Interação entre estádio e tolerância de *Borreria verticillata* L. ao glyphosate

Karla Cristina Guimarães Cabral dos Santos[1], Pedro Delefrate Neto[1], Gabryel Rodrigues Pereira da Silva[1], Brunna de Carvalho Caetano[1], Luiz Felipe Oliveira Silva[1], Matheus de Freitas Souza[2]

[1]Universidade de Rio Verde, Faculdade de Agronomia, bolsista de iniciação científica – PIBIC.
[2]Professor da Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde, matheusfreitas@unirv.edu.br.

.

Reitor:
Prof. Dr. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:
Profa. Dra. Ana Paula Fontana
Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia
Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob
Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

Resumo: Muitas vezes, a tolerância das espécies também está associada ao estádio de desenvolvimento da planta daninha quando houve a aplicação do herbicida. Levantamos a hipótese que o estádio desenvolvimento eleva o mecanismo de tolerância de *Borreria verticillata* L. (vassourinha-de-botão) ao herbicida glyphosate devido ao metabolismo diferencial. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4x2x3+1. O primeiro fator foi composto pelos estádios de desenvolvimento da *B. verticillata* (2 pares de folhas, 4 pares de folhas, 6-8 pares de folhas e pleno florescimento). O segundo fator foi composto por duas doses do herbicida glyphosate (1440 e 2800 ia. ha-1). O terceiro fator foram as épocas de coletas da parte aérea das plantas de *B. verticillata* 24, 48 e 72 horas após a aplicação do glyphosate. Além disso, um controle adicional foi adicionado. As variáveis avaliadas foram a concentração de glyphosate e ácido aminometilfosfônico (AMPA). As folhas de *B. verticillata* foram coletadas após a aplicação do glyphosate. As coletas foram realizadas em 3 épocas distintas, às 24, 48 e 72 horas após a aplicação. A porcentagem de controle também foi avaliada 28 dias após a aplicação. Os resultados evidenciam que a eficácia do glyphosate varia com o estágio fenológico, sendo mais acentuada nas fases iniciais de desenvolvimento. A metabolização do glyphosate é mais rápida no florescimento, alcançado valores iguais a zero 72 horas após sua aplicação. Esse comportamento sugere uma adaptação da planta para resistir ao herbicida através da dissipação das concentrações do herbicida.

Palavras-Chave: Adaptação de plantas daninhas. Resposta metabólica. Eficiência de herbicidas.

Interaction between Developmental Stage and Tolerance of Borreria verticillata L. to Glyphosate

Abstract: *Species tolerance is often associated with the developmental stage of the weed at the time of herbicide application. We hypothesize that the developmental stage enhances the tolerance mechanism of Borreria verticillata L. (buttonweed) to the herbicide glyphosate due to differential metabolism. The experiment was conducted in a greenhouse under a completely randomized design, using a 4x2x3 factorial scheme. The first factor consisted of the developmental stages of B. verticillata (2 leaf pairs, 4 leaf pairs, 6-8 leaf pairs, and full flowering). The second factor consisted of two doses of the herbicide glyphosate (1440 and 2800 a.i. ha-1). The third factor was the timing of aerial part collection from B. verticillata plants, at 24, 48, and 72 hours after glyphosate application. A control treatment (without herbicide application) was added. The variables evaluated were the concentrations of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA). B. verticillata leaves were collected after glyphosate application, with collections performed at three distinct times: 24, 48, and 72 hours post-application. Control percentage was also assessed 28 days after application. The results demonstrate that glyphosate efficacy varies with phenological stage, being more pronounced in the early stages of development. Glyphosate metabolism is faster at flowering, reaching zero values 72 hours after application. This behavior suggests an adaptation of the plant to resist the herbicide by dissipating herbicide concentrations.*

Keywords: *Weed adaptation. Herbicide efficacy. Metabolic response.*

Introdução

O conceito de plantas daninhas abrange todas as espécies que interferem no crescimento das plantas cultivadas, tornando-se persistentes e impactando negativamente a agricultura e outras atividades humanas (Christoffoleti & Carvalho, 2009). Essas espécies têm a habilidade de se desenvolver em condições adversas, como solos secos ou encharcados, temperaturas extremas e diferentes tipos de solos, mostrando grande capacidade de adaptação e resistência (Martins et al., 2008). Além disso, possuem mecanismos eficientes de reprodução e dispersão de sementes, que garantem sua permanência e disseminação em áreas agrícolas. A introdução da soja geneticamente modificada resistente ao glyphosate, por sua vez, aumentou significativamente o uso desse herbicida, o que elevou a pressão de seleção para a resistência em várias espécies daninhas, incluindo o capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e a buva (*Conyza* spp.), especialmente no sul do Brasil e na região do Cerrado (Oliveira Jr. et al., 2009).

A *Borreria verticillata* L., conhecida como vassourinha-de-botão, tem emergido como um desafio no Cerrado, devido à sua tolerância crescente ao glyphosate observada em algumas propriedades. Esta planta, que possui ciclo de vida perene e um sistema radicular extenso, se adapta a diversas condições ambientais, como margens de estradas, pastagens e áreas agrícolas, com capacidade de crescimento em diferentes tipos de solo e sob variadas condições de luminosidade (Fadin et al., 2019). Estudos mostram que esta espécie cresce rapidamente, com um sistema radicular vigoroso, competindo eficientemente com culturas agrícolas. Essa planta produz grande quantidade de sementes viáveis, estimando-se cerca de 93.090 sementes por planta, o que contribui para sua propagação rápida e abundante (Martins et al., 2008).

A eficácia dos herbicidas, como o glyphosate, no controle de plantas daninhas como a *B. verticillata* está diretamente relacionada ao estádio fenológico em que a planta se encontra. Em estádios vegetativos iniciais, o controle tende a ser mais eficiente, enquanto em estádios reprodutivos, a eficácia é reduzida. Isso ocorre devido a alterações estruturais nas plantas, como o espessamento das células epidérmicas, que reduz a absorção do herbicida (Gaines et al., 2019). Nesse contexto, entender a diferença entre plantas susceptíveis, tolerantes e resistentes é crucial: uma planta susceptível é efetivamente controlada pelo herbicida, enquanto uma planta tolerante ou difícil de controlar sobrevive ao tratamento, e uma planta resistente é geneticamente adaptada para resistir a doses que normalmente seriam letais (Gaines et al., 2019).

O uso repetitivo de herbicidas como o glyphosate em plantas tolerantes pode levar ao surgimento de resistência, um processo em que a pressão de seleção natural favorece biótipos adaptados. Esse problema é multifacetado, influenciando diretamente a produtividade agrícola e a segurança alimentar, além de representar um risco ambiental e econômico (Ferreita et al., 2006). Para minimizar a seleção de biótipos resistentes, é essencial desenvolver estratégias de manejo alternativas e compreender

profundamente os mecanismos que sustentam a tolerância e resistência das plantas daninhas aos herbicidas. Assim, este estudo visa investigar se existe interação entre o estádio fenológico e a tolerância da *B. verticillata* L. ao glyphosate e se a metabolização é um dos processos envolvidos nessa tolerância.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido em casa de vegetação da Universidade de Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil. Foram mantidas as seguintes condições da casa de vegetação: 30°C ± 3ºC de temperatura, 80% de umidade relativa e irrigação diária, visando a manutenção da umidade satisfatória do solo.

A espécie vegetal utilizada no presente estudo foi cultivada em vasos plásticos preenchidos com solo. As sementes de vassourinha-de-botão foram coletadas na estação experimental da empresa "Syngenta Proteção de Cultivos Ltda." de Lucas do Rio Verde-MT e semeadas separadamente nos vasos, sendo conduzidas três plantas por vaso durante os experimentos.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4x2x3. O primeiro fator foi composto pelos estádios de desenvolvimento da *B. verticillata* (2 pares de folhas, 4 pares de folhas, 6-8 pares de folhas e pleno florescimento). O segundo fator foi composto por duas doses do herbicida glyphosate (1440 e 2800 ia. ha-1). O terceiro fator foram as épocas de coletas da parte aérea das plantas de *B. verticillata* 24, 48 e 72 horas após a aplicação do glyphosate. Além disso, um controle adicional foi adicionado. As variáveis avaliadas foram: concentração de glyphosate e ácido aminometilfosfônico (AMPA) na parte aérea. A porcentagem de controle de *B. verticillata* foi realizada aosn 28 dias, considerando a escala visual com notas percentuais, onde 0% significa ausência de sintomas e 100% morte total das plantas. A análise dos dados foi realizada por meio da utilização do software Rstudio®. Para a análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e quando constatado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p-valor < 0,05).

Resultados e Discussão

A aplicação e glyphosate na dose equivalente a 2.880 g i.a ha^{-1} *foi eficiente para o controle de B. verticillata* nos estádios iniciais de desenvolvimento, proporcionando uma eficácia acima de 80% para plantas com até 6-8 pares de folhas. No entanto, no florescimento, as plantas de *B. verticillata* demostraram alta tolerância ao glyphosate, independente da dose, não exibindo nenhuma sintoma visível devido a aplicação do herbicida (Figura 1). Para os estádios com 2 e 4 pares de folhas, ambas as doses controlaram a *B. verticillata*, alcançando um nível de controle acima de 95% (Figura 1).

Figura 1 – Intoxicação de *Borreria verticillata* L. em diferentes estádios de desenvolvimento aos 28 dias após a aplicação de glyphosate após a aplicação de glyphosate nas doses de 1.440 e 2.880 g i.a ha^{-1}.

A concentração de glyphosate na parte aérea das plantas de *B. verticillata* foi reduzida horas após a aplicação do herbicida para todas os estádios fenológicos da *B. verticillata* e dose aplicada. No estádio de florescimento, traços de glyphosate não foram detectados a partir de 48 horas após a aplicação do herbicida (Figura 2). As reduções médias na concentração de glyphosate entre os períodos de 24 à 72 horas foram iguais a 57 e 70% para doses aplicadas de 1440 e 2880 g ha-1, respectivamente.

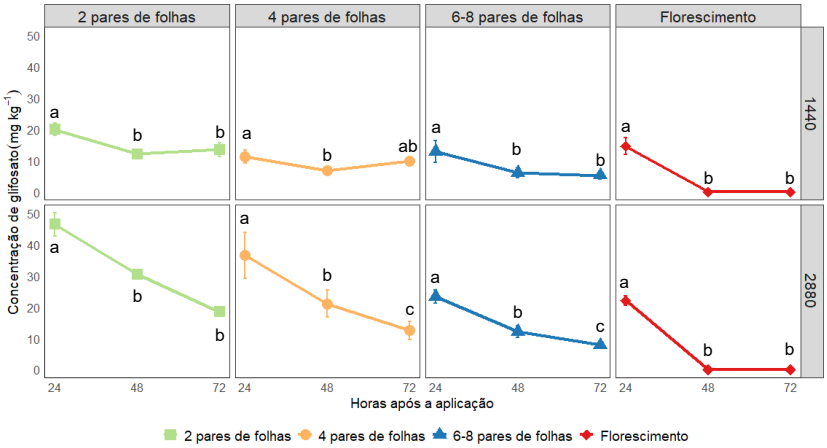

Figura 2 – Concentração de glyphosate (mg kg^{-1}) na parte aérea de *Borreria verticillata* L. 24, 48 e 72 horas da aplicação das doses de 1.440 e 2.880 g de i.a ha^{-1} de glyphosate em plantas com diferentes estádios fenológicos. Letras minúsculas diferem as médias referentes aos intervalos de avaliação após a aplicação dentro de cada estádio e dose pelo teste Tukey p-valor < 0,05.

As diferenças para as concentrações de glyphosate quantificadas na parte aérea das plantas de *B. verticillata*, em ambas doses de herbicida aplicado, revelam fatos importantes sobre a correlação entre a tolerância dessa espécie ao glyphosate e o estágio de desenvolvimento da planta. A menor

concentração de glyphosate quantificada em estágios fenológicos mais avançados sugerem que a *B. verticillata* reduziu a quantidade de herbicida absorvido a partir das folhas. Fadin et al. (2018) observou que um biótipo de *B. verticillata* com baixa eficácia de controle pelo glyphosate demostrou menor absorção e translocação do herbicida. Porém, esses mesmos autores não obtiveram evidências suficientes para correlacionar o estádio de fenológico dessa espécie com a absorção e translocação do glyphosate ou a eficácia de controle. Nossos resultados indicam que essa correlação existe.

Conclusão

A aplicação de glyphosate é eficaz para o controle de *Borreria verticillata* L. em estádios iniciais, porém, no florescimento, a espécie demonstra alta tolerância ao herbicida. A redução da concentração de glyphosate em estádios avançados sugere que o metabolismo diferencial contribui para essa tolerância, destacando a importância de considerar o estágio de desenvolvimento no manejo eficaz dessa planta daninha.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa de iniciação científica cedida ao primeiro autor, a Pró-reitora de Pesquisa e Inovação e Pró-reitoria de Pós-Graduação da UniRV pelo suporte financeiro para condução do trabalho.

Referências Bibliográficas

Christoffoleti, Pedro Jacob; CARVALHO, Saul Jorge Pinto de. Adaptadas, espécies infestantes resistem a herbicidas. **Visão agrícola**, v. 6, n. 9, p. 123-125, 2009.

MARTINS, B. A. B. et al. Germinação de *Borreria densiflora* var. latifolia sob condições controladas de luz e temperatura. **Planta Daninha**, v. 28, p. 301-307, 2010.

Oliveira Junior, R. S., Constantin, J., Braz, G. B. P., de Campos Jumes, T. M., de Oliveira Neto, A. M. Aspectos da biologia de *Digitaria insularis* resistente ao glyphosate e implicações para o seu controle. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 11(2), 231-240, 2012.

Fadin, D. A., Tornisielo, V. L., Barroso, A. A. M., Ramos, S., Dos Reis, F. C., & Monquero, P. A. Absorption and translocation of glyphosate in *Spermacoce verticillata* and alternative herbicide control. **Weed research**, 58(5), 389-396, 2018.

Fadin, D. A.; MONQUERO, P. A. Leaf characterization of *Spermacoce verticillata* at three stages of development. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 5, p. 792-797, 2019.Ferreira, E. A. et al. Translocação do glyphosate em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*). **Planta Daninha**, v. 24, p. 365-370, 2006.

Gaines, Todd A.; PATTERSON, Eric L.; NEVE, Paul. Molecular mechanisms of adaptive evolution revealed by global selection for glyphosate resistance. **New Phytologist**, v. 223, n. 4, p. 1770-1775, 2019.