

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**Dose resposta, ácido chiquímico, absorção e translocação de C¹⁴-
glifosato em quatro biótipos de *Amaranthus palmeri***

PEDRO AUGUSTO SILVA MARTINS

JABOTICABAL - SP

1 semestre/2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DOSE RESPOSTA, ÁCIDO CHIQUÍMICO, ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO
DE C14-GLIFOSATO EM QUATRO BIÓTIPOS DE AMARANTHUS PALMERI**

PEDRO AUGUSTO SILVA MARTINS

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

Coorientadores: Dra. Juliana de Souza Rodrigues

Me. Heytor Lemos Martins

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

JABOTICABAL - SP

1 semestre/2024

M386d	Martins, Pedro Augusto Silva Dose resposta, ácido chiquimico, absorção e translocação de C14-glifosato em quatro biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i> / Pedro Augusto Silva Martins. -- Jaboticabal, 2025 62 p. : tabs., fotos Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Pedro Luis da Costa Aguiar Alves Coorientador: Heytor Lemos Martins 1. Plantas daninhas. 2. Resistência a herbicidas. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

AUTOR
PEDRO AUGUSTO SILVA MARTINS

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO
Dose resposta, ácido chiquimico, absorção e translocação de C¹⁴ - glifosato
em quatro biótipos de *Amaranthus palmeri*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

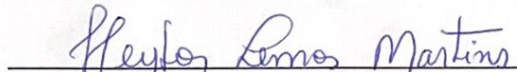
Orientador: Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves
Coorientador: Me. Heytor Lemos Martins

Área de Concentração: Engenharia Agrônômica

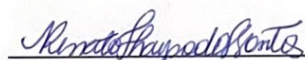
Data da defesa: 16/05/2025

(x) Aprovado
() Reprovado

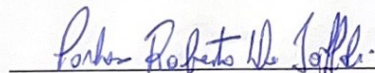
Banca Examinadora:



Me. Heytor Lemos Martins
Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal)
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal – UNESP

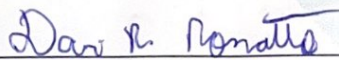


Profa. Dra. Renata Thaysa da Silva Santos
Docente do Departamento de Ciências Florestais - Universidade do Estado do Pará



Me. Carlos Roberto De Toffoli
Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal)
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal – UNESP

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 15/07/2025



Prof. Dr. Davi Rodrigo Rossatto
Chefe do Departamento

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus e a minha família, cujo foram meu maior suporte e exemplo de vida, inspiração e determinação, que nunca mediram esforços para me criar e me tornar quem eu sou hoje.

Aos meus pais, Carlos Augusto Martins e Maria Tereza Silva Martins, por todo amor incondicional, por todo apoio em todos os meus sonhos e vontades, por acreditarem no meu potencial e principalmente pelas diversas vezes que colocaram meus planos acima dos de vocês.

Ao laboratório de plantas daninhas (LAPDA), ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves e meu coorientador Heytor Lemos Martins, por toda confiança que em mim foi depositada para realização do trabalho em conjunto com a Universidade da Georgia (UGA), campus Tifton, que também sou eternamente grato ao Prof. Dr. Timothy Grey e minha coorientadora Juliana de Souza Rodrigues por todos os ensinamentos, pela amizade e toda paciência que tiveram comigo. Agradeço também a todos meus amigos do laboratório, Emerson Cardili, Fábio Augusto Melo Correa, Vinicius Yukiyo Taba da Silva e Luís Miguel Fazio, e em especial José Valcir Fidelis Martins e Sidney Cromer por toda ajuda fundamental nas atividades práticas.

Também sou extremamente grato a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-Unesp) por todo estudo de extrema qualidade e um ambiente acadêmico excepcional e também a Universidade da Georgia (UGA) por ter proporcionado um intercâmbio tão rico de informações, profissionais e culturais.

Aos meus irmãos da República CanaBrava onde morei todos os anos da faculdade, também aos da Agronomia 020, Luís Miguel Fazio, Mariana de Cassia Dezem, Guilherme Nascimento Franco e João Victor Bazan Pinto e todos os que me ajudaram durante o intercâmbio, compartilhando memórias e conhecimentos Pedro Toledo, Victor Zaccaria e Luís Felipe Ulian.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Herbicidas e respectivas doses utilizadas para a avaliação de dose resposta em quatro biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i> (J08, J23, LJ08 e LJ23) coletados em área experimental da USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) em Tifton, GA. Fonte: elaborado pelo autor (2025).	31
Tabela 2. Valores de ED50 (dose estimada para redução de 50% da matéria seca dos biótipos J08, J23, LJ 08 e LJ23 de <i>Amaranthus palmeri</i>	40
Tabela 3. Resultados da ANOVA para o acúmulo de ácido chiquímico nos biótipos J08, J23, LJ 08 and LJ23 de <i>Amaranthus palmeri</i>	42
Tabela 4. Comparação das médias do acúmulo de ácido chiquímico nos biótipos (LJ08/LJ23 e J08/J23) de <i>Amaranthus palmeri</i> (Tukey HSD, $\alpha=0.05$):	43
Tabela 5. Demonstração de resultados de uma ANOVA para todos os fatores relacionados aos biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i> e sua resposta ao tratamento com C14-glifosato, medidos em termos de absorção, lavagem, recuperação total da radioatividade e peso da planta.....	47
Tabela 6. Médias ($\pm$ erro padrão) C14-glifosato absorvido (% aplicado) em biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i> colhidos em 1, 6, 12, 24 e 48 horas após tratamento (HAT).	48
Tabela 7. Teste de ANOVA para a distribuição de C14-glifosato que foi absorvido (% absorvida e Bq.mg ⁻¹) para a folha tratada, acima da folha tratada, abaixo da folha tratada e as raízes dos biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i>	51
Tabela 8. Médias ($\pm$ erro padrão) C14-glifosato translocado acima da folha tratada (% absorvido) em biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i> colhidos em 1, 6, 12, 24 e 48 horas após tratamento (HAT).	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plantas de <i>Amaranthus palmeri</i> em desenvolvimento. Biotipo 2008 (direita) e biotipo 2023 (esquerda). Fonte: arquivo pessoal (2024).	14
Figura 2. Diversas inflorescências de uma planta de <i>Amaranthus palmeri</i> . Fonte: Arquivo pessoal (2024).	16
Figura 3. Os quatro biótipos de <i>A. palmeri</i> (J08, J23, LJ08, LJ23) foram testados em pre-emergência para o herbicida flumioxazina. A foto mostra os vasos colocados em recipientes maiores para serem subirrigados.	33
Figura 4. Média de matéria seca coletada aos 21 DAA em função da respectiva dose de Glifosato para os biótipos J08 e J23.	41
Figura 5. Média de matéria seca coletada aos 21 DAA em função da respectiva dose de Glifosato para os biótipos LJ08 e LJ23.	42
Figura 6. Acúmulo de ácido chiquímico em função da respectiva dose de glifosato (mM) para os biótipos J08 e J23.	44
Figura 7. Acúmulo de ácido chiquímico em função da respectiva dose de glifosato (mM) para os biótipos LJ08 e LJ23.	45
Figura 8. Médias dos erros padrão para as horas após tratamento para o tratamento lavado (% de C14-glifosato aplicado) em biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i> . Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey HSD.	50
Figura 9. Média dos efeitos dos biótipos (J08, J23, LJ08 e LJ23) e as horas após o tratamento em relação à folha tratada (% absorvida de C14-glifosato radioativo) para os biótipos de <i>Amaranthus palmeri</i> . As médias seguidas pela mesma letra não são significativame	52

Sumário

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUÇÃO.....	10
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
O gênero <i>Amaranthus</i>	12
Características de morfologia e desenvolvimento	13
Resistência a herbicidas:.....	18
Mecanismos de resistência.....	20
Mudanças climáticas:.....	25
Métodos de controle.....	26
MATERIAIS E MÉTODOS	30
Dose resposta:.....	30
Pós-emergência.....	30
Pré-emergência	32
Acúmulo de ácido chiquímico	34
Absorção e translocação de C ¹⁴ -glifosato pelas plantas.....	35
Análise de dados:	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
Dose resposta.....	40
Acúmulo de ácido chiquímico	42
Absorção e translocação do ¹⁴ C-glifosato.....	46
CONCLUSÕES.....	54
LITERATURA CITADA	55

DOSE RESPOSTA, ÁCIDO CHIQUÍMICO, ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE C¹⁴-GLIFOSATO EM QUATRO BIÓTIPOS DE AMARANTHUS PALMERI

RESUMO

O *Amaranthus palmeri* é uma das plantas daninhas mais problemáticas, devido à sua alta plasticidade fenotípica e fenológica, essa espécie pode se adaptar rapidamente a novas condições ambientais. Atualmente, o *A. palmeri* é uma das plantas daninhas resistentes ao glifosato mais prejudiciais economicamente nos Estados Unidos. Este estudo investiga a evolução da resistência ao glifosato no *Amaranthus palmeri* (Caruru Palmeri) ao longo de um período de 15 anos, comparando os valores de ED50 (doses efetivas para 50% de redução do crescimento) e o acúmulo de ácido chiquímico em quatro biótipos da Geórgia, EUA. Os resultados mostram que os valores de ED50 para o glifosato aumentaram significativamente nos biótipos resistentes (LJ23 e J23) em comparação com os biótipos suscetíveis (LJ08 e J08), com um aumento de 12 vezes em LJ23 e 11 vezes em J23. Esses aumentos nos valores de ED50 indicam uma mudança clara para a resistência ao glifosato nessas populações ao longo do período de 15 anos. O acúmulo de ácido chiquímico, foi observado tanto nos biótipos suscetíveis quanto nos resistentes, o acúmulo nos biótipos resistentes foi inferior. Isso sugere que, os biótipos resistentes ainda sejam capazes de acumular ácido chiquímico, sua capacidade de fazê-lo é reduzida em comparação com os biótipos suscetíveis, possivelmente refletindo alterações no metabolismo do glifosato ou na eficiência de absorção.

Palavras-chave: *Amaranthus palmeri*, Caruru, Resistência, Glifosato

DOSE-RESPONSE, SHIKIMIC ACID ACCUMULATION, ABSORPTION AND TRANSLOCATION OF ¹⁴C-GLYPHOSATE IN FOUR PALMER AMARANTH

ABSTRACT

Amaranthus palmeri (Palmer amaranth) is one of the most problematic weeds, and due to its high phenotypic and phenological plasticity, this species can quickly adapt to new environmental conditions. Currently, *A. palmeri* is one of the most economically damaging glyphosate-resistant weeds in the United States. This study investigates the evolution of glyphosate resistance in *A. palmeri* over a 15-year period, comparing the ED50 values (effective doses for 50% growth reduction) and the accumulation of shikimic acid in four biotypes from Georgia, USA. The results show that ED50 values for glyphosate increased significantly in the resistant biotypes (LJ23 and J23) compared to the susceptible biotypes (LJ08 and J08), with a 12-fold increase in LJ23 and an 11-fold increase in J23. These increases in ED50 values indicate a clear shift towards glyphosate resistance in these populations over the 15-year period. Although shikimic acid accumulation was observed in both the susceptible and resistant biotypes, accumulation was lower in the resistant biotypes. This suggests that, while resistant biotypes are still capable of accumulating shikimic acid, their ability to do so is reduced compared to the susceptible biotypes, possibly reflecting changes in glyphosate metabolism or absorption efficiency.

Keywords: *Amaranthus palmeri*, Pigweed, Resistance, Glyphosate

INTRODUÇÃO

Amaranthus palmeri S. Watson é uma planta anual nativa da região sudoeste e norte do México (Sauer., 1957; Legleiter; Johnson, 2013; Ward *et al.*, 2013). O *A. palmeri* começou a se dispersar a partir do século 20, provavelmente pela ação humana, com o transporte das sementes e a criação de ambientes propícios para a germinação devido a expansão da agricultura, sendo seus primeiros relatos na Virgínia em 1915, Oklahoma em 1926 e Carolina do Sul em 1957 (Culpepper *et al.*, 2010; Sauer 1957).

Dentre todas as plantas dióicas do gênero *Amaranthus*, *A. palmeri* foi uma das espécies mais bem-sucedidas em relação a invasão e adaptação a novos habitats e climas (Sauer., 1957; Legleiter; Johnson, 2013; Ward *et al.*, 2013). Por volta do ano de 1995, *A. palmeri* se tornou a planta daninha mais problemática para a cultura do algodão nas Carolinas do Norte e do Sul (Dowler., 1995). Em 2009, *A. palmeri* foi nomeado a mais problemática planta daninha para o algodão em nove dos dez estados do sul dos Estados Unidos (Webster; Nichols., 2012). Também foi listada como uma das mais problemáticas nas culturas do milho e soja (Webster; Nichols., 2012). *A. palmeri* causou uma perda de produção por interferência com a cultura do amendoim de 28% (Burke *et al.*, 2007). A diminuição de produção para a cultura do milho quando em competição com *A. palmeri* diminui de acordo com as densidades de 0.5 a 8 plantas por m⁻¹ taxas de 11 a 91%, respectivamente (Massinga *et al.*, 2001). Estudos com a densidade de uma planta de *A. palmeri* por 3 metros de rua reduz até 28% da produção de algodão (Smith; Baker; Steele., 2000). A perda de produção causada pela

interferência de *A. palmeri* está diretamente ligada com o estande de plantas. Mesmo com 99% de controle pode não ser suficiente para reduzir as suas populações abaixo do limiar econômico (Klingaman; Oliver., 1994). A competitividade de *A. palmeri* é ainda maior quando se encontra em condições de baixa densidade onde pode se desenvolver melhor e ser ainda mais competitivo (Klingaman; Oliver., 1994).

A primeira confirmação de *A. palmeri* resistente ao glifosato ocorreu no estado da Georgia, Estados Unidos, onde o controle só foi efetivo em todas as plantas entre 6 a 8 vezes a dose recomendada (Culpepper *et al.*, 2006). A partir de 2008, foram confirmadas populações de *A. palmeri* resistente ao glifosato em cinco estados, sendo eles o Arkansas, Georgia, Carolinas do Norte e do Sul e Tennessee, excedendo a área de 600 000 ha (Culpepper *et al.*, 2010). Com o aumento da resistência ao glifosato, a adoção crescente do paraquat e do glufosinato, e a subsequente redução do uso de glifosato na segunda aplicação pode ter sido influenciada pelos esforços de extensão nos estados da Georgia EUA, que estipulam que os campos devem estar livres de *A. palmeri* na plantação, a fim de reduzir a interferência e maximizar o rendimento das culturas (Sosnoskie; Culpepper., 2014).

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar quatro biótipos distintos, coletados em dois locais idênticos, mas com um intervalo de 15 anos entre as coletas. A hipótese que orienta essa pesquisa é que o período de 15 anos de diferença entre coleta de sementes aumentou o desenvolvimento da resistência. Com esses dados, busca-se identificar possíveis diferenças ou semelhanças

entre os fatores analisados e verificar se houve aumento da resistência ou variação na resposta das plantas ao herbicida durante o tempo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde o início da agricultura e da pecuária, plantas que infestavam espontaneamente as áreas de ocupação humana, sem serem utilizadas como alimento, fibra ou forragem eram consideradas indesejáveis. A partir do desenvolvimento da sociedade humana, com a expansão das áreas agrícolas também houve uma grande continuidade das plantas daninhas, permitindo uma grande expansão das áreas infestadas, evolução das plantas pioneiras e o aparecimento de novas espécies. Com isso, o termo de planta daninha foi definido para designar qualquer planta superior que interfira nos interesses do homem e no meio ambiente (Pitelli, 2015).

O gênero *Amaranthus*

O gênero *Amaranthus* pertence à família *Amaranthaceae* onde contém aproximadamente 75 subespécies pelo mundo inteiro. Dentro desse gênero, destaca-se um grupo distinto de 10 espécies dióicas, em contraste com as espécies monóicas, que são endêmicas e amplamente distribuídas em todos os continentes. Por outro lado, as espécies dióicas são nativas da América do Norte (Sauer, 1955). Entre suas espécies, algumas são utilizadas para consumo humano, seja como alimento ou em remédios caseiros, devido à composição

nutricional do *Amaranthus* spp. Suas sementes apresentam um alto teor de proteínas (18%) e contêm diversos aminoácidos essenciais, além de 3 a 9% de óleo. Tanto as folhas quanto as sementes são ricas em minerais como cálcio, fósforo, ferro, cobalto e iodo, além de antioxidantes essenciais para a saúde (Szwejkowska; Bielski, 2012). Várias espécies de *Amaranthus* têm sido domesticadas para serem usadas em diferentes partes do mundo. *Amaranthus cruentus*, *A. hybridus*, *A. blitum* e *A. dubius* são os mais usados no Oeste da África e *A. tricolor* mais usado no leste da África, China e Índia. Já o *A. caudatus* está presente como cereal na América do Sul e *A. dubius* como vegetal no Caribe e na China (Aderibigbe *et al.*, 2020). Nos últimos anos, três *Amaranthus* spp têm se tornado uns dos maiores problemas na agricultura Norte Americana, são eles: *Amaranthus palmeri* S.Watson, *Amaranthus rudis* Sauer, *Amaranthus tuberculatus* (Moq) (Sauer, 1995).

Características de morfologia e desenvolvimento

O *Amaranthus palmeri* S. Watson também conhecido como caruru, caruru palmeri ou caruru gigante, é uma planta nativa do Norte do México e Sudoeste dos Estados Unidos, C4, dióica, anual e de verão, sendo tóxica para cavalos e indesejado para o cultivo ou finalidade comercial (Ward *et al.*, 2013).

O Caruru tipicamente tem um caule central de coloração verde avermelhada de até 2 metros de comprimento e muitos ramos laterais. As folhas alternadas sem a presença de pelos, crescendo em longos pecíolos chegam a ser maiores que o comprimento laminar da folha, sendo lanceoladas quando

ainda jovens e mais ovaladas quando maduras e também com veias que se sobressaem na parte de baixo da folha (Legleiter; Johnson, 2013).

O pequeno pistilo (feminina de 2 a 3.5mm) e a estamina (masculina) são as florações que ocorrem em plantas separadas, mas agregam-se para a formação das inflorescências cilíndricas terminais ou espigas com mais de 60 cm de comprimento no caule central, as florações de espiga nos braços laterais são semelhantes aos do caule, porém em menor comprimento (Sauer, 1955; Legleiter; Johnson, 2013; Ward *et al.*, 2013).



Figura 1. Plantas de *Amaranthus palmeri* em desenvolvimento. Biotipo 2008 (direita) e biotipo 2023 (esquerda). Fonte: arquivo pessoal (2024).

As inflorescências podem ser diferenciadas através do toque, sendo as masculinas mais macias e as femininas mais rígidas ou espinhosas devido às brácteas duras (Sauer, 1955; Legleiter; Johnson, 2013; Ward *et al.*, 2013). Os frutos produzidos são do tipo urtículo de paredes finas com aproximadamente 1.5 mm, a metade superior do fruto de paredes finas se separa na maturidade para expor a única semente preta no seu interior (Sauer, 1955; Legleiter; Johnson, 2013; Ward *et al.*, 2013).

A produção de sementes do *A. palmeri* pode ser variável quando em competição com uma cultura como o algodão em densidade de 1.8 plantas por m² no estágio de 3 folhas, a planta feminina chega a produzir 312.000 sementes, por volta de 30% a menos de sementes por planta em relação a plantas sem competição (Macre *et al.*, 2013).

Uma planta grande sem a interferência de outras culturas pode produzir 446.000 sementes por planta (Webster; Grey, 2015). Estudos mais recentes mostram que, o *A. palmeri* produziu aproximadamente 51.000, 534.000, 434.000 e 173.000 sementes por planta em competição com o milho, algodão, amendoim e soja respectivamente. O algodão e o amendoim foram os menos competitivos, e *A. palmeri* ainda foi capaz de produzir mais de 35.000 sementes por planta,

portanto, menos sementes foram produzidas na soja 3000 sementes por planta e no milho 200 sementes por planta (Mahoney *et al.*, 2021).



Figura 2. Diversas inflorescências de uma planta de *Amaranthus palmeri*.
Fonte: Arquivo pessoal (2024).

O *A. palmeri* possui um crescimento agressivo e competitivo com as outras culturas, sendo que em condições ideais pode crescer até 7,5 centímetros por dia (Legleiter; Johnson, 2013). A floração de *A. palmeri* ocorre durante a primavera e verão, com o subsequente desenvolvimento da semente e seu

estabelecimento ocorrendo em duas ou três semanas após a fertilização (Keeley *et al.*, 1987; Sosnoskie *et al.*, 2012).

Embora a emergência de *A. palmeri* ocorra predominantemente no fim da primavera, estima-se que mais de 90% do seu crescimento ao longo da estação aconteça entre o final da primavera e o início do verão, especialmente na ausência de competição (Piskackova *et al.*, 2021). A germinação ocorre entre dois meses no período entre a primavera e o verão, quando a temperatura do solo varia entre 25°C a 35°C (Guo; Al-Khatib, 2003; Jha; Norsworthy, 2009). As sementes que germinaram tardia durante a temporada mostram baixa taxa de germinação quando comparadas com as que germinaram no início da temporada (Jha *et al.*, 2010). Isso acontece devido às temperaturas quentes durante o verão, gerando uma segunda dormência na espécie (Jha *et al.*, 2010; Sellers *et al.*, 2003). Este comportamento de germinação no início da estação aumenta significativamente o sucesso do estabelecimento da espécie pelos campos. As pesquisas sugerem que seu desenvolvimento e crescimento podem chegar até 10 vezes mais que ao de espécies de culturas circundantes, quando cultivadas ao mesmo tempo na comparação do período de três semanas (Mahoney *et al.*, 2021; Sellers *et al.*, 2003).

A germinação das sementes se mostra mais elevada quando enterradas a 1,3 cm e 5,1 cm, em comparação com as que se encontram na superfície ou mais profundas no perfil do solo, onde a viabilidade foi reduzida em 30% durante seis meses e reduzida em 50% em um ano (Keeley *et al.*, 1987; Korres *et al.*, 2018; Sosnoskie; Kichler, 2013; Sosnoskie *et al.*, 2011). Por ser uma espécie de sementes muito pequenas, a probabilidade de que ela germine nas zonas de

maiores profundidades no perfil do solo é menor, tendo em vista a maior necessidade de recursos e energia em comparação com as que se encontram na superfície, precisando de luz natural ou infravermelha para desencadear a germinação (Jha *et al.*, 2010). Por ser uma espécie dióica, a reprodução requer que a polinização ocorra entre as plantas femininas e masculinas. O potencial reprodutivo é alto e as plantas masculinas dispersam pólen acima de 300 metros, aumentando significativamente a variação genética e fenótipos através das populações interconectadas (Sosnoskie *et al.*, 2012).

Resistência a herbicidas:

As estatísticas da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. (EPA) mostram que a utilização anual de glifosato em milhares de toneladas de ingrediente ativo aumentou de 3,2 em 1987, para 16,3 em 1997, 32 em 1999 e quase 50 em 2001, tendo em conta todas as utilizações, incluindo os agrícolas (Bonny, 2008).

É evidente que a adoção de cultivares resistentes aos herbicidas, em especial de culturas resistentes ao glifosato, teve um impacto nas comunidades de plantas daninhas (Owen; Zelaya, 2005). As mudanças nas populações de plantas daninhas incluem a predominância de espécies com características biológicas que dificultam o manejo (como a emergência tardia) e a evolução de biótipos resistentes aos herbicidas. Esses processos são reais, assim como os desafios econômicos imediatos associados à adoção de culturas resistentes aos herbicidas e ao uso repetitivo desses produtos (Owen; Zelaya, 2005). A rapidez com que estas mudanças ocorreram, causou grande preocupação. No entanto,

dado o nível de pressão de seleção que estes sistemas de produção vegetal exercem sobre o agroecossistema, não é surpreendente que as alterações nas comunidades de infestantes tenham ocorrido tão rapidamente como demonstrado. Não se prevê que este aumento na tolerância e resistência evoluída abrandem num futuro imediato (Owen; Zelaya, 2005).

O conceito de pressão de seleção está diretamente ligado ao processo ao qual o herbicida exerce uma pressão seletiva sobre populações infestantes favorecendo a sobrevivência de indivíduos que conferem as características de resistência, seu uso contínuo pode resultar na dominância das plantas infestantes e reduzir a eficácia do herbicida (Neve; Smith; Dekker., 2014). A pressão ocorre quando o herbicida mata apenas as plantas suscetíveis, as resistentes sobrevivem e se reproduzem, passando os seus traços de resistência à gerações futuras (Neve; Smith; Dekker., 2014).

Entre os anos de 1990 e 2015, 17 espécies diferentes de plantas infestantes desenvolveram resistência ao glifosato nos Estados Unidos, e o glifosato foi aplicado aproximadamente 3 bilhões de vezes nas 6 culturas abrangidas por esta análise no milho, soja, algodão, arroz, trigo verão e trigo inverno (Kniss, 2017).

O movimento do *A. palmeri* de campo para campo, região por região e fronteiras nacionais tem sido o resultado de uma rápida globalização e expansão da agricultura e movimentação dos maquinários e equipamentos, que de alguma maneira precisa de melhorias na sua limpeza e adoção de programas de quarentena para diminuir a pressão de espécies disseminadas (Culpepper *et al.*, 2010; Bulletin., 2020; Menges., 1987; Norsworthy *et al.*, 2008). Em pouco mais

de 20 anos, se tornou a daninha mais disseminada e problemática no Sudeste dos Estados Unidos. Na última década, uma quantidade considerável de *A. palmeri* tem sido encontrada na região centro-oeste dos Estados Unidos, o movimento tem ocorrido devido a contaminação de alimento animal, esterco, colheitadeiras, conservação de plantas grandes proporcionando a produção de sementes, em 2017 foram relatados aparecimentos de *A. palmeri* em Minnesota, USA (Hensleigh; Pokorny, 2017).

Fora dos Estado Unidos, o primeiro caso de *A. Palmeri* na Europa foi reportado em 2023 e a espécie tem se estabelecido ao redor do território da Espanha (Manicardi *et al.*, 2023). No Brasil, o controle de espécies de *Amaranthus* foi intensificado a partir de 2015, quando foi reportado o primeiro caso de *A. palmeri* (Andrade *et al.*, 2015). Posteriormente foi confirmado por Carvalho *et al.* (2015) como o primeiro caso de *A. palmeri* com resistência a glifosato no Brasil. Além destes países, há relatos da presença de *A. palmeri* no Egito, Ilha da Madeira, Israel, Turquia e Cyprus (Mennan *et al.*, 2023). Tem sido detectada na Itália e na Tunísia, foi identificada em múltiplas populações na Grécia (Kanas *et al.*, 2021). Já foi relatada a presença dessa espécie no Japão, Luxemburgo, Bélgica, Alemanha, Países Baixos, Noruega, Reino Unido e Suécia (Lluch, Roma Senar; 2023).

Mecanismos de resistência

A resistência a herbicidas ocorre na sua maioria por mutação genética na enzima relacionada ao local de ação (target-site) do herbicida, que ocorre ao

longo do tempo com indivíduos que sobrevivem a aplicações de herbicidas e se multiplicam (Markus *et al.*, 2021).

No *A. palmeri* resistente ao glifosato, as mutações no gene EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintase) resultam numa enzima alterada que tem uma afinidade de ligação reduzida ao glifosato (Gaines *et al.*, 2020; Markus *et al.*, 2021). A alteração da enzima alvo devido às modificações de bases nitrogenadas já foi relatada para *A. palmeri* e *A. tuberculatus*. Recentemente, outras mutações na posição 98 do gene PPX2L (Arg-98-Gly e Arg-98-Met) foram identificadas em *A. palmeri* (Giacomini *et al.*, 2017). Esta mutação impede o glifosato de inibir a via do ácido chiquímico, que é essencial para a produção de aminoácidos aromáticos. Como resultado, a planta pode continuar o seu crescimento apesar da presença de glifosato (Gaines *et al.*, 2020).

Já a amplificação genética no *A. palmeri* é um mecanismo que contribui para a resistência aos herbicidas através do aumento do número de cópias de genes específicos, por exemplo a resistência presente nos *A. palmeri* pode acontecer devido à amplificação de um extra cromossomo DNA (eccDNA) contendo o EPSPS gene e outros 58 genes codificantes (Molin *et al.* 2020; Yaguchi *et al.*, 2020) levando à super expressão de certas enzimas envolvidas no metabolismo ou desintoxicação dos herbicidas. Esta forma de resistência é particularmente importante para os herbicidas que têm como alvo enzimas essenciais para o crescimento das plantas. Por exemplo, no *A. palmeri*, a resistência ao glifosato (herbicida do grupo 2A) tem sido associada à amplificação do gene EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintase).

O glifosato inibe normalmente esta enzima, que é essencial para a síntese de aminoácidos aromáticos nas plantas. Quando sobre o stress de glifosato, a taxa de transcrição e acima de 41 desses genes, particularmente EPSPS gene, aumenta significativamente e é transmitido para a célula somática e germinativa durante a mitose e meiose (Koo *et al.*, 2018; Molin *et al.*, 2020). A transferência de material genético no *A. palmeri* ocorre durante um período de estresse na planta sendo provável o aumento e evolução da resistência a glifosato e muitos outros herbicidas com diferentes mecanismos de ação. Também foi descoberto a capacidade de hibridização com outras espécies de *Amaranthus* como o *tuberculatus*, *hybridus* e *spinosus*, capaz de transferir os genes de resistência (Franssen *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2018).

A resistência de mecanismo não relacionado ao local de ação (N-RELA) pode ocorrer devido à diminuição da absorção do herbicida pela planta, alteração na translocação, sequestro ou compartimentalização do herbicida, incremento de metabolização do herbicida e rápida necrose. Desses, a metabolização do herbicida (denominada de detoxificação) é, com certeza, o mecanismo mais comum e mais bem compreendido (Powles; Yu, 2010).

Um dos principais desafios do mecanismo não relacionado ao local de ação (N-RELA) é a resistência cruzada que está associada, o que significa que os mecanismos de resistência podem conferir resistência a herbicidas com diferentes modos de ação (Délye; Jasieniuk; Le Corre, 2013). Este fato torna o mecanismo sem sítio alvo mais imprevisível do que a resistência relacionada ao local de ação (RELA). No ponto de vista manejo de plantas daninhas, esse tipo de resistência pode estar envolvido com fenômenos de resistência múltipla, em

que plantas são resistentes a herbicidas de diversas famílias químicas, pertencentes a diferentes mecanismos de ação (Yuan *et al.*, 2007).

A diminuição da absorção do herbicida está relacionada diretamente com a redução de absorção ou retenção nos tecidos vegetais, reduzindo a quantidade que é capaz de chegar no local de ação (Christoffoleti; 2016). Essa diminuição já foi relatada para os herbicidas glifosato, inibidores de ALS e ACCase mas ainda sem a identificação de genes que conferem essa resistência (Délye; Jasieniuk; Le Corre, 2013).

A translocação do herbicida na planta, do ponto aplicado até seu local de ação é extremamente essencial para sua eficiência, de modo que seu caminho pode ser curto, em herbicidas de contato ou longo nos herbicidas sistêmicos que se movimentam pelo xilema e floema (Markus *et al.*, 2021). Dessa forma, a translocação diferencial é um importante mecanismo de resistência que pode ocorrer através da redução ou aumento da translocação (Markus *et al.*, 2021).

A translocação do herbicida até o local de ação pode ser reduzida através de sequestro de herbicida no vacúolo como já foi identificado para herbicidas como paraquat e glifosato, mesmo que diversas espécies já apresentam esse mecanismo, seu entendimento bioquímico que causa essa redução ainda é pouco compreendido (Markus *et al.*, 2021). Os casos de exsudação radicular são raros, mas, em plantas de *Raphanus raphanistrum*, relatou-se que a resistência a MCPA ocorre devido às altas taxas de exsudação do herbicida pelas raízes do biótipo resistente (Jugulam *et al.*, 2013). Seu mecanismo de regulação molecular e fisiológica desse processo não é conhecido, porém sabe-se que a exsudação pode ser influenciada por estresses bióticos ou abióticos (Markus *et al.*, 2021).

Ainda assim, é hipotético o envolvimento de mecanismos passivos (difusão, canais de íons, etc.) e ativos (transportadores ATP) relacionados à secreção desses compostos pelas raízes (Ghanizadeh; Harrington, 2017).

O mecanismo de rápida necrose pode ser entendido como relacionado à redução da translocação do herbicida. No entanto, considera-se que, apesar de as consequências entre ambos serem similares, as causas são provavelmente distintas, e por isto é apresentada como um mecanismo independente (Markus *et al.*, 2021). Além disto, a sintomatologia é distinta dos casos de resistência causada por variação da translocação, o que mais uma vez indica para a sua consideração de forma isolada (Markus *et al.*, 2021). O aumento da metabolização em plantas daninhas é um dos maiores causadores da resistência por mecanismos não relacionados ao local de ação. Esse processo ocorre por meio da atividade de enzimas detoxificadoras, que transformam o herbicida em compostos menos tóxicos que a molécula original. O aumento da metabolização de herbicidas tem sido relacionado à resistência em várias espécies de plantas daninhas, principalmente nas gramíneas, como *Lolium rigidum* (Yu *et al.*, 2009; Busi *et al.*, 2011), *Alopecurus myosuroides* (Délye *et al.*, 2011), *Echinochloa phyllopogon* (Yasuor *et al.*, 2009) e *Echinochloa crus-galli* (Dalazen *et al.*, 2018). Ainda, esse mecanismo de detoxificação é o principal mecanismo de seletividade de herbicidas sobre as culturas (Markus *et al.*, 2021).

Além do glifosato, nos Estados Unidos vários casos de resistência múltipla a herbicidas têm sido reportados, sendo eles os Inibidores da ALS (Grupo 2), mimetizadores de auxinas (Grupo 4), inibidor da EPSPs (Grupo 9), inibidor da síntese de caroteno (Grupo 27), inibidor do fotossistema II (Grupo 5),

inibidor de PROTOX (Grupo 14), inibidor da formação de microtúbulos (Grupo 3) e inibidores da síntese de ácidos graxos de Cadeia Longa (Grupo 15) (Berger *et al.*, 2016; Culpepper *et al.*, 2006; Heap, 2021; Kupper *et al.*, 2017, 2018; Mennan *et al.*, 2021; Norsworthy *et al.*, 2008; Torra *et al.*, 2020; Wise *et al.*, 2009) (WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2025).

Mudanças climáticas:

O crescimento do CO₂ atmosférico e as temperaturas em crescente aumento, impulsionam a mudança do clima global, aumentando provavelmente a distribuição de altas temperaturas e impactos econômicos negativos (Kistner; Hatfield, 2018). Segundo o IPCC (2021), Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, com foco nos riscos climáticos e seus fatores determinantes, qualquer ganho direto de rendimento causado pelo aumento de CO₂ pode ser parcialmente compensado por perdas causadas por insetos fitófagos, agentes patogênicos e plantas daninhas.

Um estudo realizado na Geórgia, EUA, estimou que os custos anuais com o controle de *A. palmeri* e as perdas de produtividade ultrapassam 10 milhões de dólares (Webster; Grey, 2015). O modelo climático CNRM-CM5, desenvolvido pelo Centre National de Recherches Météorologiques na França, é amplamente utilizado para prever condições climáticas e avaliar o impacto das mudanças climáticas em diferentes escalas de tempo e espaço (Voldaire *et al.*, 2013).

De acordo com esse modelo, a adequação climática para *A. palmeri* em Mato Grosso, Brasil, deve diminuir significativamente devido ao acúmulo de

estresse quente-úmido acima de 100, o limiar letal estabelecido pelo CLIMEX (Vold *et al.*, 2011).

No entanto, as projeções também indicam um potencial significativo de crescimento populacional da espécie em toda a região sob um clima futuro. Considerando a capacidade adaptativa dessa planta daninha e a predominância da agricultura em linha nessa área, há indícios de que *A. palmeri* continuará representando uma ameaça à agricultura global no futuro (Kistner; Hatfield, 2018).

Métodos de controle

Para o controle eficaz de plantas daninhas, é essencial empregar diversos tipos de manejo, que aumentem a eficiência do controle, geralmente seguindo uma abordagem em etapas (Legleiter; Johnson, 2013). As principais estratégias incluem a prevenção, que envolve a remoção de plantas daninhas em áreas em pousio e o estabelecimento da cultura em solo limpo. Nessa fase, o uso de herbicidas também pode ser utilizado (Greene; Flessner; Singh; Frame., 2020).

O herbicida pré-emergente é uma das formas de manejo, em que a aplicação ocorre após semeadura da cultura ou até após a emergência da mesma, mas sempre antecedendo a emergência de plantas daninhas. Proporcionando um efeito residual longo e assim contribuindo para a redução do banco de sementes (Greene; Flessner; Singh; Frame., 2020). Como relatado por Houston *et al.*, (2013), o controle em pré emergência pode ser eficaz até os 28 DAA com herbicidas inibidores de ALS (Acetolactato sintase) ou PPO (Protoporfirinogênio oxidase), necessitando de uma aplicação de pós

emergência para os possíveis escapes. Posterior a cultura ser implantada e já em desenvolvimento, pode-se utilizar controle químico de pós-emergência, porém sua eficácia sobressai apenas sobre plantas pequenas aproximadamente 10 centímetros, sendo o seu tempo de aplicação e eficácia reduzido (Greene; Flessner; Singh; Frame., 2020).

O controle de *A. palmeri* é variável de acordo com: o ambiente, método de rotação de culturas, tipo de cultivo solo. Aulakh *et al.* (2013) relataram que uma operação de disco duplo reduziu o aparecimento de *A. palmeri* no início da estação, em comparação com a gradagem seguida de arado de cinzel, a gradagem seguida de cultivador de campo e o plantio direto em experiências de campo multi-anuais realizadas no Alabama. Um estudo conduzido por Jha e Norsworthy (2009) na Carolina do Sul não reportou nenhum efeito do plantio rotativo raso (plantio por aspersão) na emergência cumulativa de *A. palmeri*. Franca (2015) relatou que o plantio rotativo raso em diferentes momentos influenciou o padrão de emergência do *A. palmeri* no sul de Illinois.

O controle de *A. palmeri* pelo método elétrico se mostrou eficiente para as plantas que já possuíam tamanhos elevados, entre 0,9 e 1,2 metros, já as plantas com menor tamanho, entre 0,3 metros mostravam certo controle, mas voltava a crescer, necessitando de mais tratamentos elétricos, porém o tratamento mecânico a partir de 0,3 metros já conseguia ser eficiente (Moore *et al.*, 2023).

Ferramentas que auxiliam o produtor na tomada de decisão sobre o controle de *A. palmeri* já existem como o software PAM (Palmer Amaranth Management) (Lindsay *et al.*, 2017). PAM foi desenvolvido para auxiliar

produtores de algodão, milho e/ou soja, bem como consultores, educadores e agentes de extensão, sobre o manejo integrado de plantas daninhas para o controle eficaz do *A. palmeri*, promovendo assim a sustentabilidade econômica a longo prazo (Lindsay *et al.*, 2017).

O software utiliza a plataforma Microsoft Excel®, pois a maioria dos usuários já está familiarizada com o programa, tornando o PAM uma ferramenta educacional poderosa, fácil de usar e com maior alcance. É composto por três principais componentes: dinâmica populacional, opções de manejo para controle e aspectos econômicos (Lindsay *et al.*, 2017).

O software possui dinâmica populacional projetada para simular o ciclo de vida da planta, começando pela emergência da primeira na primavera e adição das tardias que escaparam do controle ao final da temporada de cultivo. São estimados o tamanho do banco de sementes no solo e a densidade de plantas acima do solo em diferentes estágios da estação de crescimento (Lindsay *et al.*, 2017).

Os custos de controle de plantas daninhas (em US\$ por ha) incluem o custo estimado das sementes, dependendo das características da cultura, bem como o preço de herbicidas e os custos de aplicação. Também são levados em consideração os custos de manejo de plantas daninhas associados ao cultivo em sistema de plantio direto contra a aração rasa, diferenças nos custos de equipamentos para plantio de soja em fileiras estreitas ou largas, e opções de manejo de plantas daninhas no outono, incluindo o uso do arado moldboard/aiveca (revira o solo em fatias), queima de linhas de plantas daninhas e cultivo de coberturas (Lindsay *et al.*, 2017).

O banco de sementes na primavera é estimado com base na quantidade de sementes presentes no solo, calculada a partir da produção de sementes das plantas de *A. palmeri* que escaparam ao controle durante o ano anterior, levando em conta as possíveis perdas de sementes no inverno (Lindsay *et al.*, 2017).

Tendo em vista tudo sobre o *A. palmeri*, essa pesquisa busca através dos experimentos de dose resposta, acúmulo de ácido chiquímico e absorção e translocação de C^{14} avaliar se houve um aumento de resistência ao longo dos 15 anos de diferença entre coleta de sementes provenientes do mesmo local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dose resposta:

Essa pesquisa foi conduzida em casa de vegetação no ano de 2024, localizada no campus de Tifton pertencente à Universidade da Georgia, EUA 314.76735, -83.528125. Dois biótipos de *A. palmeri*, coletados em anos diferentes (2008 e 2023), foram selecionados para o estudo.

As sementes foram coletadas de plantas em estágio de maturidade de semente código 89 pela escala BBCH por Hess *et al.* (1997) provenientes de área experimental da USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), e foram denominadas como Jones 2008 (J08) e Jones 2023 (J23) e Little Jones 2008 (LJ08) e Little Jones 2023 (LJ23).

Pós-emergência

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação, onde foi mantido a temperatura de $32^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, sendo suplementada por 16 horas a cada dia por lâmpadas ($600 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e com umidade relativa entre 30% - 70%. Foi utilizado substrato ProMix (BX, Quebec, Canadá), adicionado fertilizante com a formulação 18-5-12 (ICL[®] Specialty Fertilizers, Holland) e durante todo o período de condução foi feito controle de mosca branca (*Bemisia tabaci*) com o inseticida Sivanto prime em dose bula 1 L/ha. Para garantir homogeneidade de tamanho e padrão de plantas, foram utilizadas bandejas para produção de mudas, onde foram desbastadas deixando apenas uma planta por célula. Ao atingiram três semanas, as mudas foram transplantadas para potes maiores (9 x 9 cm) como parcela amostral, contendo o mesmo substrato e fertilizante usados anteriormente. Após atingirem o tamanho de 8-12 cm de comprimento e/ou 8-10

folhas, conforme especificação de tamanho pela bula do produto comercial, os biótipos receberam os tratamentos com herbicidas. No decorrer do período experimental, o substrato foi mantido úmido por meio de regas periódicas.

Os tratamentos consistiram na aplicação de quatro herbicidas glifosato (Roundup Powermax 3/Cropshield – N – Fosfometil glicina de sal de potássio 51,2%), atrazina (Atrazina/Drexel – atrazina 6-cloro-N²-etil-N⁴-isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina 42,2%), imazapique (Cadre/BASF - sal de amônio do imazapique 2-[4,5-diidro-4-metil-4-(1-metiletil)-5-oxo-1H-imidazol-2-il]-5-metil-3-piridinecarboxílico 23,6%) e flumioxazina (Zaltus SX/Atticus – flumioxazina 2-[7-fluoro-3,4-dihydro-3-oxo-4-(2-propynil)-2H-1,4-benzoxazin-6-il]-4,5,6,7-tetraidro-1H-isoindol-1,3(2H)-diona 51%) em 8 doses diferentes, sendo elas: 0 (testemunha), D, D, 1D, 2D, 4D, 8D e 16D (Tabela 1).

Tabela 1. Herbicidas e respectivas doses utilizadas para a avaliação de dose resposta em quatro biótipos de *Amaranthus palmeri* (J08, J23, LJ08 e LJ23) coletados em área experimental da USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) em Tifton, GA. Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Dose	Herbicidas			
	Glifosato (g. e.a ha ⁻¹)	Atrazina * (g. i.a ha ⁻¹)	Imazapique* (g. i.a ha ⁻¹)	Flumioxazina* (g.i.a ha ⁻¹)
1/4D	281.75	537.6	16.8	26.77
1/2D	536.5	1075.2	33.6	53.55
1D**	1127	2150.4	67.2	107.1
2D	2254	4300.8	134.4	214.2
4D	4508	8601.6	268.8	428.4
8D	9016	17203.2	537.6	856.8
16D	18032	34406.4	1075.2	1713.6

* Adicionados 0,25% v/v de surfactante não iônico[JD2] .

** Dose recomendada do herbicida.

e.a g.ha⁻¹: gramas do equivalente ácido por hectare.

i.a g.ha⁻¹: gramas do ingrediente ativo por hectare.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com 32 tratamentos herbicidas (4 herbicidas em 8 doses diferentes), aplicados nos quatro biótipos de *Amaranthus palmeri* a serem estudados, em 6 repetições. A aplicação foi realizada utilizando volume de 179 L ha⁻¹ com o ponta de pulverização XR-TEEJET 11002VS com pressão de 275 kPa, seguindo as normas da bula. O experimento foi repetido duas vezes.

Após a aplicação, as plantas receberam fertilizante foliar Miracle-Gro na formulação 24-8-26 (Scotts Miracle-Gro Company, Ohio, US) uma vez por semana. Aos 21 dias após aplicação dos tratamentos (DAA), as plantas foram cortadas rente ao solo, colocadas em sacos de papel para secagem em estufa a 60°C até atingir peso seco constante.

Pré-emergência

Para pré-emergência, o solo utilizado foi coletado em uma área de pesquisa orgânica pertencente à Universidade da Georgia, no campus de Tifton. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com 8 tratamentos (herbicida flumioxazina em 8 doses diferentes), aplicados nos quatro biótipos de *A. palmeri*, em 4 repetições.

O solo foi peneirado para remover pedras, tubérculos e sementes de outras plantas daninhas, distribuído uniformemente em vasos de 9 x 9 cm e mantido sob luz constante por cinco dias para secagem de forma homogênea. Um dia antes do plantio e da aplicação do herbicida, os vasos foram colocados em potes medindo 58 x 40 x 15 cm para realização da subirrigação.



Figura 3. Os quatro biótipos de *A. palmeri* (J08, J23, LJ08, LJ23) foram testados em pre-emergência para o herbicida flumioxazina. A foto mostra os vasos colocados em recipientes maiores para serem subirrigados.

Cada pote foi destinado a uma dose específica, contendo os quatro biótipos e suas respectivas repetições. Em cada pote, foi adicionado um litro de água para restaurar o teor de umidade do solo e garantir consistência entre os vasos.

Vinte e quatro horas após a primeira subirrigação pré-aplicação do herbicida, foram semeadas 50 sementes por vaso, cobrindo-as com uma fina camada de solo. A aplicação do herbicida flumioxazina seguiu o método previamente descrito para a dose-resposta em pós-emergência. Após a

aplicação, os vasos foram devolvidos à casa de vegetação e irrigados por aspersão para ativar o herbicida.

Durante a execução do experimento, a irrigação dos vasos foi realizada exclusivamente por subirrigação, adicionando sempre a mesma quantidade de água e apenas quando necessário para manter a umidade adequada e evitar a formação de crostas na superfície.

A atividade residual da flumioxazina foi avaliada visualmente utilizando-se do mesmo método de avaliação visual seguindo metodologia de Alam (1974). Devido ao completo controle das doses de flumioxazina, não foi necessária análise de dados para esse experimento.

Acúmulo de ácido chiquímico

Dez discos foliares com diâmetro de 4 mm foram cortados das folhas utilizando um perfurador Perfurocork/Cortador de cortiça. Dez discos foram colocados em cada tubo de uma placa de microtitulação de 96 tubos.

Os tubos de controle continham 10 mM de fosfato de amônio e 0,1% (v/v) de surfactante Tween 80. Os tubos de tratamento com glifosato continham 100 µl de uma solução de 10 mM de fosfato de amônio (pH 4,4), 0,1% (v/v) de surfactante Tween 80 e diferentes concentrações de glifosato (Roundup PowerMAX, Bayer Crop Science), variando de 5 mM a 1000 mM. As placas foram cobertas com uma tampa, seladas com uma tira de parafilm e envolvidas em filme plástico para minimizar a evaporação.

Em seguida, foram incubadas sob luz fluorescente ($150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a 26 °C por 16 a 23 horas, exceto no caso do estudo de tempo de incubação. Após a incubação, as placas foram armazenadas em um congelador a -20 °C até o

congelamento completo da solução, posteriormente descongeladas à temperatura ambiente. Foram pipetados 25 µl de HCl 1,25 N em cada tubo, resultando em uma concentração final de 0,25 N de HCl por tubo. As placas foram incubadas a 60 °C por 15 minutos. Ao final dessa incubação, os discos apresentaram uma coloração cinza-esverdeada uniforme, indicando a completa penetração do ácido nos tecidos.

O ácido chiquímico foi determinado espectrofotometricamente seguindo o procedimento de Cromartie e Polge (2000). Alíquotas de 25 µl foram transferidas de cada tubo para outra placa de microtitulação, à qual foram adicionados 100 µl de uma solução contendo 0,25% (p/v) de ácido periódico e 0,25% (p/v) de m-periodato. Essa placa foi incubada à temperatura ambiente (25 °C) por 90 minutos, e, posteriormente, adicionaram-se 100 µl de uma solução de 0,6 N de hidróxido de sódio/0,22 M de sulfito de sódio a cada tubo.

A densidade óptica a 380 nm foi medida dentro de 30 minutos utilizando um espectrofotômetro de placas de microtitulação. A densidade óptica de fundo foi determinada nos tubos contendo os discos de controle e subtraída dos tratamentos com glifosato. Uma curva padrão de ácido chiquímico foi desenvolvida adicionando-se quantidades conhecidas de ácido chiquímico a tubos contendo discos foliares não expostos ao glifosato, permitindo que os níveis de ácido chiquímico fossem expressos como microgramas de ácido chiquímico por mililitro de solução de HCl.

Absorção e translocação de C¹⁴-glifosato pelas plantas

As plantas foram cultivadas em casa de vegetação até atingirem de 8 a 12 cm de comprimento e/ou 8 a 10 folhas, como descrito na bula do produto

comercial. O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com 20 tratamentos, abrangendo 4 biótipos e 5 tempos de colheita distintos (horas após o tratamento – HAT) após a aplicação do glifosato em todas as plantas, com 3 repetições. O estudo foi repetido, e os dados combinados, totalizando 120 plantas.

Seguindo a metodologia utilizada por Grey e Shilling (2018), a segunda folha totalmente expandida da planta de *Amaranthus palmeri* foi coberta com uma camada de filme de polietileno (Cling'n Seal, Glad, Oakland, CA, EUA). O glifosato (Roundup PowerMAX, Bayer Crop Science) foi aplicado na dose recomendada pelo fabricante de 1064 g e.a.ha⁻¹, combinado com água deionizada, e pulverizado de forma uniforme por toda a planta. Após o tempo necessário para secar, o filme foi removido e uma solução radiomarcada foi aplicada na folha utilizando um microaplicador (Burkhard, Hertfordshire, Reino Unido).

A solução radiomarcada foi preparada misturando 0,5 ml da solução de pulverização com glifosato marcado com C¹⁴ (American Radiolabeled Chemicals, St. Louis, MO, EUA) em uma proporção de 100:1 (v:v). A atividade específica do glifosato marcado com C¹⁴ era de 2 kBq.m⁻¹ com pureza radiocinemática de 99%. Dez gotículas de 1 µl da solução de C¹⁴-glifosato foram cuidadosamente colocadas na superfície adaxial da folha, aproximadamente a 2 mm da veia central, começando pela base da folha e movendo-se em direção ao centro. A atividade específica total aplicada continha aproximadamente 2 kBq.mg⁻¹ por planta de radioatividade.

Imediatamente após a aplicação, as plantas foram retornadas à câmara de crescimento. A colheita das plantas foi realizada em diferentes intervalos de tempo, a 1, 6, 12, 24 e 48 horas após o tratamento (HAT). Na colheita, cada planta foi dividida em quatro partes: a folha tratada, o tecido acima da folha tratada, o tecido abaixo da folha tratada (cortado ao nível do solo) e as raízes. As raízes foram extraídas do solo por meio de lavagem sobre uma grade de arame, tomando-se o cuidado de coletar todo o tecido.

As folhas tratadas foram enxaguadas duas vezes por 15 segundos com uma mistura de metanol e água deionizada (1:1) para eliminar qualquer glifosato não absorvido. Uma amostra de 1 ml dos lavados foi misturada com 10 ml de fluido de cintilação (Ready Safe® cocktail, Beckman Instruments, Fullerton, CA, EUA) e a radioatividade foi medida por espectrometria de cintilação líquida (LSC) (LS6500, Beckman Instruments, Fullerton, CA, EUA).

As partes das plantas foram secas em estufa por 48 horas a 45°C e pesadas. As amostras foram submetidas à combustão usando um oxidante biológico (OX 500, R.J. Harvey Instrument Corporation, Hillsdale, NJ, EUA) para converter o C¹⁴-glifosato absorvido em CO₂, que foi capturado em um cocktail de scintíver (Carbon-14 Cocktail, R.J. Harvey Instrument Corporation, Hillsdale, NJ, EUA). O C¹⁴ nas amostras oxidadas foi quantificado usando LSC.

A quantidade de herbicida absorvida foi determinada pela radioatividade total recuperada da oxidação das quatro seções da planta. Esse valor foi apresentado como uma porcentagem da radioatividade de C¹⁴-glifosato aplicada. A distribuição do C¹⁴-glifosato nas diferentes partes da planta foi

representada tanto como uma porcentagem da radioatividade absorvida quanto em termos de Bq mg⁻¹ de peso seco do tecido

Análise de dados:

Os dados de dose resposta foram submetidos a regressão não linear utilizando um modelo log-logístico de três parâmetros, implementado no pacote drc (Ritz *et al.*, 2015). O modelo log-logístico de três parâmetros adotado tem como limite inferior o valor zero.

$$y = \frac{d}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))}$$

onde d representa a assíntota superior, b é a inclinação da curva e e corresponde ao ponto de inflexão, equivalente ao ED50. A seleção do modelo foi baseada no critério de informação de Akaike (AIC).

Modelos lineares de efeitos mistos (lmer) foram empregados para analisar as interações entre os tratamentos e os efeitos principais quando presentes. No experimento de avaliação do acúmulo de ácido chiquímico, os biótipos e as doses do herbicida glifosato (mM) foram considerados efeitos fixos, enquanto as repetições foram tratadas como efeito aleatório. Da mesma forma, no experimento de absorção e translocação de C¹⁴-glifosato, os biótipos e os tempos após o tratamento (HAT) foram considerados efeitos fixos, com as repetições assumidas como efeito aleatório.

A normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias foram verificadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, com nível de significância de $\alpha \leq 0,05$. Quando necessário, os dados foram transformados. As comparações entre fatores com interações significativas e suas médias foram

realizadas por meio do teste de Tukey. Para os fatores que não apresentaram interações significativas, mas tiveram efeitos principais significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey HSD a $p=0,05$. As análises foram conduzidas utilizando os pacotes lme4 (Bates *et al.*, 2015), lmerTest (Kuznetsova *et al.*, 2017), emmeans (Lenth *et al.*, 2017) e multcomp (Hothorn *et al.*, 2008). Todas as análises foram realizadas no RStudio (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dose resposta

Entre os herbicidas avaliados, apenas o glifosato apresentou eficácia reduzida no controle dos biótipos de *A. palmeri* testados. Para o imazapique, atrazina e flumioxazina, a dose recomendada foi suficiente para controlar a população dos biótipos. Portanto, apenas os dados referentes ao glifosato serão apresentados.

Através do modelo log-logístico, calculou-se o ED50, a dose estimada do herbicida que reduziu em 50% a biomassa dos quatro biótipos testados (J08, J23, LJ08, LJ23) (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de ED50 (dose estimada para redução de 50% da matéria seca dos biótipos J08, J23, LJ 08 e LJ23 de *Amaranthus palmeri*).

Biótipos	ED50
	(g. e.a. ha ⁻¹)
J08	422.2
J23	4920.7
LJ08	432.7
LJ23	5646.3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os biótipos J08 e J23 apresentaram um aumento de 11 vezes na dose necessária para o controle, enquanto o biótipo LJ23 exigiram uma dose 12 vezes maior em comparação ao biótipo LJ08 (Tabela 2). Esse aumento da dose de glifosato também foi reportado por Culpepper *et al.*, (2006) onde em seu experimento o biótipo suscetível de *A. palmeri* foi controlado com 0,6 kg ha⁻¹ e o resistente só foi controlado com doze vezes a dose por volta de 7,6 kg ha⁻¹. O

mesmo também foi reportado por Whitaker *et al.*, (2013), onde em comparação da dose necessária para controle de 50% da população, entre suscetível e resistente houve um aumento de dezoito vezes a dose.

Avaliando populações altamente suscetíveis e resistentes ao glifosato, Gaines *et al.*, (2011) constatou um aumento de quarenta vezes a dose para controlar populações resistentes de *A. palmeri*. As curvas de dose-resposta geradas com base na biomassa (peso seco) dos biótipos de *A. palmeri* após a aplicação de glifosato são apresentadas na Figura 4 (J08 e J23) e Figura 5 (LJ08 e LJ23). Dessa forma, consideramos os biótipos J08 e LJ08 como suscetíveis, enquanto J23 e LJ23 são os biótipos resistentes ao glifosato.

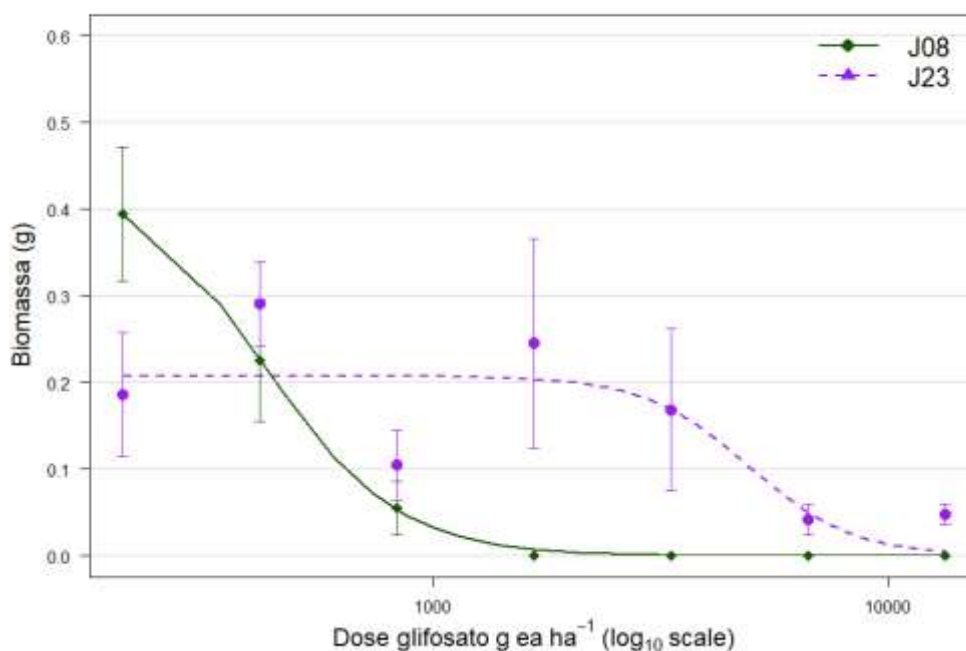


Figura 4. Média de matéria seca coletada aos 21 DAA em função da respectiva dose de Glifosato para os biótipos J08 e J23.

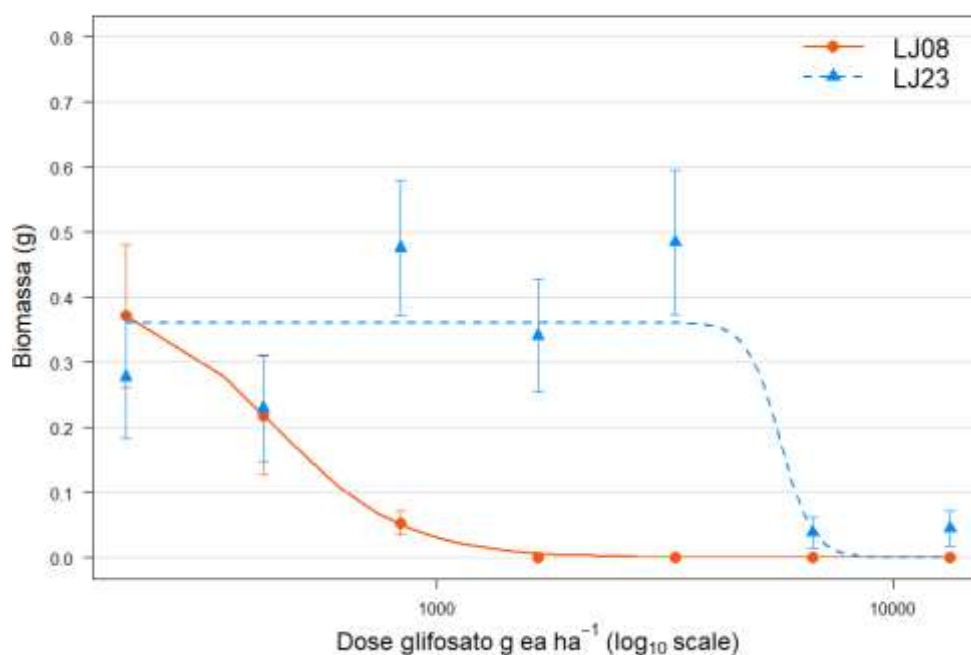


Figura 5. Média de matéria seca coletada aos 21 DAA em função da respectiva dose de Glifosato para os biótipos LJ08 e LJ23.

Acúmulo de ácido chiquímico

Os resultados da ANOVA para o acúmulo de ácido chiquímico estão apresentados na tabela 3. A interação entre biótipos e doses foi altamente significativa ($p < 0,001$), o que significa que o efeito das doses de glifosato no acúmulo de ácido chiquímico depende do biótipo avaliado.

Tabela 3. Resultados da ANOVA para o acúmulo de ácido chiquímico nos biótipos J08, J23, LJ 08 and LJ23 de *Amaranthus palmeri*.

Fatores dos tratamentos	Acúmulo de ácido chiquímico
Biótipos	<.0001***
Doses	<.0001***
Biótipos*Doses	<.0001***

Signif: '***' 0.001

O acúmulo de ácido chiquímico ocorreu em todas as doses testadas. Entre os biótipos J08 e J23, o acúmulo foi maior em J08 nas doses de 5, 25, 180,

300 e 1000 mM. Já para LJ08 e LJ23, o biótipo LJ08 apresentou maior acúmulo em todas as doses de glifosato testadas (Tabela 4 e Figuras 6 e 7).

Tabela 4. Comparação das médias do acúmulo de ácido chiquímico nos biótipos (LJ08/LJ23 e J08/J23) de *Amaranthus palmeri* (Tukey HSD, $\alpha=0.05$):

Dose (mM)	Biótipo	Média		Biótipo	Média	
0	LJ08	0	a	J08	0	a
	LJ23	0	a	J23	0	a
5	LJ08	32,3	b	J08	21,7	b
	LJ23	8,7	a	J23	10,3	a
25	LJ08	43,7	b	J08	31,3	b
	LJ23	12,7	a	J23	12,0	a
75	LJ08	46,3	b	J08	32,7	a
	LJ23	25,3	a	J23	29,7	a
180	LJ08	46,3	b	J08	32,0	b
	LJ23	27,7	a	J23	25,7	a
300	LJ08	44,3	b	J08	40,3	b
	LJ23	28,0	a	J23	34,7	a
700	LJ08	53,3	b	J08	37,7	a
	LJ23	39,3	a	J23	38,7	a
1000	LJ08	45,0	b	J08	58,3	b
	LJ23	27,7	a	J23	37,0	a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey HSD a $\alpha = 0,05$. Fonte: Elaborada pelo autor.

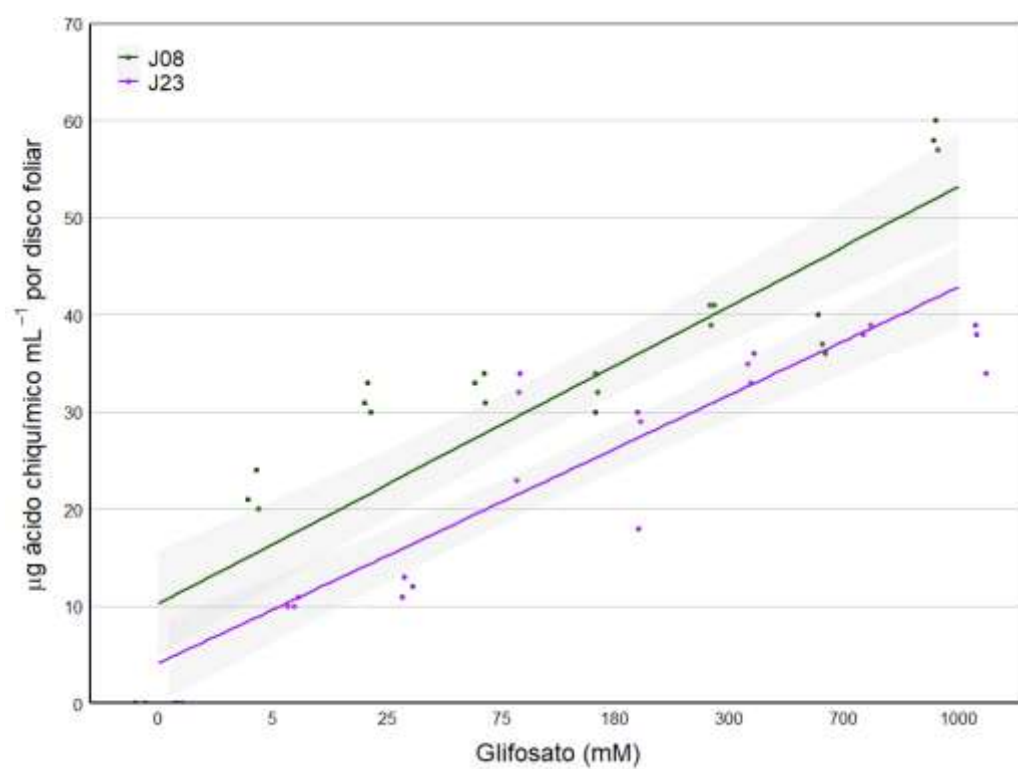


Figura 6. Acúmulo de ácido chiquímico em função da respectiva dose de glifosato (mM) para os biótipos J08 e J23.

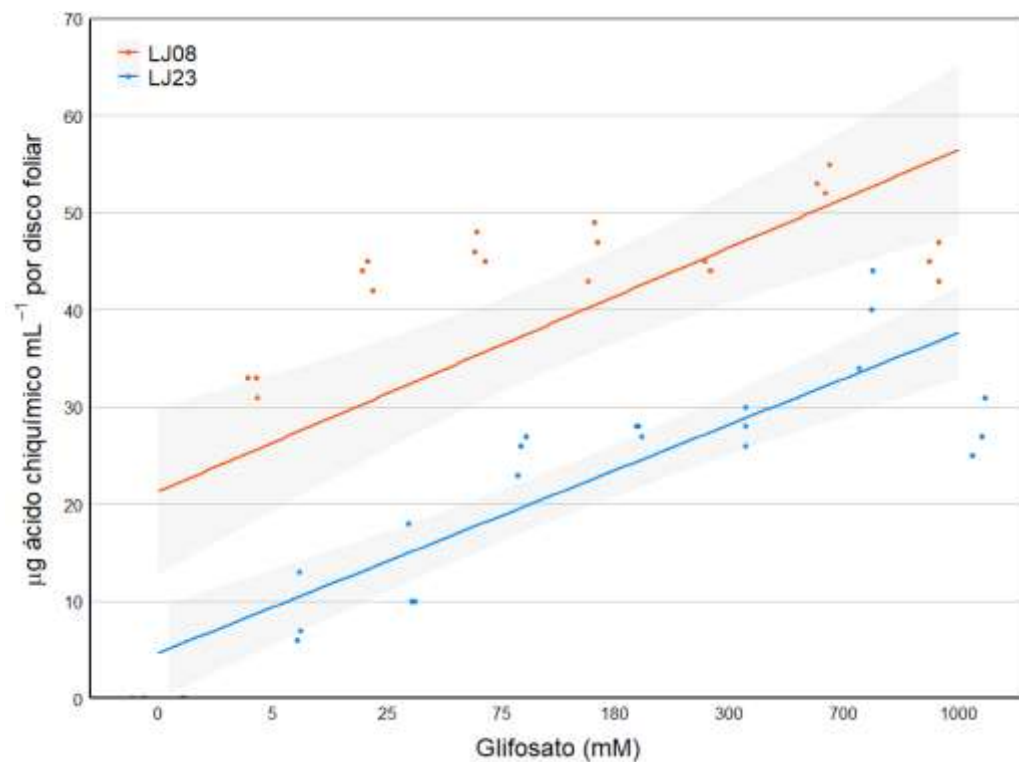


Figura 7. Acúmulo de ácido chiquímico em função da respectiva dose de glifosato (mM) para os biótipos LJ08 e LJ23.

Whitaker *et al.*, (2013) reportou que o ácido chiquímico também aumentou em ambos os biótipos em relação ao aumento de concentração do glifosato, mas que o acúmulo maior sempre foi no biótipo suscetível. O mesmo aconteceu com biótipos testados na Argentina, onde o biótipo suscetível também acumulou mais ácido chiquímico que o biótipo resistente Palma-Bautista *et al.*, (2019). Estudos conduzidos por De Souza Rodrigues *et al.*, (2024) obtiveram resultados semelhantes, ao testar biótipos originários do estado da Geórgia, onde o biótipo suscetível apresentou maior acúmulo de ácido chiquímico em comparação ao biótipo resistente, corroborando este estudo. A resistência ao glifosato em *A. palmeri* na Geórgia tem sido associada à amplificação do gene EPSPS, levando à superexpressão da enzima EPSPS (Gaines *et al.*, 2011). Esse aumento na

expressão enzimática permite que as plantas sobrevivam a aplicações do herbicida que, normalmente, comprometeriam seu crescimento.

Absorção e translocação do ^{14}C -glifosato

Para os dados colhidos no experimento do C^{14} -glifosato foram desenvolvidas diversas comparações para mostrar as diferenças significativas que justificam os resultados passados dos outros experimentos. A absorção do herbicida apresentou variação significativa entre os biótipos, ao longo do tempo e na interação entre esses dois fatores ($p < 0,001$), sugerindo que diferentes biótipos possuem ritmos distintos de absorção (Tabela 5). Por outro lado, a quantidade de herbicida lavado diferiu ao longo das horas após tratamento (HAT) ($p < 0,01$), mas não entre os biótipos ($p > 0,05$). Além disso, tanto o total de herbicida recuperado quanto o peso das plantas não foram significativamente ($p > 0,05$) influenciados por nenhum dos fatores analisados. O estudo de Monqueiro, P. A., *et al.* (2004) na comparação de absorção, translocação e metabolismo do glifosato em *Amaranthus hybridus* absorveu mais de 90% do glifosato após 72 horas de aplicação e com taxa de 25% de translocação, onde comprova-se que o tempo de contato prolongado é crucial para a absorção eficaz do herbicida.

Tabela 5. Demonstração de resultados de uma ANOVA para todos os fatores relacionados aos biótipos de *Amaranthus palmeri* e sua resposta ao tratamento com C14-glifosato, medidos em termos de absorção, lavagem, recuperação total da radioatividade e peso da planta

Fatores dos tratamentos	Absorvido	Lavado	Total recuperado	Peso das plantas
	(% aplicado)			(mg/planta)
Biótipo	<,0001***	ns	ns	ns
HAT	<,0001***	0,0030*	ns	ns
Biótipo*HAT	<,0001***	ns	ns	ns

Signif. dos códigos: '***' 0.001; '**' 0.01; '*' 0.05; ns não-significante ao $\alpha=0.05$. HAT: Horas após o tratamento. Fonte: Elaborada pelo autor.

A interação entre biótipos e horas após o tratamento (HAT) teve um efeito significativo na absorção de C¹⁴-glifosato (% aplicado) ($p < 0,0001$), e a comparação de médias dos tratamentos está apresentada na Tabela 6. Nos primeiros tempos (1 HAT), os biótipos J23 e LJ23 absorveram significativamente mais glifosato (28,3% e 18,2%) em comparação com J08 e LJ08 (7,7% e 6,7%). No entanto, a partir de 6 HAT, não foram observadas diferenças estatísticas entre os biótipos, com a absorção variando entre 21,2% e 31,9%. Aos 12 HAT, a absorção continuou aumentando em todos os biótipos, alcançando valores entre 27,2% e 35,8%, ainda sem diferenças estatísticas.

Nos tempos 24 HAT e 48 HAT, a absorção de glifosato seguiu aumentando em todos os biótipos. Aos 24 HAT, os valores ficaram entre 24,5% e 34,5%, enquanto aos 48 HAT, a absorção variou de 28,8% a 46,6%, indicando que o processo ainda estava em andamento. Esses resultados mostram que,

embora no início da absorção (1 HAT) existem diferenças entre os biótipos, essa variação desaparece a partir de 6 HAT, com todos os biótipos atingindo níveis de absorção semelhantes ao longo do tempo. Além disso, a absorção do herbicida continuou aumentando até pelo menos 48 HAT, sem sinais de estabilização dentro do período avaliado. Isso sugere que o glifosato pode ainda estar sendo absorvido após esse tempo, o que pode ter implicações para o manejo da espécie e a eficácia do herbicida. Resultados semelhantes para biótipos de *A. palmeri* sugerem a resistência ao glifosato em que biótipos podem absorver quantidades iguais ou até maiores do herbicida quando comparados a outros biótipos, mesmo que a resistência não está diretamente ligada a quantidade de herbicida absorvido e sim na capacidade de mitigação do efeito tóxico do glifosato através de diversos mecanismos de resistência que permitem que as plantas tolerem concentrações mais altas do herbicida que as plantas que não possuem esse mecanismo Zulet-Gonzalez *et al.* (2023); Sammons, R. D. e Gaines, T. A. (2014) e Chahal, P. S., *et al* (2017).

Tabela 6. Médias ($\pm$ erro padrão) C14-glifosato absorvido (% aplicado) em biótipos de *Amaranthus palmeri* colhidos em 1, 6, 12, 24 e 48 horas após tratamento (HAT).

HAT	Absorvido (% aplicado)							
	J08		J23		LJ08		LJ23	
1	7,7 $\pm$ 1,5	a	28,3 $\pm$ 5,7	b	6,7 $\pm$ 1,3	a	18,2 $\pm$ 5,7	b
6	28,2 $\pm$ 5,7	a	21,2 $\pm$ 4,3	a	28,7 $\pm$ 5,8	a	31,9 $\pm$ 6,5	a
12	29,2 $\pm$ 5,9	a	28,0 $\pm$ 5,7	a	27,2 $\pm$ 5,5	a	35,8 $\pm$ 7,6	a
24	24,9 $\pm$ 4,9	a	34,5 $\pm$ 7,0	a	33,6 $\pm$ 6,8	a	24,5 $\pm$ 4,9	a
48	44,2 $\pm$ 9,8	a	28,8 $\pm$ 5,8	a	46,6 $\pm$ 10,4	a	31,3 $\pm$ 6,9	a

Médias seguidas pela mesma letra para cada HAT não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey HSD a $\alpha = 0,05$.

Os dados indicam uma tendência de redução da quantidade de glifosato lavado ao longo do tempo (Figura 8), sugerindo que a absorção pelo tecido vegetal ocorre progressivamente após a aplicação, em conformidade com os resultados de absorção (% aplicado) (Tabela 6).

Nos primeiros momentos após a aplicação (1 HAT), observa-se o maior percentual de glifosato lavado, indicando que uma grande fração do herbicida ainda não foi absorvida e pode ser facilmente removida. Esse comportamento era esperado, uma vez que a absorção pelo tecido vegetal ainda está em estágio inicial. No entanto, à medida que o tempo avança, a quantidade de herbicida removida diminui significativamente, evidenciando que o processo de absorção está em andamento.

A partir das 12 HAT, a porcentagem de C¹⁴-glifosato lavado apresenta uma tendência de estabilização, sugerindo que grande parte do herbicida já foi absorvida ou que a fração remanescente não é facilmente removível. Esses resultados reforçam que as primeiras horas após a aplicação são cruciais para a absorção do glifosato, e qualquer evento de chuva precoce nesse período pode comprometer a eficácia do herbicida, removendo uma fração significativa do produto antes de sua absorção completa. Resultados também similares para o trabalho de Nandula, V. K., *et al.*, (2018) onde houve aumento de absorção do glifosato em ambos biótipos em função do tempo evidenciando a importância do tempo de contato para a eficácia do glifosato.

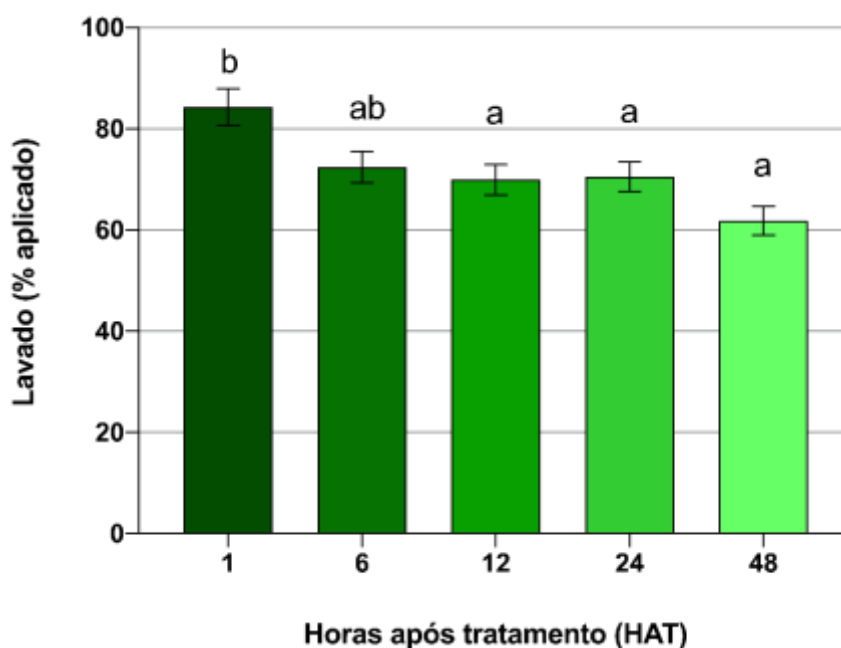


Figura 8. Médias dos erros padrão para as horas após tratamento para o tratamento lavado (% de C14-glifosato aplicado) em biótipos de *Amaranthus palmeri*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey HSD.

Para a folha tratada, tanto o biótipo ($p = 0,0349$) quanto o tempo após o tratamento ($p = 0,0035$) tiveram efeitos principais significativos na absorção do herbicida (Tabela 7). Isso indica que diferentes biótipos apresentam variações na absorção de glifosato e que essa absorção se altera ao longo do tempo. Para a região acima da folha tratada, apenas a interação entre biótipo e HAT foi significativa ($p = 0,0404$), indicando que a translocação do glifosato para essa parte da planta varia entre os biótipos e ao longo do tempo. Nas regiões abaixo da folha tratada e nas raízes, nenhum dos fatores analisados apresentou efeito significativo na distribuição do glifosato. Assim como para a *Echinochloa crus-galli*, a absorção do glifosato foi rápida entre os dois primeiros dias após o tratamento, permanecendo constante posteriormente. Aproximadamente 70% do glifosato aplicado foi absorvido e 70% desse total foi translocado, aumentando a concentração de glifosato nas áreas de crescimento da planta até seu terceiro

dia após o tratamento. Mostrando que o tempo de contato influencia diretamente na distribuição do herbicida dentro da planta (Kirkwood, R.C., Hetherington, R., Reynolds, T.L. e Marshall, G. 2000).

Tabela 7. Teste de ANOVA para a distribuição de C14-glifosato que foi absorvido (% absorvida e Bq.mg⁻¹) para a folha tratada, acima da folha tratada, abaixo da folha tratada e as raízes dos biótipos de *Amaranthus palmeri*.

Fatores dos tratamentos	Folha tratada	Acima da folha tratada	Abaixo da folha tratada	Raízes
	(% absorvido)			
Biótipo	0,0349*	ns	ns	ns
HAT	0,0035**	ns	ns	ns
Biótipo*HAT	ns	0,0404*	ns	ns

Signif. dos códigos: '***' 0.001; '**' 0.01; '*' 0.05; ns não-significante ao $\alpha=0.05$. HAT: Horas após o tratamento. Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 9 representa a absorção de C¹⁴-glifosato na folha tratada (% absorvido) em diferentes biótipos de *A. palmeri* e ao longo do tempo após o tratamento (HAT). A análise do gráfico referente aos biótipos mostra que LJ08 apresentou a maior absorção (~13-14%), sendo significativamente diferente de J08 e J23 ($p < 0,05$), conforme indicado pela letra "c". O biótipo LJ23 apresentou absorção intermediária (~10-11%), sem diferença estatística em relação a LJ08 ou J23. Já os biótipos J08 e J23 absorveram menos herbicida (~5-7%) e não diferiram estatisticamente entre si.

No gráfico que avalia a absorção ao longo do tempo (HAT), observa-se um aumento progressivo na absorção do glifosato. Nas primeiras horas (1 e 6 HAT), a absorção foi menor (~5-6%). A partir de 12 e 24 HAT, a absorção aumentou (~9-11%), sem diferenças estatísticas entre essas HAT. Aos 48 HAT,

a absorção foi significativamente maior (~18-20%) do que nos tempos anteriores ($p < 0,05$). Resultados sugerem que a absorção do glifosato não é imediata e ocorre de maneira gradual, com uma absorção inicial mais baixa até 6 HAT, seguida por um aumento mais expressivo a partir de 12 HAT e atingindo o maior valor em 48 HAT. Esses resultados indicam que a eficácia do glifosato pode ser influenciada pela taxa de absorção ao longo do tempo e pela variação entre biótipos.

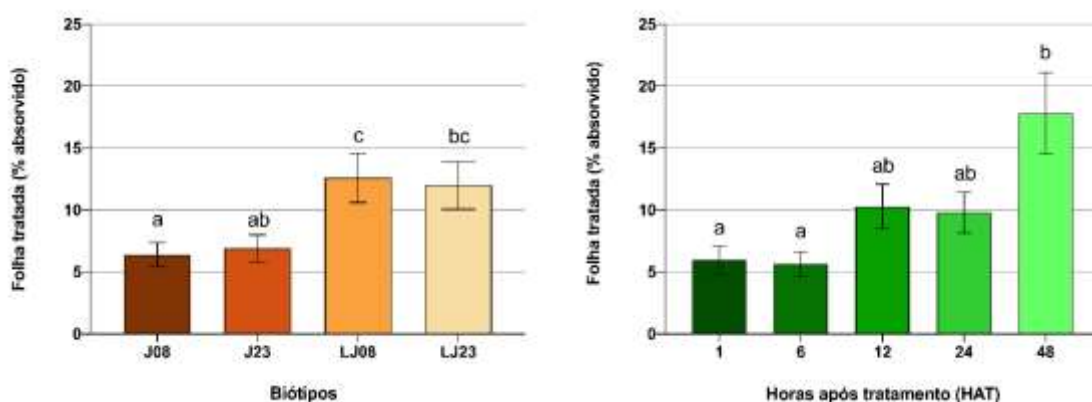


Figura 9. Média dos efeitos dos biótipos (J08, J23, LJ08 e LJ23) e as horas após o tratamento em relação à folha tratada (% absorvida de C14-glifosato radioativo) para os biótipos de *Amaranthus palmeri*. As médias seguidas pela mesma letra não são significativamente

A Tabela 8 apresenta as médias da translocação de C¹⁴-glifosato acima da folha tratada (% absorvido). Aos 1 HAT, a translocação de glifosato para as folhas superiores variou de 3,8% a 5,0% entre os biótipos, sem diferenças estatísticas ($p > 0,05$), indicando que a movimentação inicial do herbicida para essas regiões foi baixa e semelhante entre os biótipos. Aos 6 HAT, os valores variaram de 2,7% (LJ23) a 6,1% (LJ08), com LJ08 apresentando uma translocação significativamente maior do que LJ23 ($p = 0,0404$), sugerindo que esse biótipo teve maior eficiência inicial na movimentação do herbicida para as folhas superiores.

A partir de 12 HAT, a translocação aumentou em todos os biótipos, mas não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Os resultados indicam que, nas primeiras 6 HAT, LJ08 apresentou maior translocação do glifosato para folhas superiores em comparação a LJ23. No entanto, a partir de 12 HAT, os biótipos não apresentaram diferenças estatísticas, sugerindo um comportamento semelhante na translocação ao longo do tempo.

Tabela 8. Médias ($\pm$ erro padrão) C14-glifosato translocado acima da folha tratada (% absorvido) em biótipos de *Amaranthus palmeri* colhidos em 1, 6, 12, 24 e 48 horas após tratamento (HAT).

HAT	Acima da folha tratada (% absorvido)							
	J08		J23		LJ08		LJ23	
1	4,8 $\pm$ 0,9	a	3,8 $\pm$ 0,9	a	4,9 $\pm$ 0,9	a	5,0 $\pm$ 1,2	a
6	3,6 $\pm$ 0,7	ab	5,7 $\pm$ 1,1	ab	6,1 $\pm$ 1,3	b	2,7 $\pm$ 0,5	a
12	5,9 $\pm$ 1,1	a	7,2 $\pm$ 1,4	a	6,2 $\pm$ 1,3	a	8,5 $\pm$ 1,6	a
24	5,7 $\pm$ 1,1	a	8,9 $\pm$ 1,7	a	4,0 $\pm$ 0,9	a	8,5 $\pm$ 1,6	a
48	4,3 $\pm$ 1,0	a	8,0 $\pm$ 1,7	a	4,5 $\pm$ 1,5	a	8,5 $\pm$ 2,5	a

Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada HAT não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey HSD a $\alpha = 0,05$.

CONCLUSÕES

1. Doses pelo menos 10 vezes maiores são necessárias para controlar 50% da população de plantas dos biótipos J23 e LJ23 quando comparadas aos valores de ED_{50} de J08 e LJ08.
2. Mesmo os biótipos resistentes (J23 e LJ23) acumulam ácido chiquímico, mas em menor proporção que os biótipos suscetíveis ao glifosato (J08 e LJ08).
3. A absorção e a translocação do herbicida variam entre biótipos de *Amaranthus palmeri* e ao longo do tempo após a aplicação (HAT).

LITERATURA CITADA

- ADERICIGBE, O. R.; EZEKIEL, O. O.; OWOLADE, S. O.; KORESE, J. K.; STURM, B.; HENSEL, O. Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 656-669, 2020.
- NORWAY, P. M.; CAROLINA, S.; DAKOTA, S. *Amaranthus palmeri* S. Watson. **Bulletin OEPP/EPPO Bulletin**, v. 50, n. 3, p. 535-542, 2020.
- ANDRADE JÚNIOR, E. *et al.* Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado de Mato Grosso. **Circular Técnica IMA-MT**, v. 19, p. 1-8, 2015.
- AULAKH, J. S. *et al.* Integrated Palmer amaranth management in glufosinate-resistant cotton: II. Primary, secondary and conservation tillage. **Agronomy**, v. 3, n. 1, p. 28-42, 2013.
- BATES, D., MAECHLER, M., BOLKER, B. *et al.* Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1-48, 2015. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- BECKIE, H. J.; BUSI, R.; BAGAVATHIANNAN, M. V.; MARTIN, S. L. Herbicide resistance gene flow in weeds: under-estimated and under-appreciated. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 283, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2019.06.005.
- BERGER, S. *et al.* Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) identification and documentation of ALS-resistance in Argentina. **Weed Science**, v. 64, p. 312-320, 2016. DOI: 10.1614/WS-D-15-00125.1.
- BONNY, S. Genetically modified glyphosate-tolerant soybean in the USA: adoption factors, impacts and prospects. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, p. 21-32, 2008.
- BURKE, I. C. *et al.* Palmer amaranth interference and seed production in peanut. **Weed Technology**, v. 21, n. 2, p. 367-371, 2007.
- BUSI, R.; VILA-AIUB, M.M.; POWLES, S.B. Genetic control of a cytochrome P450 metabolism-based herbicide resistance mechanism in *Lolium rigidum*. **Heredity**, v.106, n.5, p.817-824, 2011.
- CARVALHO, S. J. P. *et al.* DETECTION OF GLYPHOSATE-RESISTANT PALMER AMARANTH (*Amaranthus palmeri*) IN AGRICULTURAL AREAS OF MATO GROSSO, BRAZIL. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 579–586.
- CHRISTOFFOLETI P. J.; NICOLAI, M. **Associação brasileira de ação à resistência de plantas daninhas aos herbicidas**. 4. ed. ESALQ: Piracicaba, 2016.
- CROMARTIE, T. H., POLGE, N. D. An improved assay for shikimic acid and its use as a monitor for the activity of sulfosate. **Proc. Weed Sci. Soc. Am.** v. 40, n. 291, 2000.

CULPEPPER, A. S. *et al.* Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. **Weed Science**, v. 54, n. 4, p. 620-626, 2006. DOI: 10.1614/WS-06-001R.1.

CULPEPPER, A. Stanley *et al.* Integrating cover crop residue and moldboard plowing into glyphosate-resistant Palmer amaranth management programs. In: Proceedings of the 2010 Beltwide Cotton Conference. Cordova, TN: **National Cotton Council of America**, 2010. p. 1650.

CULPEPPER, A. S. *et al.* Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) increases herbicide use, tillage, and hand-weeding in Georgia cotton. **Weed science**, v. 62, n. 2, p. 393-402, 2014.

CULPEPPER, A. S. *et al.* Integrated Palmer amaranth management in glufosinate-resistant cotton: II. Primary, secondary and conservation tillage. **Agronomy**, v. 3, n. 1, p. 28-42, 2013.

DALAZEN, G., *et al.* Degradation enhancement as the mechanism of resistance to imazethapyr in barnyardgrass. **Planta Daninha**, v.36, 2018.

DE SOUZA RODRIGUES, J. *et al.* Growth Analysis of Glyphosate-Resistant and Susceptible *Amaranthus palmeri* Biotypes. **Plant-Environment Interactions**, v. 5, n. 6, 2024. <https://doi.org/10.1002/pei3.70023>

DÉLYE, Christophe; JASIENIUK, Marie; LE CORRE, Valérie. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. **Trends in Genetics**, v. 29, n. 11, p. 649-658, 2013.

DÉLYE, C., *et al.* Non-target-site-based resistance should be the centre of attention for herbicide resistance research: *Alopecurus myosuroides* as an illustration. **Weed Research**, v.51, n.5, p.433-437, 2011.

DOWLER, C. C. Weed survey - southern states - broadleaf crops subsection. In: Proceedings of the Southern Weed Science Society, 1995, Las Cruces, NM. p. 290-305. **Southern Weed Science Society**, 1995.

FRANCA, Lucas Xavier. Emergence patterns of common waterhemp and Palmer amaranth in southern Illinois. **Emergence**, v. 8, p. 1-2015, 2015.

FRANSSEN, A. S. *et al.* Interspecific hybridization and gene flow of ALS resistance in *Amaranthus* species. **Weed Science**, v. 49, n. 5, p. 598-606, 2001. DOI: 10.1614/0043-1745(2001)049[0598:IHAGFO]2.0.CO;2.

GAINES, Todd A. *et al.* Mechanism of Resistance of Evolved Glyphosate-Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 11, 5886–5889, 2011. <https://doi.org/10.1021/jf104719k>

GAINES, Todd A. *et al.* Mechanisms of evolved herbicide resistance. **Journal of Biological Chemistry**, v. 295, n. 30, p. 10307-10330, 2020.

GHANIZADEH, H.; HARRINGTON, K.C. Non-target Site Mechanisms of Resistance to Herbicides. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.36, n.1, p.24-34, 2017.

GIACOMINI, D. A. *et al.* Two new PPX2 mutations associated with resistance to PPO-inhibiting herbicides in *Amaranthus palmeri*. **Pest Management Science**, v.73, p.1559-1563, 2017.

GREENE, W, M; *et al.* Prevention and control of Palmer amaranth in cotton. **Virginia Cooperative Extension**. 2020. Disponível em: https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/2805/2805-1001/SPES-266.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

GREY, T. L., SHILLING, D. Susceptible and Glyphosate-Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Response to Glyphosate Using C14 as a Tracer: Retention, Uptake, and Translocation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 09, n. 12, p. 2359–2370, 2018. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.912171>

GUO, P.; AL-KHATIB, K. Temperature effects on germination and growth of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*). **Weed Science**, v. 51, n. 6, p. 869-875, 2003. DOI: 10.1614/P2002-127.

HEAP, I. The international herbicide-resistant weed database. fev. 2020. Disponível em: <https://www.weedscience.org>. Acesso em: 15 jan. 2025.

HEAP, I. The international survey of herbicide resistant weeds. [www. weed science.com](http://www.weedscience.com). Accessed February, v. 17, p. 2021, 2021.

HENSLEIGH, P.; POKORNY, M. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Watson). Agronomy Technical Note MT-92. USDA-NRCS, 2017. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/WS/WS-51-W.pdf>.

HESS, M.; *et al.* Uso da escala BBCH estendida - geral para a descrição dos estágios de crescimento de espécies de plantas daninhas mono e dicotiledôneas. **Pesquisa de Plantas Daninhas**. v. 36, n. 6, p. 433–441, 1997. doi: 10.1046/j.1365-3180.1997.d01-70.x

HOTHORN, T., BRETZ, F., WESTFALL, P. Simultaneous Inference in General Parametric Models. **Biometrical Journal**. v. 50, n. 3, p. 346–363, 2008. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>

HOUSTON, Michael M. *et al.* Field evaluation of preemergence and postemergence herbicides for control of protoporphyrinogen oxidase-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Watson). **Weed Technology**, v. 33, n. 4, p. 610-615, 2019.

IPCC. Mudanças climáticas 2021: a base científica para a ação climática global. Genebra: **IPCC**, 2021. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/index.php?idp=211>. Acesso em: 14 jan. 2025.

JHA, P.; NORSWORTHY, J. K. Soybean canopy and tillage effects on emergence of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) from a natural seed bank. **Weed Science**, v. 57, n. 6, p. 644-651, 2009. DOI: 10.1614/WS-09-074.1.

- JHA, P.; NORSWORTHY, J. K.; RILEY, M. B.; BRIDGES, W. Annual changes in temperature and light requirements for germination of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) seeds retrieved from soil. **Weed Science**, v. 58, n. 4, p. 426-432, 2010. DOI: 10.1614/WS-D-09-00038.1.
- JOHNSON, B. Palmer amaranth biology, identification, and management. West Lafayette, IN: **Purdue Extension**, 2013.
- JUGULAM, M. *et al.* Investigation of MCPA (4-chloro-2-ethylphenoxyacetate) resistance in wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.). **J. Agric. Food Chem.**, v.61, n.1, p.12516–12521, 2013.
- KANATAS, Panagiotis *et al.* First report of *Amaranthus palmeri* S. Wats. in cotton, maize and sorghum in Greece and problems with its management. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1721, 2021.
- KEELEY, P. E.; CARTER, C. H.; THULLEN, R. J. Influence of planting date on growth of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Weed Science**, v. 35, n. 2, p. 199-204, 1987. DOI: 10.1017/S0043174500079054.
- KNISS, A. R. Genetically engineered herbicide-resistant crops and herbicide-resistant weed evolution in the United States. **Weed Science**, v. 66, n. 2, p. 260-273, 2018. DOI: 10.1017/wsc.2017.70.
- KISTNER, E. J.; HATFIELD, J. L. Potential geographic distribution of Palmer amaranth under current and future climates. **Agricultural and Environmental Letters**, v. 3, n. 1, p. 170044, 2018. DOI: 10.2134/ael2017.12.0044.
- KLINGAMAN, T. E.; OLIVER, L. R. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) interference in soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**, Champaign, v. 42, n. 4, p. 523–527, 1994.
- KORRES, N. E. *et al.* Seedbank persistence of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) across diverse geographical regions in the United States. **Weed Science**, v. 66, n. 4, p. 446-456, 2018. DOI: 10.1017/wsc.2018.27.
- KÜPPER, A. *et al.* Multiple resistance to glyphosate and acetolactate synthase inhibitors in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) identified in Brazil. **Weed Science**, v. 65, p. 317-326, 2017. DOI: 10.1017/wsc.2017.1.
- KOO, D. *et al.* Extrachromosomal circular DNA-based amplification and transmission of herbicide resistance in crop weed *Amaranthus palmeri*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 13, p. 3332-3337, 2018.
- KUZNETSOVA, A., BROCKHOFF, B. & CHRISTENSEN, H.B. {lmerTest} Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. **Journal of Statistical Software**, v. 82, n. 13, p. 1-26, 2017. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- LEGLEITER, Travis; JOHNSON, Bill. Palmer amaranth: biology, identification, and management. West Lafayette: **Purdue Extension**, 2013. (WS-51-W).

Disponível em: <https://ag.purdue.edu/btny/purdueweedscience/wp-content/uploads/2021/01/WS-51-W.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2025.

LENTH, R. V. Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means [R package emmeans version 1.8.8]. <https://cran.r-project.org/package=emmeans>.

LINDSAY, Karen *et al.* PAM: decision support for long-term Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control. **Weed Technology**, v. 31, n. 6, p. 915-927, 2017.

LLUCH, Romà Senar. *Amaranthus palmeri* S. Watson, primeros datos para la Flora Valenciana. **Flora Montiberica**, n. 87, p. 81-84, 2023.

MACRAE, A. W. *et al.* Cotton yield loss potential in response to length of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) interference. **J Cotton Sci**, v. 17, n. 3, p. 227-32, 2013.

MAHONEY, D. J. *et al.* Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) growth and seed production when in competition with peanut and other crops in North Carolina. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1734, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11091734.

MASSINGA, R. A.; CURRIE, R. S.; HORAK, M. J.; BOYER, J. Interference of Palmer amaranth in corn. **Weed Science**, v. 49, n. 2, p. 202–208, 2001.

MENNAN, H. *et al.* Investigating glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri* biotypes from Turkey. **Phytoparasitica**, v. 49, p. 1043-1052, 2021. DOI: 10.1007/s12600-021-00910-2.

MOLIN, W. T.; PATTERSON, E. L.; SASKI, C. A. Homogeneity among glyphosate-resistant *Amaranthus palmeri* in geographically distant locations. **PLoS ONE**, v. 15, n. 9, p. e0233813, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0233813.

MOLIN, W. T. *et al.* The EccDNA replicon: a heritable, extranuclear vehicle that enables gene amplification and glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. **The Plant Cell**, v. 32, n. 7, p. 2132-2140, 2020.

MOREIRA, G. R. *et al.* Herbicide resistance in *Amaranthus palmeri* in Brazil. In: **Proceedings of the 3rd International Weed Science Congress, 2018, Madrid**. p. 280-281. 2018

MARKUS, C. *et al.* Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. Matologia: Estudos sobre plantas daninhas. Editora **Fábrica da Palavra**, Jaboticabal, p. 324-364, 2021.

NEVE, P.; SMITH, F. P.; DEKKER, M. The evolution of herbicide resistance: challenges, perspectives, and opportunities. **Weed Science**, v. 62, n. 3, p. 441-451, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00175.1>. Acesso em: 17 jan. 2025.

NORSWORTHY, J. K.; JHA, P.; CHANDRA, S. Factors affecting Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) emergence and survival in cotton production systems. **Weed Science**, v. 59, n. 2, p. 235-241, 2011. DOI: 10.1614/WS-D-10-00098.1.

O'BANNON, J. H.; WISEMAN, B. R. Characteristics of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) germination and emergence in Texas. **Weed Science**, v. 29, n. 5, p. 585-589, 1981.

OLIVEIRA, Maxwel C. *et al.* Interspecific and intraspecific transference of metabolism-based mesotrione resistance in dioecious weedy *Amaranthus*. **The Plant Journal**, v. 96, n. 5, p. 1051-1063, 2018.

PADDOCK, R. S. *et al.* Testing the spread of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in no-till soybean in Arkansas. **Field Crops Research**, v. 96, n. 1, p. 47-55, 2006.

PALMA-BAUTISTA, Candelario *et al.* Reduced absorption and impaired translocation endows glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri* harvested in glyphosate-resistant soybean from Argentina. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 4, p. 1052-1060, 2019.

PISKACKOVA, R; *et al.* Windows of action for controlling palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) using emergence and phenology models. **Weed Research**, v. 61, n. 3, p. 188-198, 2021.

PITELLI, R. A.. O TERMO PLANTA-DANINHA. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 622–623, jul. 2015.

POWLES, S. B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annual review of plant biology**, v. 61, n. 1, p. 317-347, 2010.

RITZ, C., STREIBIG, J. C., MEISTER, R. *et al.* (2016). Analysis of Dose-Response curves (T. Sparks & T. Sparks, Eds.) [Book]. <https://cran.r-project.org/web/packages/drc/drc.pdf>

RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

SAUER, J. Recent migration and evolution of the dioecious amaranths. **Evolution**, p. 11-31, 1957.

SAUER, J.. REVISION OF THE DIOECIOUS AMARANTHS. **Madroño**, v. 13, n. 1, p. 5 –46, 1955. <http://www.jstor.org/stable/41422838>

SELLERS, B. A. *et al.* Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. **Weed Science**, v. 51, n. 3, p. 329-333, 2003.

SHAFIQ, M. *et al.* Effects of herbicides on Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control and seed production. **Crop Protection**, v. 40, p. 27-33, 2012. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.02.010.

SMITH, D. T.; BAKER, R. V.; STEELE, G. L. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Impacts on Yield, Harvesting, and Ginning in Dryland Cotton (*Gossypium hirsutum*). **Weed Technology**, v. 14, n. 1, p. 122–126, mar. 2000

SOSNOSKIE, L. M.; CULPEPPER, A. S. Glyphosate-Resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) Increases Herbicide Use, Tillage, and

Hand-Weeding in Georgia Cotton. **Weed Science**, v. 62, n. 2, p. 393–402, jun. 2014.

SOSNOSKIE, L. M. *et al.* Pollen-mediated dispersal of glyphosate-resistance in Palmer amaranth under field conditions. **Weed Science**, v. 60, n. 3, p. 366–373, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00151.1>.

SOSNOSKIE, L. M.; KICHLER, J. M. Cotton yield loss potential in response to length of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) interference. **Journal of Cotton Science**, v. 17, n. 1, p. 227–233, 2013.

SOSNOSKIE, L. M. *et al.* Multiple resistance in Palmer amaranth to glyphosate and pyriithobac confirmed in Georgia. **Weed Science**, v. 59, n. 3, p. 321–325, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00132.1>.

THOMPSON, R.; RICHARDSON, L. Impact of glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri* on crop management practices in the United States. **Weed Technology**, v. 31, n. 6, p. 794–803, 2017.

VOLD, G.; MARTIN, D.; GUILLEMOT, J.; *et al.* Description of the CNRM-CM5 climate model. **Centre National de Recherches Météorologiques** (CNRM). 2011. Available at: <https://www.cnrn.meteo.fr>. Accessed on: 24 Jan. 2025.

WARD, S. M., THEODORE M. W.; L. E. STECKEL, 'Palmer Amaranth (*Amaranthus Palmeri*): A Review', **Weed Technology**, v. 27, p. 12–27 (2013), <<http://dx.doi.org/10.1614/WT-D-12-00113.1>

WARFEL, J. *et al.* Impact of cultural practices on Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) population dynamics in a cotton cropping system. **Weed Technology**, v. 22, n. 3, p. 517–525, 2008.

WHITAKER, Jared R. *et al.* Physiology of Glyphosate-Resistant and Glyphosate-Susceptible Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Biotypes Collected from North Carolina. **International journal of agronomy**, v. 2013, n. 1, p. 429–494, 2013.

WEBSTER, T. M.; NICHOLS, R. L. Changes in the prevalence of weed species in the major agronomic crops of the Southern United States: 1994/1995 to 2008/2009. **Weed Science**, v. 60, p. 145–157, 2012

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Home. Weed Science Society of America. Available at: <https://weedscience.org/Home.aspx>. Accessed on: 24 Jan. 2025.

YU, Q.; FLORANCE, E. R.; BECKIE, H. J.; POWELL, M. The evolution of herbicide resistance in weeds. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 9, p. 537–548, 2011.

YUAN, J. S.; TRANEL, P. J.; STEWART, C. N. Non-target-site herbicide resistance: a family business. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 1, p. 6–13, 2007.

YU, Q. *et al.* Distinct non-target site mechanisms endow resistance to glyphosate, ACCase and ALS-inhibiting herbicides in multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum*. **Planta**, v. 230, n. 4, p. 713-723, 2009.

YASUOR, H., *et al.* Mechanism of resistance to penoxsulam in late watergrass *Echinochloa phyllopogon* (stapf) koss. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, 364 n.9, p.3653-3660, 2009.