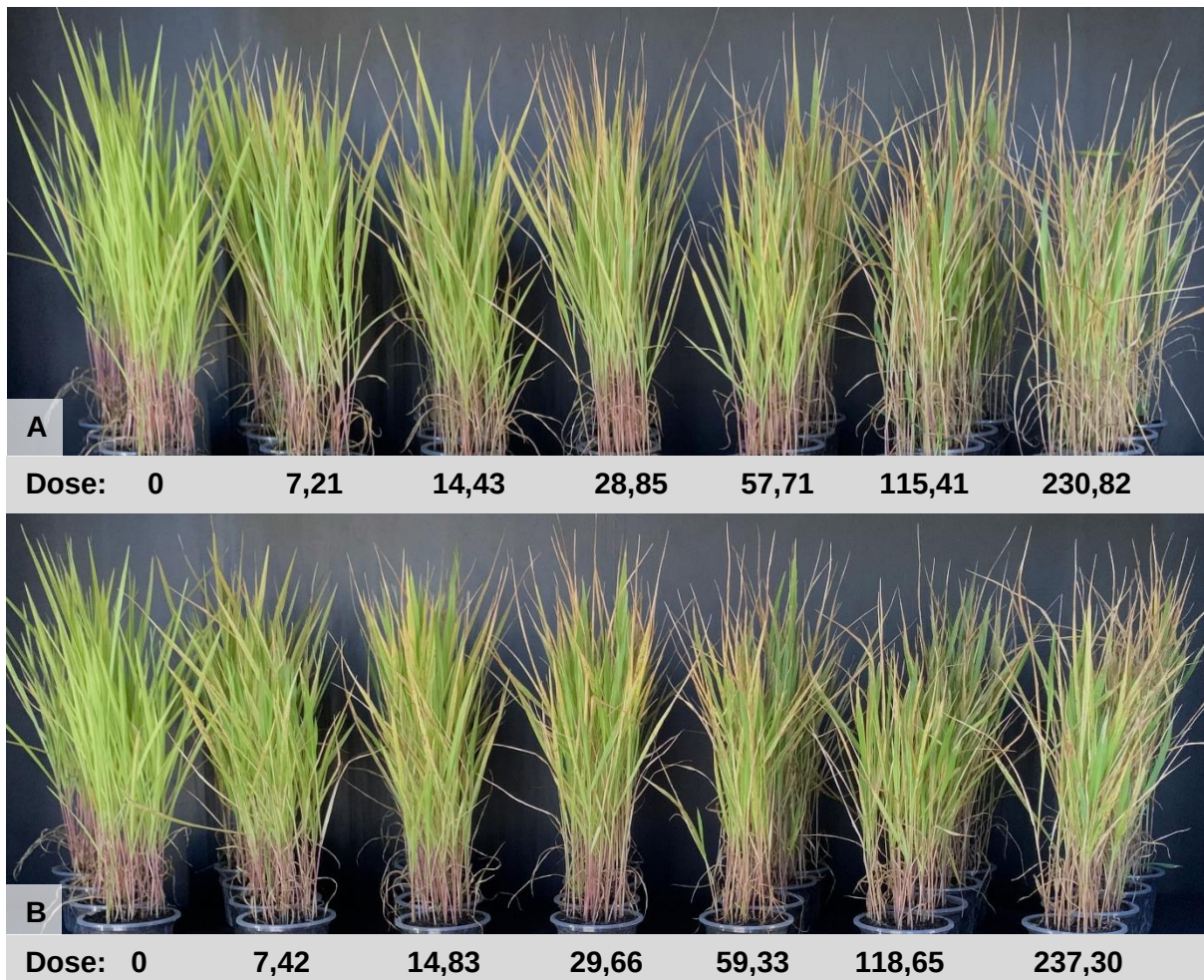


Figura 6 - Plantas de capim-braquiária aos 21 DAA de doses (g i.a. ha⁻¹) de A) tiafenacil ácido e B) tiafenacil



2.4 CONCLUSÕES

Conclui-se que o tiafenacil ácido apresenta ação herbicida similar ao tiafenacil. Os dois compostos possuem eficácia no controle de capim-pé-de-galinha e leiteiro em doses inferiores às recomendadas. No entanto, capim-braquiária demonstrou baixa sensibilidade aos herbicidas.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT – **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.
- ALBRECHT, L. P. *et al.* Tiafenacil: associações em dessecação no controle do capim-pé-de-galinha resistente. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas e Congresso Latinoamericano de Malezas, ed. 33 e 25, 2024, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2024, p. 419.
- APVM - AUSTRALIAN PESTICIDES AND VETERINARY MEDICINES AUTHORITY. **Public release summary on the evaluation of the new active tiafenacil in the product Terrador 700 WG Herbicide**. Canberra: APVMA, 2020.
- DUARTE, E. R. *et al.* Eficiência do produto Terrad'or (tiafenacil) para o controle de buva em pré dessecação para o plantio de soja. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 9, 2023.
- HAO, G.F *et al.* Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v.65, n.12, p.961-969, 2011.
- HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Online. Internet. Acesso em: 20 de janeiro de 2025. Disponível <www.weedscience.org>.
- KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2 ed. São Paulo, SP: BASF, 1997.
- LAGUERRE, G.; CONTRERAS JR. A.; HANSON B. D. Evaluation of weed control efficacy and crop safety of the PPO-inhibiting herbicide tiafenacil in California orchard cropping systems. **Weed Technol.** 38(e46), p. 1–8, 2024.
- MITSCHERLICH, E.A. Das gesetz des minimums und das gesetz des abnehmenden bodenertrages. **Landwirtschaftliches Jahrbuch**, v.38, p.537-552, 1909.
- OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 263-304.
- PARK, AHN, Y. O. *et al.* Biochemical and physiological mode of action of tiafenacil, a new protoporphyrinogen IX oxidase inhibiting herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 152, pp. 38-44, 2018.
- PANIÇA, J. V. D., *et al.* Dessecação de plantas adultas de buva com tratamentos contendo Tiafenacil na primeira aplicação de manejo. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas e Congresso Latinoamericano de Malezas, ed. 33 e 25, 2024, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2024, p. 466.

PEREIRA, J. R.; CAMPOS, A. T. **Controle da braquiária como invasora**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. (Instrução técnica para o produtor de leite, 26).

RIZZARDI, M.A. *et al.* Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p.107-131.

SANTOS, P. H. V., *et al.* Performance do Terrad'or 339 SC (tiafenacil) e de outros herbicidas aplicados em pós-emergência no controle *Commelina benghalensis*, *Senna obtusifolia*, *Spermacoce verticillata* e *Euphorbia heterophylla* em diferentes estádios fenológicos In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas e Congresso Latinoamericano de Malezas, ed. 33 e 25, 2024, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2024, p. 507.

SILVA, J.F. *et al.* Herbicidas: absorção, translocação, metabolismo, formulação e misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

ZHOU, W. *et al.* Concurrent Analysis of Tiafenacil and Its Transformation Products in Soil by Using Newly Developed UHPLC-QTOF-MS/MS-Based Approaches. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 15, p. 8367, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A absorção do produto Terrad'or, apesar de rápida, foi menor que 46%. O herbicida tiafenacil e sua forma ácida, apresentaram alta eficácia de controle em doses inferiores às recomendadas. Todavia, estudos adicionais são necessários para compreender sua dinâmica no solo e absorção radicular para melhor compreensão das características do ingrediente ativo.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT – **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.
- ALBRECHT, L. P. *et al.* Tiafenacil: associações em dessecação no controle do capim-pé-de-galinha resistente. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas e Congresso Latinoamericano de Malezas, ed. 33 e 25, 2024, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2024, p. 419.
- APVMA - AUSTRALIAN PESTICIDES AND VETERINARY MEDICINES AUTHORITY. **Public release summary on the evaluation of the new active tiafenacil in the product Terrador 700 WG Herbicide**. Canberra: APVMA, 2020. Disponível em: https://www.apvma.gov.au/sites/default/files/publication/75726-public_release_summary_on_the_evaluation_of_the_tiafenacil_in_the_product_terra_dor_700_wg_herbicide.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.
- BLANCO, H.G. - A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle das plantas daninhas. **O Biológico**, v. 38, n.10, p. 343-50, 1972.
- CARVALHO E GONÇALVES NETTO. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da PROTOX (Grupo E). In: CHRISTOFOLETTI, P. J.; NICOLAI, M. **Aspecto de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: Esalq. 4 ed., 262 p., 2016.
- DUARTE, E. R *et al.* Eficiência do produto Terrad'or (tiafenacil) para o controle de buva em pré dessecação para o plantio de soja. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 9, 2023.
- DUKE, S.O. *et al.* Protoporphyrinogen oxidase inhibiting herbicides. **Weed Science**, v. 39, n. 3, p. 465-473, 1991.
- HAO, G.F *et al.* Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: an ideal target for herbicide discovery. **Chemistry in China**, v.65, n.12, p.961-969, 2011.
- MATRINGE, M. J. *et al.* Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **Biochemistry Journal**, v.260, n.1, p.231-235, 1989.
- LAGUERRE, G.; CONTRERAS JR. A.; HANSON B. D. Evaluation of weed control efficacy and crop safety of the PPO-inhibiting herbicide tiafenacil in California orchard cropping systems. **Weed Technol.** 38(e46), p. 1–8, 2024.
- PANIÇA, J. V. D., *et al.* Dessecação de plantas adultas de buva com tratamentos contendo Tiafenacil na primeira aplicação de manejo. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas e Congresso Latinoamericano de Malezas, ed. 33 e 25, 2024, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2024, p. 466.

PARK, AHN, Y. O. *et al.* Biochemical and physiological mode of action of tiafenacil, a new protoporphyrinogen IX oxidase inhibiting herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 152, pp. 38-44, 2018.

PPDB - Pesticide Properties DataBase. **List of Pesticide Active Ingredients. University of Hertfordshire**. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>. Acesso em: 10 mar. 2025.

PubChem. **National Center for Biotechnology Information**. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ZHOU, W. *et al.* Concurrent Analysis of Tiafenacil and Its Transformation Products in Soil by Using Newly Developed UHPLC-QTOF-MS/MS-Based Approaches. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 15, p. 8367, 2024.

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (WSSA). WSSA **Weed Science Definitions**. Lawrence: WSSA, 2016. Disponível em: <https://wssa.net/wp-content/uploads/WSSA-Weed-Science-Definitions.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.