

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE FENOXAPROP EM CAPIM-PÉ-
DE-GALINHA SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO**

Roger Abraão Ribeiro Cardeal Dias Leonel

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo

**Piracicaba
2023**

Roger Abraão Ribeiro Cardeal Dias Leonel

**Absorção e translocação de fenoxaprop em capim-pé-de-galinha sob
condições de estresse hídrico**

Orientador:

Prof. Dr. VALDEMAR LUIZ TORNISIELO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo

**Piracicaba
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela sabedoria, saúde e perseverança a mim concedidas e por sempre me proteger, iluminar e guiar nos caminhos da vida.

Agradeço a minha família, em especial minha mãe Lucrecia Cardeal e meu pai Rogério Leonel pelo amor, incentivo, oportunidade e por acreditarem na importância dos estudos. Assim como, agradeço a minha irmã Leticia Maria Cardeal Leonel pelo companheirismo, amor, carinho, incentivo e auxílio durante a vida e o percurso da graduação.

Agradeço ao Prof. Dr. Valdemar Tornisielo pela oportunidade e confiança em me orientar, assim como pelos aprendizados, suporte e troca de experiências importantes para a vida acadêmica e profissional.

Agradeço aos doutorandos Gustavo Munhoz Garcia e Daniel Nalin pelo incentivo a vida científica, troca de conhecimentos, amizade e vivências, assim como, pelo apoio na realização desse trabalho.

Agradeço aos meus amigos de infância que sempre auxiliaram na minha jornada de estudos, assim como a todos os novos amigos que conquistei na ESALQ, os quais me proporcionaram momentos de alegria, apoio e motivação importantes para alcançar meus objetivos.

Agradeço também aos amigos e estagiários do Laboratório de Ecotoxicologia, Ana Laura, Bruno, Brian, Camila, Henrique e Giovanni assim como ao técnico Rodrigo Pimpinato pelo auxílio na realização das atividades, amizade e pelo companheirismo durante os períodos de trabalho.

E por fim agradeço a Luiz Vicente de Souza Queiroz pela iniciativa e possibilidade de fazer parte da Gloriosa ESALQ (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”).

EPÍGRAFE

"Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento."
Albert Einstein

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivo geral	12
1.2 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Importância do manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas	15
2.2 O capim-pé-de-galinha como planta daninha	16
2.3 Comportamento de herbicidas no ambiente	19
2.4 Herbicidas Inibidores da ACCase	20
2.5 Controle de Eleusine indica com herbicidas inibidores da ACCase	22
2.6 Caracterização dos Solos	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 Local de realização dos estudos	27
3.2 Substâncias químicas	27
3.3 Caracterização da absorção e translocação de ¹⁴ C-fenoxaprop	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Efeito na absorção	33
4.2 Efeito na translocação	40
5 CONCLUSÕES	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	49

RESUMO

Absorção e translocação de fenoxaprop em capim-pé-de-galinha sob condições de estresse hídrico

As plantas daninhas causam prejuízos às produções agrícolas, assim, entre as formas de manejo, o químico é o mais utilizado. Os herbicidas inibidores da ACCase se tornaram uma alternativa de controle importante após a popularização das culturas *RR* e a seleção de plantas daninhas resistentes ao glifosato como *Eleusine indica*. Entretanto, o comportamento dos pesticidas e a eficiência do controle químico dependem da interação entre fatores ambientais, a planta daninha e o herbicida. Entre os fatores, o estresse hídrico tem relevância significativa, uma vez que a agricultura no Brasil é predominante de sequeiro e as mudanças climáticas tem tornado recorrente as estiagens. Além disso, a textura do solo representa outro fator de influência no nível de estresse hídrico. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a absorção e translocação do herbicida fenoxaprop na espécie *Eleusine indica* sob estresse hídrico em Latossolo e Nitossolo. Os estudos de absorção e translocação foram realizados por meio da aplicação de ^{14}C -fenoxaprop em plantas de *E. indica* cultivadas em Latossolo e Nitossolo e submetidas a níveis de estresse hídrico de 0, 3, 5, 7 e 10 dias anteriores a aplicação. Após 3h a umidade foi reestabelecida e no período de 72 horas pós-aplicação a folha tratada de cada planta foi recortada e lavada, a fim de, quantificar o total não absorvido. Após secagem por 24h e autorradiografia, as plantas foram divididas em 6 partes (folha tratada, folhas acima da folha tratada, folhas abaixo da folha tratada, perfilhos, caule e raiz). As respectivas partes foram oxidadas e a quantificação da radioatividade foi realizada por espectrometria de cintilação líquida. A avaliação da absorção não apresentou interação significativa entre os fatores tipo de solo e períodos de estresse. A classe dos Nitossolos apresentou maiores valores médios de absorção que os Latossolos. Os períodos de estresse hídrico demonstraram maior absorção em 7 e 10 dias, sendo esses semelhantes entre si. Já a avaliação da translocação apresentou valores médios de 1,47-2,02% independente da textura do solo ou do período de estresse hídrico. Conclui-se que o tipo de solo influencia na absorção do herbicida independentemente, assim como os períodos de estresse, sendo que em condições de estresse prolongado a absorção pode ser maior. Já a translocação não é afetada pelos fatores e ocorre em pequenas quantidades do aplicado. Este estudo dessa forma, apresenta o comportamento do herbicida fenoxaprop na planta daninha em condições de estresse hídrico, o qual é importante, posteriormente, para auxiliar na compreensão da eficácia de controle, assim como, sugerir estratégias de manejo que evitem o desempenho insatisfatório do herbicida.

Palavras-chave: *Eleusine indica*, ACCase, herbicida, Latossolo, Nitossolo

1 INTRODUÇÃO

As plantas daninhas são definidas como toda e qualquer planta cuja presença seja indesejável no local, no período e na forma como ocorre. O fato de não ser desejável resulta da possibilidade de causar danos à atividade agrícola, riscos de acidentes em estradas e rodovias, degradação de ambientes aquáticos, prejuízo a geração de energia e outros (AGOSTINETTO et al., 2015; PITELLI, 2015). No ambiente agrícola, a competição entre as plantas daninhas e a cultura ocorre de forma direta por água, luz, espaço e nutrientes; e de forma indireta, por meio da liberação de compostos aleloquímicos e hospedeira de pragas, fungos, vírus e nematoides. Essa interação quando não manejada resulta na redução da produtividade que pode alcançar até 80%, além de prejudicar a qualidade de grãos, contaminar lotes com sementes, dificultar a colheita e, em casos extremos, inviabilizá-la (AGOSTINETTO et al., 2015).

O controle das plantas daninhas pode ser realizado de modo físico, cultural, biológico, mecânico e químico. Entre essas formas, o controle químico é um dos métodos utilizados com mais frequência pelos agricultores. A importância e preferência desse método pauta-se na eficiência de controle, praticidade e rapidez na aplicação, disponibilidade fácil e rápida, possibilidade de controle em épocas chuvosas, preservação da estrutura do solo e prática profissionalmente desenvolvida (AGOSTINETTO et al., 2015; OLIVEIRA, 2020). Os herbicidas são os insumos utilizados para o controle químico de plantas daninhas e podem ser classificados de diferentes formas. A mais aceita internacionalmente é a proposta pelo Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) com base nos mecanismos de ação e classes químicas. Os Inibidores da acetil-coenzima-A-carboxilase (ACCCase) compreendem o grupo A dessa classificação e são caracterizados, em geral, como herbicidas sistêmicos que atuam no controle de gramíneas anuais e perenes, aplicados geralmente em pós-emergência da planta daninha e com seletividade para folhas largas (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011).

No grupo dos inibidores da ACCCase, pode-se destacar o ingrediente ativo fenoxaprop pertencente ao grupo químico dos Ariloxifenoxipropionatos (FOPs). O fenoxaprop tem solubilidade em água de $0,43 \text{ mg L}^{-1}$, coeficiente de partição octanol/água (Log Kow 4,58 em pH 7,2), meia vida típica de 0,36 dias em laboratório à 20°C e é um herbicida com constante de ionização (constante de pka) 0,18 (LEWIS et al., 2016). A recomendação de uso é permitida para diferentes culturas,

entre elas algodão, batata, feijão e soja, aplicado comumente na pós emergência da cultura e da planta daninha, com foco no manejo de espécies gramíneas, com destaque para capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) (AGROFIT, 2023).

O desenvolvimento da agricultura e das pesquisas, possibilitou avanços na transgenia, que resultaram no lançamento da tecnologia Roundup Ready (*RR*) pela Monsanto, conferindo resistência da cultura comercial ao herbicida glifosato, inicialmente na cultura da soja. Posteriormente essa tecnologia se desenvolveu para culturas como algodão e milho (PETTER et al., 2015). A possibilidade de uso do glifosato em culturas *RR* desencadeou sua aplicação sequencialmente, sem rotação de princípio ativo, o que levou à seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a esse mecanismo de ação, entre elas o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) (TAKANO et al., 2017). Como estratégia de controle químico para os casos de resistência dessa espécie, alguns autores passaram a recomendar o uso de outros herbicidas com mecanismo de ação em pós-emergência como: os inibidores da GS (glufosinato de amônio), os do fotossistema I e II (paraquat e diuron), os da ALS (nicosulfuron), mas principalmente os graminicidas, inibidores da ACCase, pela seletividade as plantas daninhas alvo em outras culturas não-gramíneas. Vale ressaltar que, a eficácia dos ACCase é maior em plantas até um perfilho, pois plantas mais desenvolvidas podem apresentar mais ceras nas folhas prejudicando absorção e possuem capacidade de rebrote maior (TAKANO et al., 2017, 2018a; ULGUIM et al., 2013).

O comportamento dos herbicidas no ambiente, por sua vez, é determinado por suas características físico-químicas em interação com as condições edáficas, climáticas e a presença de microrganismos. Dessa forma, as moléculas podem sofrer processos de transporte (lixiviação, escoamento superficial e subsuperficial, volatilização e deriva), retenção (absorção, sorção e dessorção) e transformação (biótica e abiótica) (BAROSSO; MURATA, 2021). Por outro lado, a dinâmica dos herbicidas nas plantas depende dos processos de penetração, absorção e translocação, os quais são dependentes das interações entre as características físico-químicas do produto, as condições do ambiente, da planta e da aplicação (BAROSSO; MURATA, 2021). Nesse sentido, vale ressaltar que, a eficácia da aplicação desses produtos está relacionada aos componentes da tecnologia de aplicação como a ação do aplicador, o alvo, o produto utilizado, as misturas, a cobertura de gotas, e ao equipamento (ADEGAS; GAZZIEIRO, 2020).

Os fatores ambientais têm a capacidade de afetar o comportamento dos herbicidas, entre esses pode-se mencionar: umidade relativa do ar, temperatura, velocidade do vento, umidade do solo, luz e precipitação. Esses fatores podem influenciar diretamente alterando a retenção, absorção e translocação do pesticida ou indiretamente promovendo mudanças fisiológicas das plantas (VARANASI; PRASAD; JUGULAM, 2016). As mudanças climáticas, nesse sentido, têm influenciado na importância dos fatores ambientais e ressaltado a atenção, pois eventos ambientais extremos como chuvas excessivas, secas prolongadas, ventos e temperatura elevadas podem dificultar as operações e alterar a eficácia dos herbicidas (VARANASI; PRASAD; JUGULAM, 2016; ZISKA, 2016). O Brasil, por sua vez, apresenta um modelo de agricultura que ocorre predominantemente no sistema de sequeiro, apenas 3% da área agrícola brasileira apresenta sistema de irrigação (EMBRAPA, 2020), portanto, a seca torna-se um fator importante e de risco no processo produtivo. Além disso, uma das práticas realizadas pelos produtores é o manejo outonal, pré-plantio das culturas, em que é comum a ocorrência de condições ambientais não ótimas, como a seca, a qual pode influenciar no comportamento do herbicida.

A textura do solo, por sua vez, representa outro fator que interfere no comportamento das plantas daninhas. Entre as interferências observa-se: capacidade de emergência variável entre espécies (TAKAHASHI et al., 2022), variação do período residual de herbicidas pré-emergentes, como no caso dos solos argilosos em que o período de controle com alguns ativos pode ser maior que nos arenosos (NOVAIS et al., 2023) e a disponibilidade de nutrientes que pode alterar o desenvolvimento da cultura e da daninha (PATTERSON, 1995; SANTOS et al., 2008). O armazenamento de água e a disponibilidade hídrica do solo para a planta, também podem ser variáveis determinantes, pois os solos com maior teor de argila, como o Nitossolos possuem maior capacidade de disponibilidade hídrica quando comparados com solos de textura média ou arenosa, com é o caso dos Latossolos (KLEIN et al., 2010; LEPSCH, 2011).

O sistema produtivo, por sua vez, pode ser considerado desde o preparo da área para o plantio até as práticas de manejo pós-colheita das culturas. Nesse sentido, o estresse hídrico pode afetar vários períodos nesse ciclo sendo influenciado pela disponibilidade hídrica. Entre as práticas de manejo, o manejo outonal, que compreende o controle de plantas daninhas em intervalos de tempo

mais longos entre a colheita e a semeadura (como exemplo a colheita da safra verão e plantio da cultura de inverno) é uma atividade cuja ocorrência de estiagens é comum e pode influenciar os herbicidas utilizados. Assim, devido ao fato de os sistemas de produção apresentarem a ocorrência de plantas daninhas juntamente a condições ambientais variáveis como a seca, no início do preparo da área para o plantio, assim como, durante a condução do cultivo, fica evidente a necessidade de estudos sobre as interações entre os fatores ambientais, como o estresse hídrico, a textura de solo e seus efeitos no comportamento de uma molécula química na planta.

Portanto, as plantas daninhas causam prejuízos às culturas agrícolas e necessitam de controle. Entre as formas de manejo, o controle químico é o mais utilizado, dentro dele podemos citar o grupo dos inibidores da ACCase que, com a presença de espécies resistentes ao glifosato, como o capim-pé-de-galinha, tornaram-se ferramentas importantes. No ambiente o comportamento dos herbicidas é afetado pelas variáveis ambientais, sendo que nos últimos anos com as mudanças climáticas esses eventos têm se tornado mais comuns. No sistema de agricultura de sequeiro no Brasil a seca se torna um fator importante e sua interação com o controle de plantas daninhas deve ser estudado para entender o efeito conjunto de cada molécula, planta daninha e tipo de solo. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho consiste em avaliar o efeito do estresse hídrico na absorção e translocação do herbicida fenoxaprop na espécie *Eleusine indica* em Latossolo e Nitossolo. Para investigar os problemas citados, este trabalho foi baseado nas seguintes hipóteses: (I) o estresse hídrico reduz absorção do herbicida pela planta, (II) quanto maior o período de estresse maior a interferência na absorção do herbicida, (III) as características texturais dos solos influenciam na absorção do herbicida. Para testar as hipóteses formuladas, foi realizado um estudo de absorção e translocação do herbicida fenoxaprop na espécie *Eleusine indica* que atua como invasora, utilizando técnicas radiométricas.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho consiste em avaliar a absorção e translocação do herbicida fenoxaprop na espécie *Eleusine indica* sob estresse hídrico em solos distintos (Latossolo e Nitossolo).

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito de diferentes períodos de estresse hídrico, anterior a aplicação, na absorção e translocação do herbicida.
- Investigar a interação entre os fatores período de estresse hídrico e textura de solo na absorção e translocação.
- Estudar o efeito de texturas de solo diferentes (Latosolo e Nitossolo), na absorção e translocação do herbicida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas

Os sistemas de produção agrícola brasileiro são variados em função das características geoclimáticas de cada região. Entre os modelos pode-se citar as sucessões soja-milho/sorgo, soja-milho/algodão, milho-algodão, milho-feijão e outras (AGUIAR, 2018; HIRAKURI et al., 2012). Esses sistemas possibilitam a realização de duas safras numa mesma área e ano, que no caso do milho, com a realização da segunda safra sobre os restos da cultura da soja, possibilitou um aumento da produção nacional sem aumento significativo da área de produção (DE SOUZA et al., 2018). A intensificação dos sistemas produtivos, dessa forma, exige do produtor maior atenção nas operações agrícolas como adubações, manejo de pragas e doenças, controle de plantas daninhas e colheita, para a viabilidade da atividade econômica.

O manejo de plantas daninhas é um fator determinante quando se analisa o efeito sobre a produtividade das culturas. A cultura da soja pode sofrer perdas de rendimento e produtividade da ordem de 23% a 60%, a depender da população de plantas daninhas na área (DANILUSSI et al., 2019, GAZZIERO et al., 2013, GAZZIERO et al., 2012). Já na cultura do algodão essa competição pode provocar perdas de 20 a 27% da produção em densidades de 4 plantas daninhas por metro linear (MA et al., 2015). A cultura do milho, por sua vez, pode apresentar redução de estatura das plantas quando em competitividade com *Eleusine indica*, (WANDSCHEER; RIZZARDI; REICHERT, 2013). Portanto, as plantas daninhas possuem, em geral, capacidade competitiva maior que a espécie cultivada comercialmente, mas o nível da competição está relacionado diretamente a densidade das infestantes, o que determina o grau de interferência (BIANCHI; FLECK; LAMEGO, 2006).

Além disso, a interferência das plantas daninhas não ocorre apenas pela competição por luz, nutrientes, água e espaço, elas podem ser hospedeiras de fungos, vírus, nematoides e pragas. No caso do capim-pé-de-galinha, ele é suscetível a algumas espécies de nematoides do gênero *Meloidogyne* (PINHEIRO et al., 2019), pode ser hospedeiro de populações de *Pratylenchus* entre safras de milho (FERRAZ; PITELLI; SOUBHIA, 1982) assim como de alguns vírus e fungos

(KISSMANN, 1993). Essas condições ressaltam a atenção para a necessidade de controle dessa planta daninha em áreas sujeitas a presença destes nematoides.

Vale ressaltar que *E. indica* foi considerada como uma das cinco plantas daninhas mais problemáticas no mundo, presente em áreas de cultivo perene, anual e não cultivadas, principalmente na África e América, na década de 70 (HOLM *et al.*, 1977). Atualmente, ela apresenta-se relevante devido ampla dispersão e presença nos ambientes, esse fato foi constatado por Lúcio *et al.*, (2019), ao observar a presença do capim-pé-de-galinha em 42% das áreas de soja do Brasil, com base na entrevista de mais de 2 mil produtores em todo o país. A presença comum e sua influência sobre as culturas decorre da produção elevada de sementes, mais de 120 mil sementes por planta, em um período de 120 dias e pela facilidade de transporte pelo vento (KISSMANN, 1993; TAKANO *et al.*, 2016). Portanto, em decorrência dos efeitos mencionados anteriormente, o manejo dessa espécie deve ser criterioso, caso contrário, o produtor pode enfrentar perda da produtividade e lucro, dificuldade de manejo nas próximas safras, depreciação da área, e até maiores gastos com manejo para o controle da espécie.

2.2 O capim-pé-de-galinha como planta daninha

A espécie *Eleusine indica* é uma planta daninha, popularmente chamada de capim-pé-de-galinha, grama-de-coradouro ou capim-de-cidade. Essa espécie não apresenta uma informação definitiva sobre sua origem exata, mas as menções mais antigas disponíveis são provenientes da Ásia e Malásia, sendo que, nas Américas, ela foi introduzida. No globo terrestre, ela é encontrada nas regiões tropicais, subtropicais e temperadas, com predominância entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio. No Brasil ela é encontrada em todo o território, desde áreas não cultivadas até aquelas com cultivo anual ou perene (KISSMANN, 1993; MOREIRA; BRAGRANÇA, 2011).

A biologia dessa espécie é de uma gramínea anual com ciclo aproximado de 120 a 180 dias, sendo esta última condição em ambientes frios e secos. A reprodução ocorre por sementes, com uma produção de até 120 mil sementes por planta, as quais apresentam facilidade no transporte pelo vento e boa capacidade germinativa em ambientes quentes e úmidos. Essa gramínea tem baixa exigência quanto ao solo e se adapta em uma ampla faixa de pH, sobressaindo no aspecto

competitivo nesses solos pobres. Em áreas compactadas essa planta se desenvolve bem, fator que justifica sua presença em margens de estradas e terrenos abandonados. A luminosidade apresenta influência no crescimento e disposição da planta, mas não altera sua reprodução. Ambientes com alta luminosidade induzem o crescimento e algum grau de prostramento, enquanto ambientes sombreados condicionam a plantas mais eretas com porte mais baixo. A seca e umidade baixa são fatores cuja planta é relativamente resistente, entretanto períodos mais frios e com seca prolongada são adversos à espécie (KISSMANN, 1993).

A morfologia dessa planta é de crescimento ereto a semi-prostrado até 0,5 metros de altura, com perfilhamento e capacidade de formar touceiras. O colmo tem um formato achatado preferencialmente na parte inferior com capacidade de ramificação na base, a coloração é verde-clara e praticamente sem pelos, raramente ocorrem pelos longos. As folhas se dispõem em maior quantidade na base e menor no colmo, da mesma forma, a bainha apresenta comprimento reduzido nas folhas basais e maior no colmo onde podem se dispor de forma solta ou sobrepondo-se. O formato das folhas adultas é de lâminas planas, com margens paralelas e ápice atenuado com comprimento de 5 – 20 cm, com nervura medianamente visível e ápice agudo (KISSMANN, 1993).

A inflorescência é do tipo panícula, com a presença de espigas, sendo comum a presença de uma espiga abaixo da panícula. Dessa forma, a morfologia da inflorescência é o que caracteriza o nome comum da espécie pela semelhança com os artelhos nos pés da galinha. As espigas são lineares com elevado número de espiguetas de cor verde e dispostas de apenas um lado da raque. O fruto dessa espécie é do tipo cariopse e caracteriza a forma de propagação. As raízes são finas, fibrosas e com grande volume concentrada em pouca profundidade, sendo comum a presença de raízes adventícias a partir de nós em contato com o solo (KISSMANN, 1993; LUIZ *et al.*, 2015; MOREIRA; BRAGRANÇA, 2011)

O avanço do melhoramento genético aplicado à resistência de plantas à herbicidas proporcionou o lançamento de cultivares de soja resistentes ao glifosato. A tecnologia *RR (Roundup Ready)* da Monsanto teve aprovação no Brasil em 1998 pela CTNBio, fator que impulsionou esse evento de transgenia e atualmente encontra-se presente nas culturas do milho, soja, algodão e eucalipto (CTNBIO, 2023). Dessa forma, o uso do glifosato tornou-se e é, atualmente, uma das práticas mais recorrente pelos produtores em geral, ocasionando a utilização em pós-

emergência por mais de uma vez ao ano em um mesmo ciclo de produção (ALVES, 2014). Essa condição proporciona maior pressão de seleção e manutenção de biótipos resistentes de uma planta daninha em uma mesma área, como é o caso de *Eleusine indica* (TAKANO *et al.*, 2017).

A resistência das plantas daninhas é uma característica natural e selecionável dentro de uma população. Essa condição é observada em alguns indivíduos que sobrevivem a determinadas doses de um herbicida que seriam naturalmente letais para os indivíduos susceptíveis da mesma espécie (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016). No caso da planta daninha capim-pé-de-galinha, o primeiro caso de resistência ao herbicida glifosato é datado do ano de 1997 em pomares na Malásia. Já no Brasil, a primeira notificação da resistência é do ano de 2016 na região de Campo Mourão no Paraná, em lavouras de soja *RR* seguidas de milho ou trigo (HEAP, 2023). Posteriormente no ano de 2017, foi identificado no estado do Mato Grosso um caso de resistência múltipla a dois mecanismos de ação, inibidores da ACCase e da enzima EPSPS, respectivamente aos ingredientes ativos fenoxaprop-etil, haloxifop-metil e glifosato (HEAP, 2023a).

A identificação da resistência ressalta a atenção ao controle dessa planta daninha nos sistemas de agricultura brasileira em que o uso do glifosato é comum. O manejo de plantas daninhas engloba alternativas para o controle e a redução da pressão de seleção, algumas das práticas recomendadas são: o uso das doses de bula, a rotação de herbicidas com mecanismo de ação diferente, a mistura de ingredientes ativos distintos assim como de mecanismos, desde que o efeito seja o desejado. Além disso, vale ressaltar que o manejo integrado é uma medida essencial (NORSWORTHY *et al.*, 2012).

No caso de *Eleusine indica* resistente ao glifosato são apresentados como alternativa de controle químico o uso de herbicidas inibidores do fotossistema I e II (paraquat, paraquat+diuron e atrazine), inibidores biossíntese de carotenoides (mesotrione e tembotrione) em conjunto com atrazine, e principalmente os inibidores da ACCase (graminícidas), porém sem a mistura com glifosato, uma vez que pode reduzir a eficiência (TAKANO *et al.*, 2018b). Vale ressaltar que o paraquat teve sua utilização proibida no ano de 2017, não sendo uma alternativa possível para o manejo atualmente. O uso desses graminícidas, em especial, por sua vez, é relevante devido a sua seletividade para culturas de folhas largas e a eficácia, mas é

fundamental o uso racional desses ativos para evitar a perda de eficiência e a possível seleção de resistência (BARROSO *et al.*, 2010).

2.3 Comportamento de herbicidas no ambiente

Os herbicidas quando aplicados sofrem os efeitos do ambiente em que foram utilizados e, dessa forma, podem apresentar diferentes comportamentos. Os fatores que interferem nesse comportamento são as propriedades físico-químicas do solo, dos herbicidas e a condição ambiental, fatores esses que combinados determinam os processos de retenção, transporte e degradação (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011). A retenção é baseada no processo de sorção-dessorção que se refere à retenção dos herbicidas no solo ou outras partículas como a matéria orgânica. A sorção pode ser dividida nos processos de absorção, adsorção e precipitação. Já o transporte dos herbicidas ocorre pelos processos de: lixiviação, quando o herbicida acompanha o movimento vertical descendente da água juntamente com seu fluxo; escoamento superficial ou subsuperficial em que o herbicida é movimentado na superfície juntamente com partículas de solo ou na solução entre áreas tratadas e não tratadas; e volatilização, deriva ou suspensão de partículas em que a molécula do herbicida se movimenta do solo ou da superfície da planta para a atmosfera e até áreas não-alvo. E por fim a transformação dos herbicidas que ocorre na superfície do solo por meio da degradação abiótica, realizada pelo efeito da luz (fotodegradação), da água (hidrólise) e do intemperismo (químicas). Na solução do solo, a degradação biótica é o principal processo de degradação de herbicidas, em que os microrganismos do solo metabolizam o componente transformando-o em outro (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011).

Além dos fatores ambientais, as plantas também apresentam características que influenciam na absorção dos herbicidas. Em geral, a absorção de pesticidas pode ocorrer pelas folhas, caule, raiz e frutos (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011). No caso dos herbicidas inibidores da ACCase a absorção foliar representa a principal forma e ela ocorre através de tricomas, da cutícula e dos estômatos (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011). Entretanto, algumas condições naturais da planta promovem a menor absorção dos herbicidas em geral, entre elas: a presença de estômatos e células-guarda em maior quantidade na face abaxial da

folha, o espessamento natural da cutícula em plantas mais velhas o que reduz a permeabilidade, o espalhamento da calda na superfície da folha pela interação entre a calda e cutícula, as condições climáticas no momento da aplicação como luz, temperatura e umidade, e a cobertura da aplicação realizada sobre a planta (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011).

2.4 Herbicidas Inibidores da ACCase

Os herbicidas inibidores da ACCase são classificados de acordo com o *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC) como o grupo A. Esse grupo pode ser chamado também como inibidores da síntese de lipídeos, ou inibidores da síntese de ácidos graxos. Nessa classificação existem três grupos: os ariloxipropionatos (APPs) ou “FOPs”, os ciclohexanodionas (CHDs) ou “DINs” e os Fenilpirazolininas (DENs). Ambos os grupos apresentam características semelhantes de seletividade, modo de ação e espectro de controle (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011). As características gerais desse grupo são: herbicidas sistêmicos atuantes sobre gramíneas anuais e perenes; espécies não gramíneas apresentam tolerância (culturas e plantas daninhas); aplicados em diferentes épocas e estádios das plantas, porém a eficácia é maior em gramíneas com 3 a 5 folhas; a penetração ocorre, geralmente, por via foliar, uma vez que, a atividade baixa no solo restringe o uso nessa modalidade; e a utilização de doses em pós-emergência é menor, porém gramíneas perenes exigem maiores doses (OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011). Outras características desse grupo: são absorvidos pela folhagem de maneira rápida, mas a translocação varia entre as espécies, por xilema ou floema; necessidade de adjuvante para atividade máxima, e a eficiência diminui em condições de estresse hídrico (MENDES, 2022). Vale ressaltar que, no Brasil, já foram registrados casos de resistência a esse mecanismo de ação (HEAP, 2023b; OLIVEIRA JR; CONSTANTIN; INOUE, 2011).

Dessa forma, um dos ingredientes ativos desse grupo é o fenoxaprop pertencente ao grupo químico dos Ariloxifenoxipropionatos (FOPs). O Fenoxaprop-ethyl possui como características químicas: solubilidade de 0,43 mg L⁻¹, Log Kow 4,58 em pH 7,2, meia vida típica de 0,36 dias e é um herbicida ácido forte com constante de pka 0,18 (LEWIS *et al.*, 2016). Esse ingrediente é registrado para as culturas da alface, algodão, batata, cebola, cenoura, ervilha, feijão, melão, melancia,

soja, tomate e trigo. Algumas das plantas daninhas controladas por esse ingrediente são *Brachiaria plantaginea*, *Digitaria horizontalis*, *Eleusine indica*, *Cenchrus echinatus*, *Zea mays*, *Brachiaria decumbens*, *Digitaria insularis*, *Avena strigosa*, *Echinochloa crusgalli* e *Pennisetum setosum* (AGROFIT, 2023).

O mecanismo de ação dos herbicidas inibidores da ACCase baseia-se na inibição da enzima ACCase. Já o modo de ação pode ser descrito da seguinte forma: a enzima ACCase é encontrada no estroma dos plastídeos e é responsável pela conversão do acetil-coenzima A (acetil-CoA) em malonil-coenzima A (malonil-CoA), por meio da adição de uma molécula de CO₂ ao acetil-CoA. Essa etapa é responsável pelo início da reação de biossíntese de lipídios nas células e é a etapa-chave na regulação do ritmo de reação do processo. A consequência da falta de lipídios é a despolarização da membrana celular, afetando membranas, ceras e compostos energéticos. O efeito é mais pronunciado nos tecidos meristemáticos e foliares jovens, do que em tecidos maduros, pois o transporte mais lento de lipídeos enfatiza os efeitos graves naqueles locais. Devido ao fato de as folhas das gramíneas serem formadas em meristemas intercalares na base da planta, ao matar essas células pela inibição da enzima ACCase, ocorre um acúmulo de amido nas folhas mais maduras, fotossintetizantes, o que provoca danos às células. Além disso, pelo colapso do meristema, o fluxo de água para esses tecidos é prejudicado. Os meristemas das raízes também são afetados de maneira severa, porém as partes mais velhas não. Esses processos são também acompanhados pelo acúmulo de antocianinas que provocam posteriormente necrose. (MENDES, 2022).

A seletividade a esse mecanismo de ação ocorre em função da existência de duas formas da enzima ACCase: forma procariótica e eucariótica. A forma procariótica é insensível a inibição pelos herbicidas desse mecanismo e é encontrada apenas nos plastídeos de plantas eudicotiledôneas. Já a forma eucariótica é inibida pela enzima e se encontra presente em todas as plantas no citoplasma, mas também nos plastídeos das gramíneas. Dessa forma, com a aplicação e absorção dos herbicidas inibidores da ACCase, essas últimas plantas perdem a ação da enzima pela presença apenas da forma eucariótica (sensível), tanto no citoplasma quanto nos plastídeos. Já as plantas eudicotiledôneas são resistentes por possuírem, aparentemente, a capacidade de síntese de lipídeos por meio de sua ACCase procariótica (insensível) que não é inibida (MENDES, 2022).

2.5 Controle de *Eleusine indica* com herbicidas inibidores da ACCase

Os herbicidas inibidores da ACCase são considerados eficazes no controle de *Eleusine indica* (JAMES *et al.*, 2013; TAKANO *et al.*, 2018b). Entretanto esse controle pode tornar-se menos eficaz em aplicações quando a planta se encontra em estágios mais avançados, com mais de quatro perfilhos, dificultando o controle com fenoxaprop (BAROSSO; MURATA, 2021; NORSWORTHY *et al.*, 2012). Essa condição é comum em condições de aplicação na dessecação (pré-semeadura) para a semeadura da safra seguinte e no manejo outonal. Vale ressaltar, que a eficácia pode ser reduzida em áreas com a resistência identificada para esse ingrediente ativo, que no caso do Brasil foram encontradas em plantações de soja na região Centro-Oeste e posterior em sistemas de plantio com milho, soja, feijão e algodão, também na região do Mato Grosso (HEAP, 2023b).

O ambiente tem potencial de afetar a eficácia do uso dos herbicidas inibidores da ACCase. Cieslik *et al.*, (2013), encontraram que três fatores ambientais têm maior influência: temperatura do ar, umidade relativa do ar e luminosidade. A temperatura e umidade do ar são os fatores que mais interferem nesse desempenho, pois em condições de elevação dessas variáveis, até certo limite, favorece a absorção e translocação do produto, o oposto ocorre em condições de baixo valor desses fatores que provocaram em geral alterações de metabolismo (menor metabolismo) e na fisiologia (maior presença de cera na epiderme da folha). A luminosidade, por sua vez, apresenta uma relação complexa com possibilidade de melhoria tanto em condições de alta incidência quanto em condições de sombreamento. Dessa forma, fica evidente que a eficácia dos herbicidas depende da análise de cada um desses fatores em conjunto com o herbicida, sendo complexa a relação entre eles (CIESLIK *et al.*, 2013).

Ademais, a disponibilidade hídrica é um fator que pode afetar a eficiência dos inibidores da ACCase. Os autores Perreira *et al.*, (2010), apresentam que a menor disponibilidade hídrica no solo afeta a absorção, translocação e metabolismo dessa classe de herbicidas de maneira negativa. Essas condições ocorrem, pois, a absorção do herbicida está ligada a quantidade de líquido que atravessa a cutícula da folha, a qual por sua vez tem influência da umidade do solo na sua conformação, juntamente às características físico-químicas do herbicida e o estágio fenológico da planta daninha (PEREIRA *et al.*, 2010).

As hipóteses para as alterações na translocação, absorção e penetração estão relacionadas a baixa disponibilidade hídrica que proporciona alterações na composição e estrutura das folhas como: aumento da pilosidade; estômatos mais afundados na epiderme e maior número de células buliformes que alteram o enrolamento e desenrolamento das folhas, assim como, a síntese de cutícula que deixa a folha mais lipofílica (PEREIRA et al., 2015). Vale ressaltar que, Barroso e Murata, (2021), em uma revisão sobre o efeito do estresse hídrico na eficácia de diferentes grupos químicos de herbicidas, inclusive os inibidores da ACCase, concluíram que o controle de plantas daninhas é variável e depende da combinação entre: molécula do herbicida utilizado, espécie, estágio de desenvolvimento do alvo e a intensidade do estresse hídrico proporcionado pelo solo.

2.6 Caracterização dos Solos

O conceito de solo não é universal e varia de acordo com a percepção da área de estudo. A conceituação segundo a Pedologia é que: o termo solo é proveniente da palavra “*solum*” (base, suporte, superfície) e que faz referência a parte mais externa e superior da litosfera ou crosta terrestre, ou seja, a porção mais superior do regolito. A definição de regolito é uma porção de material solta, formada por solo e rocha alterada pelo intemperismo, alocada sobre uma formação rochosa consolidada (KER et al., 2015).

O solo, por sua vez, é constituído por um sistema trifásico formado por partes sólidas, líquidas e gasosas. A fração sólida é proveniente da interação entre as partículas sólidas, minerais e orgânicas que interagindo entre si compõe a estrutura da matriz do solo. A parte líquida é formada pelos vazios ou poros, preenchidos com água e sais, o que se chama de solução do solo. E a fração gasosa é caracterizada pelos gases presentes nestes poros, o que se define como o ar do solo (KER et al., 2015).

A caracterização de um solo depende da análise morfológica dele, considerando suas características, entre elas: espessura e disposição de horizontes, textura, cor, estrutura, porosidade e consistência. Essas características permitem refletir sobre a origem e formação do solo, assim como fazer inferências sobre o comportamento das plantas e sobre as respostas às práticas de manejo como: compactação, susceptibilidade a erosão, lixiviação, armazenamento de água e

drenagem. No Brasil, o sistema de classificação mais apropriado é o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), uma vez que, esse modelo foi desenvolvido e aperfeiçoado considerando as características climáticas, de material de origem e de profundidade dos solos brasileiros (KER *et al.*, 2015).

Dentre as classes de solos existentes no Brasil, duas foram analisadas: os Latossolos e os Nitossolos. Os Latossolos mais típicos caracterizam-se por solos profundos e que passaram por longos períodos de intemperização tornando-se alterados em relação ao material de origem. A estrutura é comum forte e granular, muito friável se desfazendo em vários agregados menores. A textura varia entre média e argilosa, assim como, a coloração é variável entre avermelhada, alaranjada e amarelada. A capacidade de drenagem é de forte a acentuada devido à alta porosidade e permeabilidade, assim como, não apresentam pegajosidade. Essas características facilitam a mecanização desse solo, uma vez que ele se localiza nos topos das paisagens com relevos planos a suave ondulados. A fertilidade geralmente é baixa, porém as práticas de correção do solo e adubação melhoram o suporte de produção. Quanto a erosão essa classe apresenta baixo risco devido ao relevo plano predominante e as características físicas (LEPSCH, 2011; SCBS/NEPAR, 2017).

Os Nitossolos mais típicos, por outro lado, são solos medianamente profundos, porosos e bem drenados e com cor predominantemente avermelhada uniforme. Os solos dessa classe são classificados com textura argilosa ou muito argilosa e com estrutura forte em blocos ou prismática, com a característica predominante de superfícies nítidas e brilhantes, chamada de cerosidade. A fertilidade dos solos é variável entre alta e média saturação por bases e sendo que aqueles com maior nível são mais utilizados para a agricultura e mais produtivos. A erosão apresenta um risco considerável, principalmente em solos mal manejados e devido ao relevo de ocorrência ser ondulado (LEPSCH, 2011; SCBS/NEPAR, 2017).

A caracterização morfológica das classes de solos permite fazer inferências sobre as diferenças de comportamento entre elas. A comparação entre o armazenamento de água e disponibilidade hídrica entre Latossolos e Nitossolos permite inferir que nos Latossolos a microagregação permite um movimento de percolação mais rápida da água e alcance de grandes profundidades. Já os Nitossolos pela estrutura de blocos e a textura argilosa, reduz-se os macroporos e assim a velocidade de infiltração, o que contribui para uma maior retenção de água.

Vale ressaltar que essa diferença é comum, mas apresenta-se mais evidente quando se compara Latossolos de textura média com os Nitossolos de textura argilosa, pois o teor mais alto de areia provoca aumento na taxa de infiltração e redução na capacidade de retenção (LEPSCH, 2011)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local de realização dos estudos

Os estudos de absorção e translocação em *Eleusine indica* foram realizados no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, Universidade de São Paulo-USP, Piracicaba, SP, Brasil.

3.2 Substâncias químicas

O estudo de absorção e translocação necessitou do herbicida fenoxaprop radiomarcado, foi utilizado o ^{14}C -fenoxaprop-p-etil com atividade específica de 1,35 kBq μL^{-1} e com pureza maior que 95% (como recomendado pela OECD). No preparo da calda foi utilizada uma formulação comercial do herbicida, Podium® EW, com 110 g/L de fenoxaprop-p-etílico, cuja recomendação de bula utilizada foi de 0,8 L/ha do herbicida comercial em uma vazão de 150 L/ha. A radioatividade aplicada em cada tratamento foi de aproximadamente 4,17 – 4,28 kBq por planta.

3.3 Caracterização da absorção e translocação de ^{14}C -fenoxaprop

Para caracterizar a rota de absorção e translocação do herbicida foram utilizadas técnicas radiométricas e o experimento foi conduzido de acordo com a metodologia de Nandula e Vencil (2015), que vem sendo utilizada para estudos de absorção e translocação de herbicidas em plantas (TAKESHITA *et al.*, 2021). O experimento contou com delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5 (2 solos e 5 níveis de restrição hídrica) com 4 repetições. A planta consistiu em capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), os níveis de restrição hídricas consistiram em 0, 3, 5, 7 e 10 dias de estresse antes da aplicação e os tipos de solo utilizados foram Latossolo e Nitossolo. A avaliação da absorção e da translocação foi realizada 72 horas após a aplicação do herbicida.

As unidades experimentais foram vasos preenchidos com Latossolo (LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico) e Nitossolo (NVd - Nitossolo Vermelho Distrófico) com 1 planta por vaso (Figura 1a). As plantas foram cultivadas e mantidas durante todo o experimento em câmara de crescimento de plantas sob condições ambientais controladas: temperatura média de 24°C, umidade relativa de 65%, fotoperíodo de 11 horas e concentração média de CO_2 de 400 ppm. A restrição hídrica foi definida pela interrupção da rega dos vasos por um período de 0, 3, 5, 7 e 10 dias antes da aplicação do herbicida (Figura 1b). O solo foi reestabelecido à

capacidade de campo, por meio de rega sem atingir a parte aérea, em 3 horas após a aplicação.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do solo.

Solo		Latossolo	Nitossolo
Propriedades*	Unidade	Valores	
Areia	%	77,5	29,8
Silte	%	2,7	14,7
Argila	%	19,9	55,5
Classe de textura	-	md-ar	arg
pH (CaCl ₂)	-	5,78	4,67
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	17,2	18
Carbono Orgânico**	%	1	1,04
Fósforo (P)	mg gm ⁻³	50,3	23,7
Potássio (K)	mmolc.dm ⁻³	4,1	2,93
Cálcio (Ca)	mmolc.dm ⁻³	34,8	37,9
Magnésio (Mg)	mmolc.dm ⁻³	12,8	19,4
H+Al	mmolc.dm ⁻³	14,9	48,9
Soma de bases (SB)	mmolc.dm ⁻³	51,7	60,2
Capacidade de troca catiônica (CTC)	mmolc.dm ⁻³	66,6	109,1
Saturação de bases (V%)	%	78	55

*Solo analisado no Laboratório de Fertilizantes Minerais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. **Valor calculado utilizando o dado analisado de Matéria Orgânica (%) dividido pelo fator de correção de 1,72. As classes de textura apresentadas são média-arenosa (md-ar) e argilosa (arg).

A aplicação da calda fria contendo o herbicida comercial Podium® (110 g/L de fenoxaprop-p-etílico) ocorreu no estágio das plantas com 4 folhas verdadeiras, com uma bomba de aplicação pressurizada com CO₂, calibrada para aplicar 150 L ha⁻¹ a 250 kPa, equipada com um bico modelo XR 11002 a 50 cm das plantas (Figura 1c).

Após essa aplicação, as soluções radiomarcadas foram aplicadas na terceira folha verdadeira da planta (cobertas com saquinhos para não ocorrer overdose do herbicida), os saquinhos plásticos foram então removidos e 10 gotas de 1 µL da solução das formulações contendo herbicida radiomarcado (^{14}C -fenoxaprop) foram aplicadas nas respectivas folhas com o auxílio de microseringa automática (Hamilton PB6000 Dispenser, Hamilton Co., USA) (Figura 1d).



Figura 1. a) Plantas de *Eleusine indica* em crescimento nas unidades experimentais. b) Plantas em estresse hídrico anterior a aplicação. c) Aplicação do produto frio nas plantas com a folha coberta por saco plástico. d) Aplicação da solução radiomarcada na terceira folha da planta.

No tempo determinado (72 horas após a aplicação), as folhas tratadas com ^{14}C -fenoxaprop foram cortadas da planta (Figura 2a), lavadas com solução de metanol/água (1:1 v/v) e duas alíquotas de 500 μL dessa solução de lavagem foram acometidas em frascos com 5 mL de solução cintiladora e submetidas à análise no Espectrômetro de Cintilação Líquida (ECL) por 5 minutos para quantificação da radioatividade, para a obtenção da porcentagem do herbicida que não foi absorvido.

Após a lavagem da folha tratada, as plantas passaram pela retirada dos vasos e foram alocadas à secagem em estufa de circulação de ar por 24h a 45°C. Quando

secas, as plantas foram organizadas em exsiccatas, prensadas por 24h e sensibilizadas em filme fotofluorescente para uma avaliação qualitativa da absorção e translocação através de imagens geradas por autorradiografia (Figura 2b).

Para quantificar o ^{14}C -fenoxaprop absorvido e translocado, as plantas depois de secas passaram por seccionamentos em 5 partes (raiz, caule, folha tratada, folhas abaixo da folha tratada e folhas acima da folha tratada) (Figura 2c). Após o seccionamento, cada parte das plantas foi queimada em oxidador biológico por 3 minutos a 950°C , onde o $^{14}\text{CO}_2$ resultante da queima da amostra é fixado em frascos contendo 10 mL de solução cintiladora, que foram submetidos à análise em ECL por 5 minutos para quantificação da radioatividade (Figura 2d).

A quantificação da porcentagem de ^{14}C -fenoxaprop absorvida e não absorvida foi calculada em relação a quantidade inicial aplicada (4164 Bq). A porcentagem de ^{14}C -fenoxaprop translocada foi calculada pela soma da radioatividade em cada parte da planta, exceto a folha tratada com ^{14}C -fenoxaprop. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativas ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o software *RStudio*. Os gráficos foram plotados utilizando o software *Origin*.



Figura 2. a) Corte da folha tratada com o produto radiomarcado. b) Plantas em exsicata sendo presadas em filme fotofosorescente. c) Seccionamento da planta em suas 5 partes. d) Amostras das partes da planta sendo queimadas em oxidador biológico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito na absorção

O balanço de massa do experimento variou de 78,1 – 92,7% e está próximo os valores propostos pela OECD (90 – 110%) para experimentos com solo utilizando técnicas radiométricas, assim como são próximos, aos alcançados por Rossi *et al.*, (1993), de 94-97% com plantas. Os fatores avaliados, tipo de solo e períodos de estresse hídrico, não apresentaram interação significativa entre si na absorção ($p>0,05$). Por outro lado, houve diferenças significativas ($p<0,05$) entre os tratamentos com os fatores independentes (tipo de solo e período de estresse hídrico). O fator tipo de solo apresentou diferença significativa entre si ($p<0,05$). O Nitossolo ($63,55 \pm 3,19\%$) absorveu mais herbicida que o Latossolo ($55,16 \pm 2,04\%$) (Tabela 2; Figura 3).

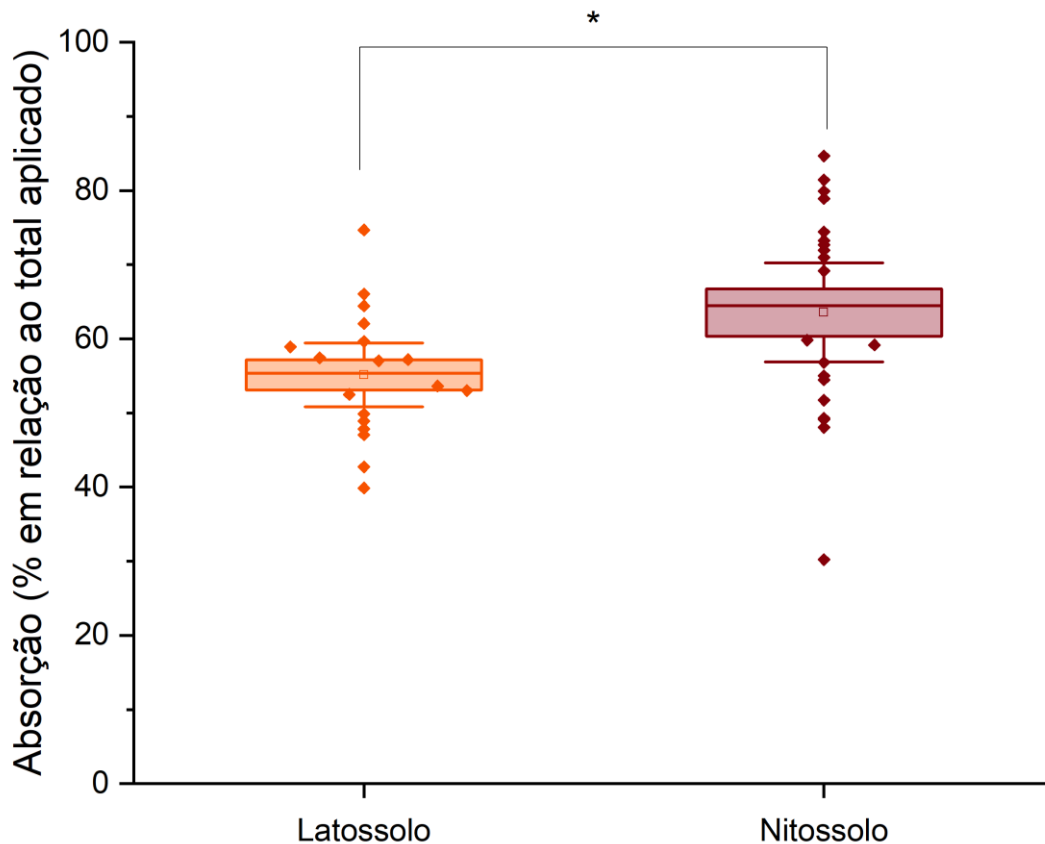


Figura 3. Porcentagem de absorção de ^{14}C -fenoxaprop em relação ao total aplicado em cada tipo de solo. A caixa representa em seu traço superior o primeiro quartil, o traço no meio a mediana ou o segundo quartil e o traço inferior o terceiro quartil, já o ponto ao centro representa a média. As barras superior e inferior representam respectivamente os valores máximo e mínimo. Os pontos preenchidos indicam os valores amostrados, aqueles acima e abaixo das barras representam os *outliers*. O asterisco indica diferença significativa entre os tratamentos (ANOVA, $p < 0,05$).

A maior absorção no Nitossolo, pode estar associada ao maior armazenamento e disponibilidade de água quando comparado aos solos do tipo Latossolo (PRADO *et al.*, 2003). A restrição hídrica resulta em condições de estresse que podem afetar o desenvolvimento da planta e a eficácia do herbicida. Entre as condições do estresse destaca-se o menor ângulo de inserção da folha no caule, que reduz a retenção de gotas, em períodos longos pode provocar fechamento estomático, espessamento foliar, morte de folhas e menor desenvolvimento da planta, fatores estes que em consequência, provocam efeitos na absorção de herbicidas (VARANASI; PRASAD; JUGULAM, 2016). Ao comparar a média de absorção

desses solos, a disponibilidade hídrica pode ser menor nos Latossolos, em todos os períodos, devido a sua textura (média-arenosa) o que altera a fisiologia das plantas e pode provocar menor absorção quando em comparação com os Nitossolo que podem apresentar valores de disponibilidade maior, pela característica textural.

Essa disponibilidade maior de água proporciona menor estresse hídrico e maior atividade metabólica da planta. Ao correlacionar com as classes texturais, o efeito mais pronunciado do estresse hídrico pode ser observado no Latossolo do que no Nitossolo. Nesse sentido, XIE *et al.*, (1996) encontraram resultado semelhante ao do Nitossolo (maior disponibilidade hídrica e maior absorção), em que as plantas de *Avena fatua* sem estresse hídrico tiveram maior absorção de fenoxaprop (76% do aplicado) do que as plantas que passaram por estresse (56 %do aplicado).

Tabela 2 – Absorção do ^{14}C -Fenoxaprop em *Eleusine indica* sob cinco períodos de estresse hídrico. Os valores representam a média \pm erro padrão da média ($n = 4$). Letras maiúsculas indicam diferenças nos tipos de solo (ANOVA, $p < 0.05$). Letras minúsculas indicam diferenças dentro dos períodos de estresse hídrico (teste de Tukey ($p < 0.05$)).

Tratamento	Absorção (%) ^a		<i>p</i> -valor
Latossolo	55,16 \pm 2,04	B	0.012082*
Nitossolo	63.55 \pm 3,19	A	
Testemunha (zero dias)	55,75 \pm 4,77	b	0.002319*
3 dias	54,82 \pm 1,52	b	
5 dias	51,60 \pm 5,03	b	
7 dias	63,04 \pm 4,75	ab	
10 dias	71,19 \pm 2,92	a	

^aPorcentagem do total aplicado. ^{ns}Não-significativo em ANOVA a 5% de significância. *Significativo a 5% de significância.

O fator período de restrição hídrica apresentou diferenças significativas na absorção do herbicida testado ($p < 0,05$). Os períodos com a maior absorção foram 10 dias ($71,19 \pm 2,92\%$) e 7 dias ($63,04 \pm 4,75\%$), uma vez que, os dois tratamentos foram semelhantes entre si. Os outros períodos, por sua vez, 5 dias ($51,60 \pm 5,03\%$), 3 dias ($54,82 \pm 1,52\%$) e zero dias ($55,75 \pm 4,77\%$) não apresentaram diferenças entre si e obtiveram os menores valores de absorção (Tabela 2; Figura 4).

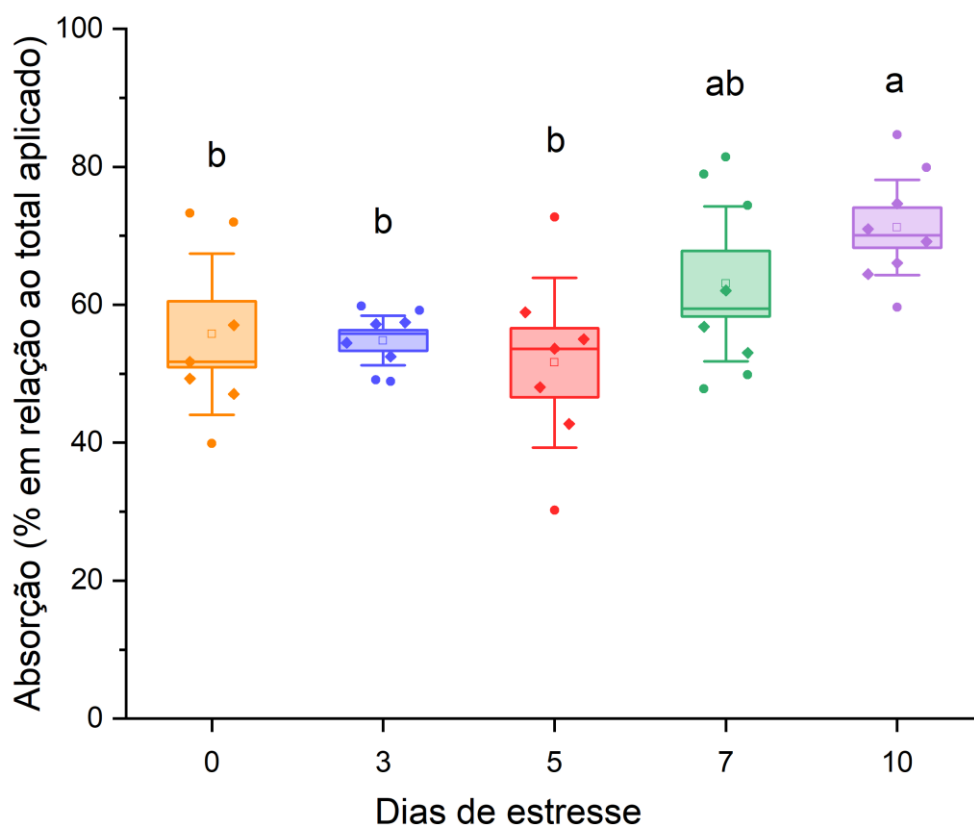


Figura 4. Porcentagem de absorção de ^{14}C -fenoxaprop em relação ao total aplicado em cada período (dias) de estresse hídrico. A caixa representa em seu traço superior o primeiro quartil, o traço no meio a mediana ou o segundo quartil e o traço inferior o terceiro quartil, já o ponto ao centro representa a média. As barras superior e inferior representam respectivamente os valores máximo e mínimo. Os pontos preenchidos indicam os valores amostrados, aqueles acima e abaixo das barras representam os *outliers*. Letras minúsculas indicam diferenças dentro dos períodos de estresse hídrico pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados encontrados nesse experimento foram contrários aos dos autores Rossi, Di Tomaso e Neal, (1993). Eles avaliaram o comportamento de fenoxaprop em *Digitaria ischaemum* (capim-colchão) sob estresse hídrico e observaram que a absorção não foi afetada pelo nível de estresse nem por sua duração (dias). Entretanto, esses autores submeteram as plantas a níveis de estresse de 48h e 96h pós-aplicação do herbicida, com avaliação 72h após a reidratação, o que configura um tempo maior de absorção e justifica os valores mais altos encontrados (87-90% do aplicado). A diferença de absorção entre plantas com tempo de avaliação distintos, pós-aplicação, foi apresentada por Reynolds *et al.*, (1988) ao investigar intervalos de 3, 6 e 48h e justifica a diferença entre os resultados de Rossi, Di Tomaso e Neal, (1993) e os desta pesquisa. Pois no caso do experimento deste trabalho, o tempo de avaliação foi de 72 horas pós-aplicação, enquanto Rossi, Di Tomaso e Neal, (1993) avaliaram tempos maiores (120 e 168 horas).

Além disso, Reynolds *et al.*, (1988), encontraram resultados semelhantes aos apresentados nesta pesquisa. Eles avaliaram três graminicidas pertencentes ao grupo dos FOP (quizalofop, haloxyfop e fluazifop). O resultado apresentado foi que os valores de absorção foram maiores em plantas com estresse hídrico (53% do aplicado) perante aquelas sem estresse (42% do aplicado), na média de todos os herbicidas. Estes mesmos autores não apresentam uma justificativa para esse comportamento, mas elucidam que ele pode estar relacionado a maior retenção foliar do produto em plantas sob estresse.

Nesse sentido, vale destacar que a característica da cutícula das plantas é um fator importante nessa relação de retenção. Malpassi, (2006), analisou o efeito de quizalofop na estrutura da cutícula de *Eleusine indica* e constatou que plantas mais velhas dessa espécie, com 3 ou mais perfilhos, apresentam uma cutícula mais espessa em decorrência de maior deposição de cera epicuticular. De acordo com a autora, essa cera pode funcionar como um compartimento de retenção a constituintes lipofílicos, como é o caso de quizalofop. A autora constatou também, que o quizalofop tem a capacidade de dissolver essa barreira, mas que essa capacidade depende de um tempo maior quanto maior sua quantidade, mas que pode não ser efetivo em plantas mais desenvolvidas.

A presença de cera epicuticular mais espessa é uma característica comum em plantas sob estresse hídrico (SKOSS, 1955), como uma alternativa para evitar a perda de água por transpiração e preservá-la no interior da folha (CAMPOS;

SANTOS; NACARATH, 2021; TAIZ; ZEIGER, 2009). Os autores Xie, Quick e Hsiao, (1994), também observaram a concentração de cera epicuticular em *Avena fatua* sob estresse hídrico. Essa característica torna a folha mais lipofílica, o que pode favorecer a entrada de herbicidas com esse caráter e dificultar a entrada de herbicidas com caráter hidrofílico (CARVALHO, 2013). Nesse sentido, pelo fato do fenoxaprop ser um herbicida de caráter lipofílico (Log Kow 4,58 em pH 7,2), a maior absorção pode ser justificada por essa relação se assemelhando ao comportamento do quizalofop, apresentado anteriormente por Malpassi, (2006).

Nesse sentido, Rossi, Di Tomaso e Neal, (1993) avaliaram o efeito do estresse por umidade na absorção de fenoxaprop-etil e constataram na lavagem da folha com metanol e clorofórmio que a cutícula das plantas de capim-colchão sob estresse hídrico não representa uma barreira a absorção de fenoxaprop-etil, mesmo em condições de estresse hídrico. Essa capacidade, segundo eles, se deve ao caráter lipofílico e a presença do éster etílico no pesticida, características que demonstram a ausência de diferenças na absorção entre as plantas com e sem estresse. Esses resultados, apesar da diferença dos apresentados neste experimento (diferença de absorção em plantas sob estresse) sugerem que, os valores mais altos de absorção das plantas sob estresse hídrico de sete e dez dias, pode estar associado à maior presença de cera nessas plantas, o que estimularia a retenção e absorção. Essas hipóteses de diferença de resultados podem ter ocorrido, pois os autores Rossi, Di Tomaso e Neal, (1993) avaliaram o estresse em intervalos de tempo menores que sete e dez dias pós-aplicação, esse tempo menor resultaria em redução da quantidade de cera o que facilitaria a lavagem da folha, conforme apresentado por eles.

Boydston, (1990), constatou que o controle com graminicidas em *Setaria viridis* pode ser eficiente, independentemente do período de restrição hídrica cuja planta foi submetida, se for realizada irrigação logo após a aplicação do herbicida, não apresentando diferenças de controle para aquelas plantas mantidas sem estresse. Esse fato evidenciou ao autor que os mecanismos responsáveis pela redução da ação do herbicida em gramíneas podem ser revertidos de maneira rápida por uma irrigação ou rega. Essa constatação pode ser semelhante a encontrada nesta pesquisa para a maior absorção em plantas com estresse hídrico mais longo, uma vez que a irrigação foi realizada logo após a aplicação do produto, o que explicaria a maior absorção nas plantas submetidas a maior período de restrição hídrica, pela

ativação metabólica da planta. Entretanto, para confirmar essa semelhança com Boydston, (1990), é necessário realizar um teste de controle da gramínea *E. indica*.

Em resumo, a diferença de absorção na média entre os solos, pode ser justificada pelos efeitos diferenciais que os solos causam nas plantas, principalmente quanto ao estresse hídrico em duração e intensidade, alterando a morfologia da planta e a capacidade de absorção. Já a diferença de absorção entre os períodos de estresse hídricos mais longos, independente do solo, possui como hipótese a possibilidade da presença de mais cera epicuticular nas plantas em período de estresse mais longo (7 e 10 dias). Essa cera, pelo caráter lipofílico, pode não representar uma barreira a absorção, mas pode reter o herbicida facilitando sua absorção no momento da aplicação ou com a reativação metabólica possibilitada pela irrigação.

4.2 Efeito na translocação

A translocação do herbicida na planta daninha não apresentou diferenças significativas nos fatores tipo de solo e período de restrição hídrica ($p > 0,05$). No mesmo sentido, a interação entre esses fatores também não foi significativa ($p > 0,05$). Dessa forma, foi possível observar que a translocação ocorreu de maneira semelhante para todos os tratamentos com valores médios entre 1,47 - 2,02%. (Tabela 3; Figura 5).

Tabela 3 – Translocação do ^{14}C -Fenoxaprop em *Eleusine indica* sob cinco períodos de estresse hídrico. Os valores representam a média \pm erro padrão da média ($n = 4$). Letras minúsculas indicam diferenças dentro dos períodos de estresse hídrico, pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Solo	Latossolo	Nitossolo	
Tratamento	Translocado (%)		<i>p</i> -valor
Testemunha (zero dias)	2,01 \pm 0,45	1,39 \pm 0,23	
3 dias	1,46 \pm 0,11	1,27 \pm 0,18	0,4872 ^{ns}
5 dias	1,64 \pm 0,12	2,02 \pm 0,72	
7 dias	1,56 \pm 0,21	1,27 \pm 0,07	
10 dias	1,45 \pm 0,08	1,43 \pm 0,21	
<i>p</i> -valor interação	0,5803 ^{ns}		

^{ns}Não-significativo em ANOVA a 5% de significancia. *Significativo a 5% de significância.

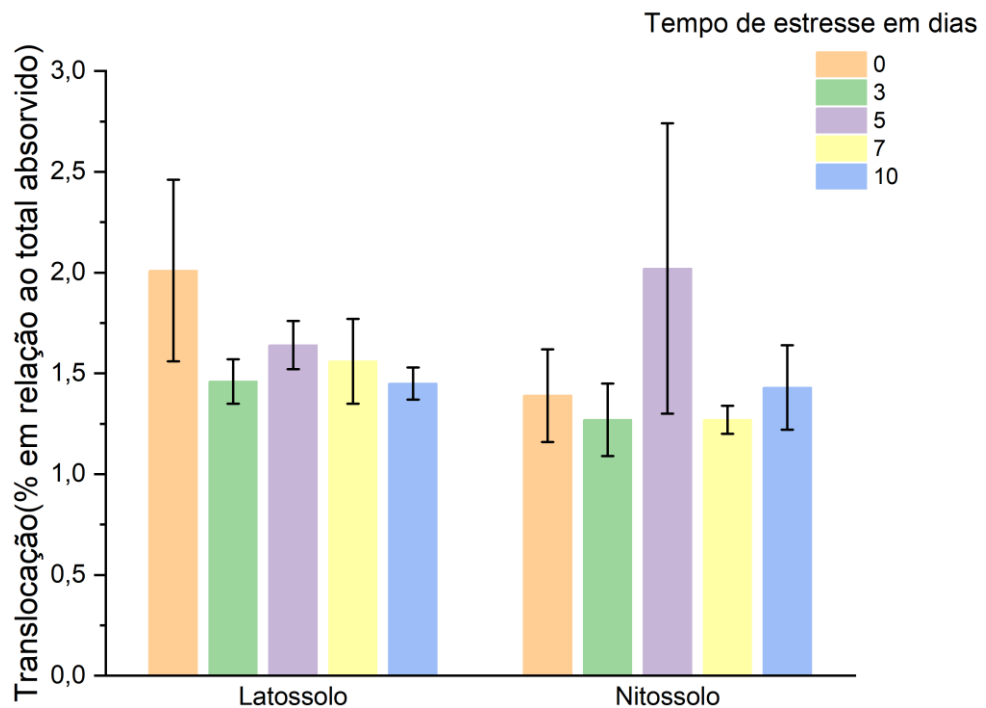


Figura 5. Porcentagem de translocação em relação ao total aplicado nos diferentes tipos de solo e períodos de estresse hídrico. As barras representam o erro padrão da média (n=4).

A porcentagem translocada nesse experimento foi de aproximadamente 2% é semelhante a encontrada por Rossi, Di Tomaso e Neal (1993) em *Digitaria ischaemum* sob estresse hídrico e menor que a encontrada por Xie *et al.*, (1996), de 4% em *Avena fatua*. Ambos os autores avaliaram a translocação de fenoxaprop. Entretanto, Xie *et al.*, (1996), constataram que nos períodos de 24 e 48 horas após a aplicação houve diferença na porcentagem translocada, mas no período de 96 horas após a aplicação o efeito do estresse não afetou a translocação. Esse resultado, pode ser semelhante ao encontrado neste experimento (ausência de diferença), pois o período de 72 horas seria um intermediário entre os analisados. Porém, os autores Reynolds *et al.*, (1988) encontraram diferenças entre a translocação em plantas com e sem estresse, em que as plantas sem estresse apresentaram maior translocação, entretanto, as plantas nesse caso se tratava de sorgo granífero, o que ressalta o efeito da espécie na relação.

A explicação apresentada pelos autores em suas revisões para os baixos valores e a ausência de diferença da translocação com o tempo é que inicialmente o

estresse hídrico reduz a translocação de fotoassimilados e de pesticidas. Entretanto, com o restabelecimento da umidade a planta retorna sua atividade metabólica. Nesse sentido, a translocação ocorre inicialmente por meio da rota do xilema, até a porção final das folhas. Na sequência, no período de até dois dias pós aplicação, em decorrência do mecanismo de ação dos ACCase, ocorre a danificação dos meristemas o que, por consequência, reduz o fluxo basípeta de transporte do floema (outra via possível de translocação) não permitindo maiores valores de translocação, o que evidencia o efeito tóxico desse herbicida mesmo em pequenas concentrações (XIE; QUICK; HSIAO, 1994).

A avaliação das imagens obtidas pelo filme fotofosforescente (Figura 6) complementam os resultados obtidas pela avaliação quantitativa da absorção e translocação. A intensidade da cor representa a concentração do ^{14}C -fenoxaprop, em que a cor azul indica uma menor concentração e a vermelha a maior concentração. Ao analisar a imagem, é possível observar que para ambos os solos e os níveis de estresse hídrico, o produto foi encontrado apenas na folha tratada e em pequena proporção na bainha da folha, o que evidencia a baixa translocação.

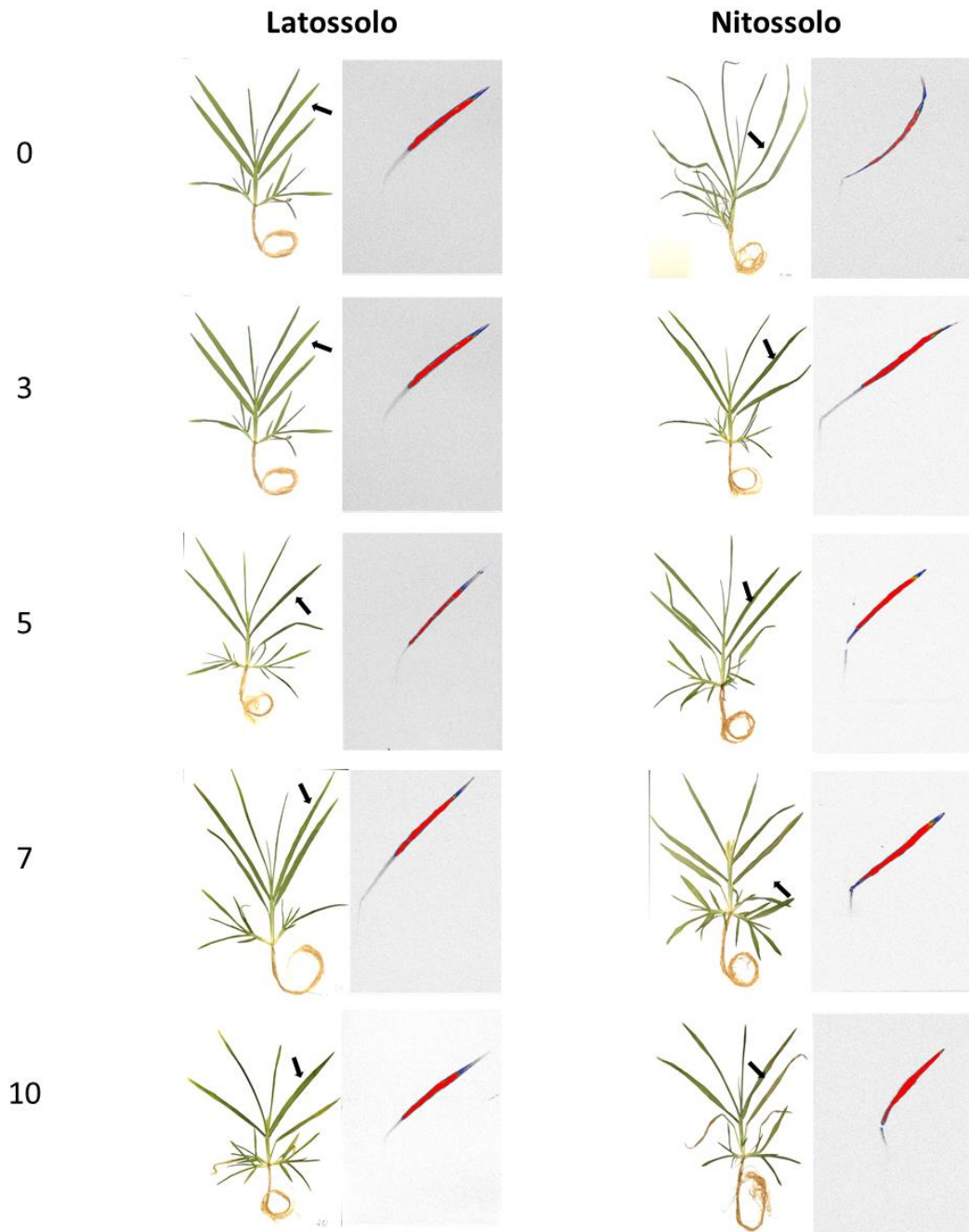


Figura 6: Autorradiografia das plantas de *Eleusine indica* após 72 horas da aplicação de ^{14}C -fenoxaprop. A fotografia da exsicata da planta está à esquerda e a autorradiografia está à direita, sendo que a seta indica a folha tratada e os números à direita indicam os dias de estresse hídrico.

5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesse trabalho demonstram que as diferenças texturais dos solos interferiram na absorção de fenoxaprop-p-etil em *Eleusine indica*. Entre as classes analisadas, o Nitossolo apresentou maiores valores médios de absorção. Entretanto, não houve interação significativa na absorção entre a textura e os períodos de estresse.

A duração do estresse hídrico anterior a aplicação do herbicida interfere na absorção de fenoxaprop-p-etil em *E. indica*. Uma vez que, os períodos de maior duração do estresse (7 e 10 dias) apresentaram maior absorção.

Ademais, a translocação não apresentou diferença entre os fatores tipo de solo e período de restrição hídrica, portanto não foi afetada diretamente pelos fatores analisados e ocorre em pequenas quantidades (1,47% - 2,02%).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização de novos estudos relacionados a essa temática podem contribuir para o melhor esclarecimento das hipóteses encontradas. Entre as possibilidades, um ensaio de controle nas mesmas condições de realização do experimento aqui apresentado pode contribuir para a elucidação da interação entre os valores de absorção e translocação no efeito fitotóxico de fenoxaprop em *Eleusine indica*.

Além disso, um estudo da influência da cera epicuticular na absorção de fenoxaprop em plantas de *Eleusine indica* sob condições de presença e ausência de estresse hídrico, semelhante ao realizado por Malpassi, (2006) pode contribuir para uma comprovação do efeito similar de quizalofop sob essa camada lipofílica.

E por fim, a realização de um estudo complementar avaliando o efeito do estresse hídrico antes da aplicação e se estendendo posterior a aplicação, não realizando irrigação logo após, permitiria analisar o efeito do estresse hídrico sobre a absorção e translocação não influenciado pelo reestabelecimento metabólico rápido da planta, o que representaria melhor uma situação de campo.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D.; VERGAS, L.; LUIZ PISA GAZZIERO, D.; ALBERTO DA SILVA, A. Manejo de Plantas Daninhas. *Em: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. Soja: do plantio à colheita*. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 234–255.
- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- ALVES, M. V. P. **Chemical control of Eleusine indica (L.) Gaertn. in soybean Roundup Ready® and response biotype to glyphosate herbicide**. 2014. Disponível em: <https://www.lareferencia.info/vufind/Record/BR_c6e0506cba44cb6877516153a9a455b8/Description#openaire>. Acesso em: 5 maio. 2023.
- BAROSSO, A. @ M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021.
- BARROSO, A. L. L.; DAN, H. A.; PROCÓPIO, S. O.; TOLEDO, R. E. B.; SANDANIEL, C. R.; BRAZ, G. B. P.; CRUVINEL, K. L. Efficacy of ACCase-inhibiting herbicides in controlling grass weeds in soybean crops. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 149 – 157, 2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77953595226&doi=10.1590%2fs0100-83582010000100018&partnerID=40&md5=1f041425074bdf70d2b4b5f51187f3c>>.
- BIANCHI, M. A.; FLECK, N. G.; LAMEGO, F. P. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1380–1387, out. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000500006&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 5 maio. 2023.
- BOYDSTON, R. A. Soil Water Content Affects the Activity of Four Herbicides on Green Foxtail (*Setaria viridis*). **Weed Science**, v. 38, n. 6, p. 578–582, 1990. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/article/soil-water-content-affects-the-activity-of-four-herbicides-on-green-foxtail-setaria-viridis/0389C9FB6B7A288C6568A76FC08D8F1A>>.
- CAMPOS, A. J. de M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Water stress in plants: a review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e311101523155, 19 nov. 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23155>>.
- CARVALHO, L. B. de. **Herbicidas**. 1. ed. [s.l.: s.n.]
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. [s.l.] ESALQ, 2016.
- CTNBIO, C. T. N. de B. **Tabela de Plantas Aprovadas para Comercialização**.
- DANILUSSI, M. T. Y.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; LORENZETTI, J. B.; BAUER, F. E.; BARROSO, A. A. M. Redução da produtividade e nível de dano econômico de *Digitaria insularis* em soja. *Em: 2019, [...]*. 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, E. **Pesquisa e setor produtivo discutem a agricultura irrigada no Brasil**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54297801/pesquisa-e-setor-produtivo-discutem-a-agricultura-irrigada-no-brasil>>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- FERRAZ, L. C. C. B.; PITELLI, R. A.; SOUBHIA, F. Nematodes associated with weeds in the region of Jaboticabal. Second report. **Planta Daninha**, v. 5, n. 1, p. 1–5, 1982.
- HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 10 maio. 2023a.
- HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**.
- HOLM, L. R. G.; PLUCKNETT, D. L.; PANCHO, J. V.; HERBERGER, J. P. **The world's worst weeds. Distribution and biology**. Honolulu, Hawaii: University Press of Hawaii, 1977. 621 pp. p.

JAMES, T. K.; RAHMAN, A.; DOWSETT, C. A.; TROLOVE, M. R. Fenoxaprop for control of yellow bristle grass in pasture and its efficacy on other C4 grasses. **New Zealand Plant Protection**, v. 66, p. 118–123, 8 jan. 2013.

KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: BASF Brasileira S.A., 1993.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, v. 40, 2010.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LEWIS, K. A.; TZILIVAKIS, J.; WARNER, D. J.; GREEN, A. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 22, n. 4, p. 1050–1064, 18 maio 2016.

LUCIO, F. R.; KALSING, A.; ADEGAS, F. S.; ROSSI, C. V. S.; CORREIA, N. M.; GAZZIERO, D. L. P.; DA SILVA, A. F. Dispersal and Frequency of Glyphosate-Resistant and Glyphosate-Tolerant Weeds in Soybean-producing Edaphoclimatic Microregions in Brazil. **Weed Technology**, v. 33, n. 1, p. 217–231, 2019. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/article/dispersal-and-frequency-of-glyphosateresistant-and-glyphosatotolerant-weeds-in-soybeanproducing-edaphoclimatic-microregions-in-brazil/6DFED496E60B9178BAD4C7853DBE0D4B>>.

LUIZ, D.; GAZZIERO, P.; LOLLATO, R. P.; BRIGHENTI, A. M.; PITELLI, R. A.; VOLL, E. **Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja**. [s.l.: s.n.]

MA, X.; WU, H.; JIANG, W.; MA, Y.; MA, Y. Goosegrass (*Eleusine indica*) density effects on cotton (*Gossypium hirsutum*). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 9, p. 1778–1785, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311915610589>>.

MALPASSI, R. N. Herbicide effects on cuticle ultrastructure in *Eleusine indica* and *Portulaca oleracea*. **Biocell**, v. 30, n. 1, p. 51–56, 2006.

MENDES, K. F. **Plantas daninhas: herbicidas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. v. 2

MOREIRA, H. J. da C.; BRAGRANÇA, H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes: hortifruti**. São Paulo: FMC Agricultural Products, 2011.

NANDULA, V. K.; VENCILL, W. K. Herbicide Absorption and Translocation in Plants using Radioisotopes. **Weed Science**, v. 63, n. SP1, p. 140–151, 20 fev. 2015.

NORSWORTHY, J. K.; WARD, S. M.; SHAW, D. R.; LLEWELLYN, R. S.; NICHOLS, R. L.; WEBSTER, T. M.; BRADLEY, K. W.; FRISVOLD, G.; POWLES, S. B.; BURGOS, N. R.; WITT, W. W.; BARRETT, M. Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. **Weed Science**, v. 60, n. SP1, p. 31–62, 20 jan. 2012. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/identifiier/S0043174500021871/type/journal_article>. Acesso em: 11 maio. 2023.

NOVAIS, J. R.; INOUE, M. H.; MENDES, K. F.; DE ARAÚJO, D. V.; GUIMARÃES, A. C. D.; SOUZA, H. M. de L.; SILVA, J. L. M. da. Residual effect of pyroxasulphone and pyroxasulphone + flumioxazin on contrasting soils. **Concilium**, v. 23, n. 5, p. 15–32, 30 mar. 2023.

OLIVEIRA, T. de. **Levantamento, dose resposta e manejo de biótipos de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) com potencial de resistência múltipla a herbicidas inibidores da EPSPs e ACCase**. 2020. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

OLIVEIRA JR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, 2011.

PATTERSON, D. T. Effects of Environmental Stress on Weed/Crop Interactions. **Weed Science**, v. 43, n. 3, p. 483–490, 1995. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4045584>>.

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, D.; SILVA, J. I. C.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; KLAR, A. E. Efeito de herbicidas sobre plantas de *Brachiaria plantaginea* submetidas a estresse hídrico. **Planta**

Daninha, v. 28, n. spe, p. 1047–1058, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582010000500013&lng=pt&tng=pt>. Acesso em: 17 jun. 2022.

PINHEIRO, J. B.; SILVA, G. O. da; BISCAIA, D.; MACEDO, A. G.; CORREIA, N. M. Reaction of weeds, found in vegetable production areas, to root-knot nematodes *Meloidogyne incognita* and *M. enterolobii*. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 445–450, 9 out. 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362019000400445&tng=en>. Acesso em: 5 maio. 2023.

PITELLI, R. A. O TERMO PLANTA-DANINHA. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 622–623, set. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582015000300622&lng=pt&tng=pt>. Acesso em: 5 maio. 2023.

PRADO, H. do; VAN LIER, Q. J.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Classes de disponibilidade de água para a cana-de-açúcar nos principais solos da região Centro-Sul do Brasil. Em: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2003, [...]. 2003. v. 13

REYNOLDS, D. B.; WHELESS, T. G.; BASLER, E.; MURRAY, D. S. Moisture Stress Effects on Absorption and Translocation of Four Foliar-Applied Herbicides. **Weed Technology**, v. 2, n. 4, p. 437–441, 12 out. 1988.

ROSSI, F. S.; DI TOMASO, J. M.; NEAL, J. C. Fate of Fenoxaprop-Ethyl Applied to Moisture-Stressed Smooth Crabgrass (*Digitaria ischaemum*). **Weed Science**, v. 41, n. 3, p. 335–340, 12 set. 1993.

SANTOS, F. C. dos; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; FOLONI, J. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; KER, J. C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 2008.

SCBS/NEPAR, S. B. de C. do Solo. N. E. P. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: SCBS/NEPAR, 2017. v. 1

SKOSS, J. D. Structure and Composition of Plant Cuticle in Relation to Environmental Factors and Permeability. **Botanical Gazette**, v. 117, n. 1, p. 55–72, 1955. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2473154>>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TAKAHASHI, C. N.; NEGRAO, B. W.; FIRMANI, J. F.; PIO DE OLIVEIRA, G. M.; DALAZEN, G. Emergência e Crescimento Inicial de Vassourinha-de-Botão em Diferentes Profundidades de Semeadura e Texturas de Solo. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 26, n. 3, p. 314–320, 11 nov. 2022.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BRAZ, G. B. P.; GHENO, E. A. GOOSEGRASS RESISTANT TO GLYPHOSATE IN BRAZIL. **Planta Daninha**, v. 35, n. 0, p. e017163071, 3 abr. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582017000100217&lng=en&tng=en>. Acesso em: 6 maio. 2023.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BRAZ, G. B. P.; PADOVESE, J. C. Growth, Development and Seed Production of Goosegrass1. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 249–258, jun. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582016000200249&lng=en&tng=en>. Acesso em: 30 abr. 2023.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; SILVA, V. F. V.; MENDES, R. R. Chemical Control of Glyphosate-Resistant Goosegrass. **Planta Daninha**, v. 36, n. 0, p. e018176124, 10 jul. 2018a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582018000100256&lng=en&tng=en>. Acesso em: 6 maio. 2023.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; SILVA, V. F. V.; MENDES, R. R. Chemical Control of Glyphosate-Resistant Goosegrass. **Planta Daninha**, v. 36, n. 0, p. e018176124, 10 jul. 2018b. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582018000100256&lng=en&tng=en>. Acesso em: 12 maio. 2023.

TAKESHITA, V.; DE SOUSA, B. T.; PREISLER, A. C.; CARVALHO, L. B.; PEREIRA, A. do E. S.; TORNISIELO, V. L.; DALAZEN, G.; OLIVEIRA, H. C.; FRACETO, L. F. Foliar absorption and field herbicidal studies of atrazine-loaded polymeric nanoparticles. **Journal of Hazardous Materials**, v. 418, p. 126350, 15 set. 2021. . Acesso em: 31 maio. 2023.

ULGUIM, A. da R.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; MAGRO, T. D.; WESTENDORFF, N. da R.; HOLZ, M. T. Manejo de capim pé-de-galinha em lavouras de soja transgênica resistente ao glifosato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 17–24, jan. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2013000100003&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 7 maio. 2023.

VARANASI, A.; PRASAD, P. V. V.; JUGULAM, M. Chapter Three - Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy. *Em*: SPARKS, D. L. **Advances in Agronomy**. [s.l.] Academic Press, 2016. p. 107–146.

WANDSCHEER, A. C. D.; RIZZARDI, M. A.; REICHERT, M. Competitive ability of corn in coexistence with goosegrass. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 281–289, jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582013000200005&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 30 abr. 2023.

XIE, H. S.; HSIAO, A. I.; QUICK, W. A.; HUME, J. A. Influence of water stress on absorption, translocation and phytotoxicity of fenoxaprop-ethyl and imazamethabenz-methyl in *Avena fatua*. **Weed Research**, v. 36, n. 1, p. 65–71, fev. 1996.

XIE, H. S.; QUICK, W. A.; HSIAO, A. I. Effect of drought and formulation on wild oat (*Avena fatua*) control with imazamethabenz and fenoxaprop. **Crop Protection**, v. 13, n. 3, p. 195–200, maio 1994.

ZISKA, L. H. The role of climate change and increasing atmospheric carbon dioxide on weed management: Herbicide efficacy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 231, p. 304–309, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916303826>>.