



MORTE ANUNCIADA? INVESTIGANDO O EFEITO DO GLIFOSATO EM CUPINS DO CERRADO

Carlos Eduardo Bento Barbosa 1, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado, UEG/CET, carloskun.ce@gmail.com

Natalia Vieira da Fonseca 2, Graduação em Agronomia, UNIFAMA, nataliavieiradf@gmail.com

Débora Paula Lucena Rodrigues 3, Graduação em Agronomia, UNIFAMA, debyluc98@gmail.com

Hélida Ferreira da Cunha 4, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado, UEG/CET, cunhahf@ueg.br

Resumo: O glifosato é um herbicida amplamente utilizado na agricultura, cuja ação em organismos não-alvo tem sido motivo de preocupação ambiental. Este estudo investigou os efeitos tóxicos de diferentes formulações comerciais de glifosato (Roundup®, Xequê-mate® e Zapp®), aplicadas em cinco concentrações (0%, 50%, 100%, 150% e 200%), sobre a sobrevivência de operários do cupim *Cornitermes silvestrii*, espécie comum no Cerrado goiano. Os indivíduos foram expostos a substratos contaminados em condições controladas, sendo monitorados continuamente até atingirem 50% de mortalidade. A análise de sobrevivência, com base na distribuição de Weibull, demonstrou que o aumento da concentração dos herbicidas reduziu significativamente o tempo de vida dos cupins ($p = 0,031$), sendo o produto Xequê-mate® o mais tóxico em todas as concentrações testadas. Os resultados reforçam o potencial impacto do glifosato sobre organismos edáficos benéficos e destacam a importância de ampliar os estudos toxicológicos com análises químicas e citogenéticas complementares.

Palavras-chave: *Cornitermes silvestrii*; herbicidas; sobrevivência.

INTRODUÇÃO

Desde sua introdução no mercado o glifosato é amplamente utilizado, Maggi (2020) observa que, apesar da baixa contaminação detectada na maioria das áreas agrícolas onde o glifosato é empregado, cerca de 1% dessas áreas estão sob risco de contaminação média-alta a alta. Cenário esse preocupante quando se consideram organismos não-alvo, como os cupins.

Os cupins são agentes biológicos comumente encontrados no estado de Goiás, principalmente em pastagens e no Cerrado, estes desempenham papel importante na natureza. Esses insetos contribuem para a decomposição de matéria orgânica, o ciclo de nutrientes e a melhoria da estrutura do solo (Jones et al., 2019; Costa et al., 2019).

O hábito de forrageamento dos cupins operários aumenta a porosidade, aeração e umidade do solo ao construir túneis e galerias. No entanto, de acordo com Loeck e Nakano (1988), operários de *Cornitermes cumulans* expostos a resíduos de inseticidas no solo apresentaram alterações comportamentais, como diminuição das atividades e agrupamento, indicando uma possível ação repelente dos compostos químicos.

Dessa forma, este estudo tem como intuito analisar a influência de diferentes concentrações de herbicidas comerciais (Roundup®, Xequê-mate®, Zapp®) na de sobrevivência dos cupins. Além de investigar possíveis diferenças de toxicidade nas concentrações das formulações de glifosato, contribuindo para a compreensão dos impactos de herbicidas em organismos não-alvo.

MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas de amostras de cupins operários, para o bioensaio, foram feitas em ninho de *Cornitermes silvestrii*, na Unidade de Conservação da universidade encontra-se localizada nas coordenadas 16°22'57"S, 48°56'41"W, elevação 1.084,18 m. Para a coleta, foram utilizadas

ferramentas como picola, picareta, enxada e pá. Após contagem e coleta dos operários dos fragmentos dos ninhos eles foram acondicionados em uma estufa com temperatura constante ($25^{\circ}\text{C} \pm 0.5$).

O experimento seguiu um delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial 5×3 , compreendendo cinco tratamentos com diferentes concentrações de diferentes nomes comerciais do herbicida glifosato, em conformidade com as recomendações para uso em lavouras, segundo Anvisa e bula do produto (Roundup[®]: 1,5 L.ha⁻¹; Zapp[®]: 3,0 L.ha⁻¹; Xeque Mate[®]: 3,0 L.ha⁻¹). (Figura 1).

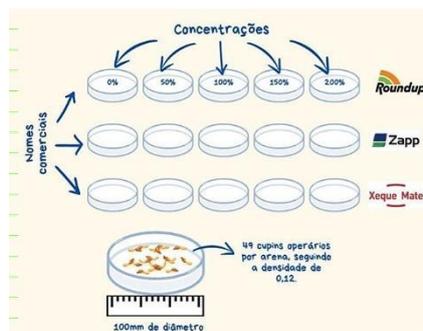


Figura 1 – Esquema representativo do delineamento experimental. Fonte: Autoria própria (2024)

Para os três nomes comerciais foram preparadas soluções diluídas em água destilada. Após a areia (limpa e descontaminada via autoclave) ser adicionada nas placas de Petri, foi umedecida com água. Todos os operários pertencentes ao mesmo ninho foram confinados seguindo a densidade de 0.120, que garante a máxima sobrevivência dos indivíduos, conforme a Equação 1 (Miramontes & DeSouza, 1996).

Equação 1:

$$d = \frac{N \cdot (Ac)}{Ap}$$

d = densidade ótima dos cupins (indivíduos por mm^2)

N = número de indivíduos

Ac = Área de ocupação por indivíduo (mm^2)

Ap = Área da placa de Petri (mm^2)

Os indivíduos foram acondicionados nas arenas que receberam um volume de 240 μL (por arena) do contaminante e sua inserção foi realizada diretamente na areia, sem contato direto com os cupins operários. As arenas foram tampadas com a tampa de vidro, da própria placa e, logo após, acondicionadas em uma estufa incubadora BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio) com temperatura constante ($25^{\circ}\text{C} \pm 0.5$) e fotoperíodo escuro.

A cada hora os operários foram contabilizados em vivos e mortos (destacando quantas horas ficaram vivos) e quando chegou-se a 50% da população de cada arena, foram retirados e contabilizados novamente, gerando a variável mortalidade.

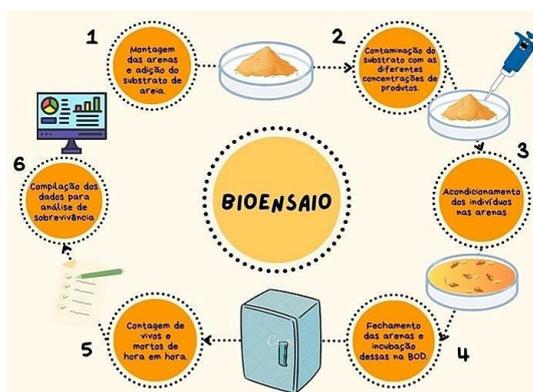


Figura 2 – Esquema representativo do fluxo de trabalho realizado no bioensaio. Fonte: Autoria própria (2024)

Os dados foram submetidos a análise de sobrevivência sob distribuição de *Weibull* para se estimar o tempo médio para morte (o momento em que restavam vivos apenas 50% dos indivíduos) dos operários confinados na incubadora. Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote survival (THERNEAU, 2023) do ambiente R (R Core Team, 2023).

RESULTADOS

Foi realizada uma análise descritiva e exploratória da mortalidade (%) e do tempo médio de sobrevivência (h) dos cupins contaminados. Os resultados variaram conforme os tratamentos e concentrações testadas, sendo estes apresentados a seguir de forma decrescente à maior toxicidade.

O tratamento com Zapp®, na concentração de 200% levou a uma sobrevivência média de 5,6h ± 4,07h, com alta variabilidade na concentração de 50% (± 4,86h) (Tabela 1). Já o Roundup®, a mortalidade foi de 26,67% na concentração 0% e chegou a 100% na concentração 200%. O Xequemate®, para a concentração de 150% tempo médio de sobrevivência 9,4h ± 3,07h (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise descritiva e exploratória dos diferentes nomes comerciais de herbicidas à base de glifosato e das diferentes concentrações aplicadas nos cupins operários.

Concentrações (%)	Roundup®			Xequemate®			Zapp®		
	Mort. (%)	Tempo (h)	DP ±(h)	Mort. (%)	Tempo (h)	DP ±(h)	Mort. (%)	Tempo (h)	DP ±(h)
0	26,67	11,27	1,33	26,67	11,27	1,33	26,67	11,27	1,33
50	40,00	10,67	2,19	46,67	10,27	2,19	46,67	8,00	4,86
100	80,00	7,47	3,04	40,00	10,93	1,67	53,33	9,87	2,77
150	60,00	9,53	3,16	60,00	9,40	3,07	53,33	10,00	2,33
200	100,00	5,60	3,31	46,67	9,80	2,96	80,00	5,60	4,07

Mort. = Taxa de mortalidade em porcentagem dos cupins operários; DP = Desvio padrão do tempo médio em horas. Fonte: O próprio autor (2024)

Foi feita também, uma análise de sobrevivência que indicou que a concentração dos herbicidas é um fator determinante na mortalidade dos cupins operários ($p = 0,031$). À medida que a concentração aumentou, o tempo de vida dos cupins diminuiu. Entre os tratamentos, o herbicida Xequemate® apresentou os menores tempos médios de sobrevivência em todas as concentrações, sendo significativamente mais tóxico que Roundup® e Zapp® (Figura 3C).

Para visualizar o impacto dos herbicidas e suas concentrações, foram construídos gráficos de Kaplan-Meier de sobrevivência e de taxa de mortalidade (Figura 3).

As Figuras 3A, 3B e 3C mostram que, independentemente do herbicida, a probabilidade de sobrevivência diminui com o tempo e com o aumento da concentração. No entanto, o Xequemate® se destaca por apresentar uma mortalidade mais rápida e acentuada, especialmente nas concentrações de 150% e 200%, com uma queda abrupta na sobrevivência.

O Roundup® também demonstrou mortalidade significativa em altas concentrações, mas com uma curva de declínio mais gradual, sugerindo toxicidade intermediária. Já o Zapp® apresentou uma resposta mais lenta e menos acentuada, com curvas de mortalidade mais suaves, principalmente nas concentrações de 50% e 100%.

A Figura 3D, que combina todos os tratamentos, evidencia essas diferenças: o Xequemate® teve padrão de mortalidade acelerado a partir das 9 horas de experimento, enquanto Roundup® e Zapp® mostraram um declínio mais lento. De forma geral, os gráficos confirmam que todas as formulações testadas aumentam a mortalidade dos cupins operários à medida que a concentração do herbicida cresce.

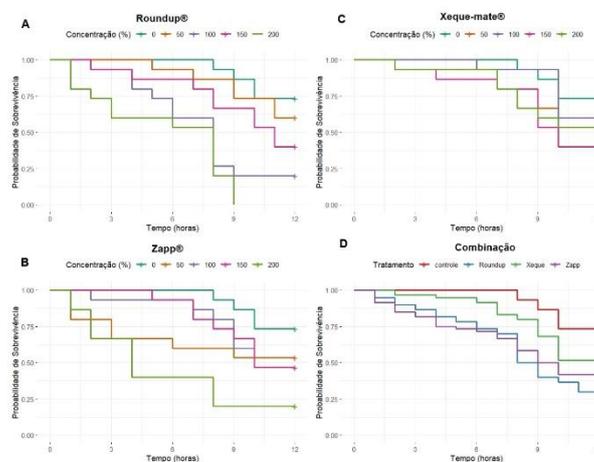


Figura 3 - Curvas de Sobrevivência de Kaplan-Meier demonstrando a probabilidade de sobrevivência de cupins em função do tempo (horas) para diferentes herbicidas e concentrações. A: Curvas de sobrevivência para o herbicida Roundup® nas concentrações de 0% (controle), 50%, 100%, 150% e 200%. B: Curvas de sobrevivência para o herbicida Zapp® nas mesmas concentrações. C: Curvas de sobrevivência para o herbicida Xequemate®, seguindo o mesmo padrão de concentrações. D: Curvas de sobrevivência combinadas dos diferentes herbicidas (controle, Roundup®, Xequemate®, e Zapp®) em todas as concentrações. Fonte: O próprio autor (2024)

DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho evidenciam que a exposição dos operários de *Cornitermes silvestrii* a diferentes formulações comerciais de glifosato compromete significativamente sua sobrevivência, sendo a concentração do produto um fator determinante para o aumento da mortalidade ($p = 0,031$). Dentre os herbicidas avaliados, o Xequemate® apresentou os menores tempos médios de sobrevivência em todas as concentrações testadas, o que sugere uma maior toxicidade quando comparado às demais formulações. Esses dados reforçam a hipótese de que

o glifosato, mesmo sob diferentes composições comerciais, pode representar um risco relevante a organismos não-alvo que desempenham funções ecológicas no solo.

Sob a perspectiva ecológica, os cupins exercem papel fundamental na dinâmica dos solos do Cerrado, atuando na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na manutenção da estrutura física do solo (Jones et al., 2019). A redução significativa da sobrevivência dos operários observada neste estudo evidencia que a exposição a herbicidas à base de glifosato pode comprometer diretamente esses processos ecossistêmicos. Os resultados obtidos também se alinham a estudos anteriores que demonstraram a sensibilidade de insetos sociais a agrotóxicos. Em abelhas *Apis mellifera*, por exemplo, doses subletais de glifosato afetaram comportamentos essenciais, como navegação e aprendizagem, além de reduzir a sobrevivência (Lunardi, 2022).

A robustez do experimento também é demonstrada pelos resultados do grupo controle, que apresentou os maiores tempos médios de sobrevivência, confirmando que os efeitos observados são atribuíveis à ação dos herbicidas. Comparativamente, trabalhos como o de Cristaldo et al. (2016), conduzidos sem a presença de xenobióticos, reportaram taxas de mortalidade significativamente inferiores, o que sustenta a associação direta entre os produtos testados e os efeitos tóxicos registrados.

Apesar dos avanços alcançados, este estudo apresenta limitações no que se refere à caracterização química das formulações utilizadas, o que dificulta a identificação de compostos específicos ou adjuvantes que possam ter intensificado os efeitos observados. Investigações futuras devem considerar técnicas analíticas, como a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS), para elucidar a composição real dos produtos comerciais. Complementarmente, testes genotóxicos como o ensaio cometa e o teste do micronúcleo podem contribuir para avaliar danos celulares e mutagênicos decorrentes da exposição.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostram que os herbicidas afetam a sobrevivência dos cupins *Cornitermes silvestrii* operários, independentemente do nome comercial ou da formulação.

Embora as análises não tenham apontado diferenças significativas entre os produtos, o Roundup® demonstrou maior toxicidade em concentrações elevadas, devido sua rápida translocação.

Sugere-se novas análises químicas (cromatografia) e biológicas microscópicas (micronúcleo e cometa).

AGRADECIMENTOS

FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás), UEG (Universidade Estadual de Goiás) e UNIFAMA (Centro Universitário FAMA).

REFERÊNCIAS

CRISTALDO, P. F. et al. A new approach to mark termites (*Cornitermes cumulans*) for behavioral studies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 23, n. 14, p. 14461–14467, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6622-3>.

JONES, S.; DAVIDSON, J.; DUNLOP, M. J. The ecosystem consequences of termite activity in tropical ecosystems. *Ecological Entomology*, v. 44, n. 3, p. 301–310, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1111/een.12703>.

LOECK, A. E.; NAKANO, O. Utilização de operárias do cupim *Cornitermes cumulans* como bioindicador de resíduos de inseticidas no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 23, n. 9, p. 993–999, 1988.

LUNARDI, L. D. Resíduo de glifosato em mel e abelhas africanizadas em condições de campo. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2022.

MAGGI, F. et al. The global environmental hazard of glyphosate use. *Science of the Total Environment*, v. 717, p. 137167, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137167>.

MIRAMONTES, O.; DESOUZA, O. Individual basis for collective behavior in the termite *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Termitidae). *Journal of Theoretical Biology*, v. 181, n. 4, p. 373–380, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1006/jtbi.1996.0138>.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

THERNEAU, T. M. *A package for survival analysis in R*. 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=survival>.

ZILNIK, G. et al. Meta-Analysis of Herbicide Non-Target Effects on Pest Natural Enemies. *Insects*, v. 14, n. 10, p. 787, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects14100787>.