

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA MEDIR A LOCOMOÇÃO DE COLÊMBOLOS: UMA FERRAMENTA COMPLEMENTAR EM ENSAIOS DE COMPORTAMENTO DE FUGA

SIMONE ZAPPE^{1,2*}, FELIPE OGLIARI BANDEIRA³, JÉSSICA KAROLAYNE TINA⁴, WILLIAM GERSON MATIAS⁵, LUANA NARDI⁶, GISELE ORSO⁷, ANDRÉ PERUCHI⁸, GUSTAVO PICCOLOTTO DA ROZA⁹, PAULO ROGER LOPES ALVES^{2,10}

1 Introdução

Os impactos de agrotóxicos no comportamento de colêmbolos têm sido avaliados, principalmente, pelo ensaio de comportamento de evitação padronizado ISO 17512-2 (ISO, 2011). Entretanto, há casos em que não se observa fuga, mesmo em concentrações com efeitos tóxicos conhecidos, caracterizando falsos negativos (Guimarães *et al.*, 2019). Tais resultados podem estar relacionados à paralisia neuromuscular induzida por pesticidas inibidores de sinapses, impedindo a fuga (Pereira *et al.*, 2013).

O uso exclusivo desse ensaio para avaliar respostas a agrotóxicos neurotóxicos tem sido criticado, pois compostos que causam paralisia podem distorcer a avaliação de risco (Bicho *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2013). Como alternativa, parâmetros de locomoção, como distância percorrida, taxa de viragem e velocidade, mostram-se mais sensíveis aos pesticidas (Engenheiro *et al.*, 2005; Szabó *et al.*, 2020). Contudo, as técnicas utilizadas para essa mensuração podem ser imprecisas (Pereira *et al.*, 2013), além de não haver uma padronização, dificultando a comparação entre estudos (Pereira *et al.*, 2013; Szabó *et al.*, 2018). Isso evidencia a necessidade

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Chapecó*, contato: simone.zappe@estudante.uffs.edu.br

² Grupo de Pesquisa: Núcleo de Estudos em Fitossanidade (NEFIT)

³ Doutor em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, *campus Florianópolis*,

⁴ Graduada em Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Chapecó*,

⁵ Docente da Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, *campus Florianópolis*,

⁶ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Chapecó*,

⁷ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Chapecó*,

⁸ Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Chapecó*,

⁹ Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Chapecó*,

¹⁰ Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, **Orientador**.

de um método rápido, de baixo custo e padronizado para quantificar de forma reprodutível os efeitos de poluentes na locomoção de colêmbolos.

2 Objetivos

Desenvolver uma metodologia baseada na locomoção para avaliar o comportamento de colêmbolos *Folsomia candida* em solos contaminados, buscando: (i) verificar o comportamento dos colêmbolos em solos contendo imidacloprid e fipronil; (ii) analisar os efeitos desses compostos sobre a locomoção; e (iii) relacionar alterações locomotoras às respostas de evitação ou preferência.

3 Metodologia

A metodologia para avaliar a locomoção de *Folsomia candida* envolveu duas etapas: verificação da evitação do solo tratado com imidacloprid e fipronil, seguida da análise da influência desses compostos sobre a locomoção dos organismos.

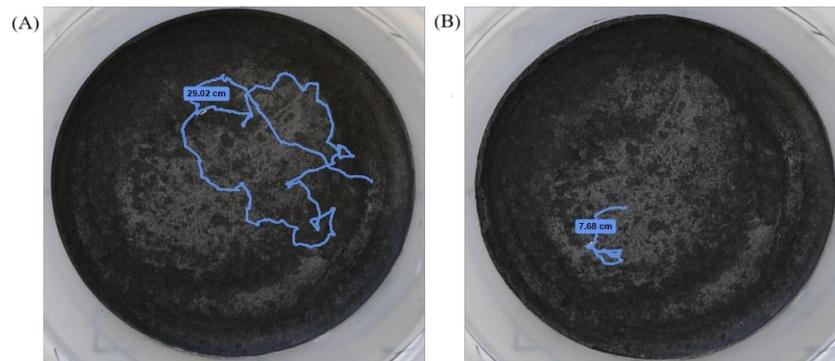
Os colêmbolos *F. candida* foram mantidos conforme a ISO 11267 (ISO, 2014), sob temperatura de 20 ± 2 °C e fotoperíodo 12:12 h, alimentados com *Saccharomyces cerevisiae*. O solo (Neossolo Quartzarênico), sem histórico de pesticidas, foi peneirado, seco ao ar, desfaunado e caracterizado quanto a parâmetros físico-químicos (Bandeira *et al.*, 2022). Realizaram-se testes individuais com imidacloprid (Much 600 FS®), e fipronil (Shelter®). Avaliaram-se as concentrações de 0 (controle), 1, 2, 4, 8 e 16 mg de ingrediente ativo (i.a.) kg⁻¹ de cada solo seco, com umidade ajustada a 60% da capacidade de retenção de água (CRA).

Os testes de fuga seguiram a ISO 17512-2 (ISO, 2011), utilizando recipientes cilíndricos com solo controle e tratado, além de controle duplo, com cinco repetições por concentração. Cada unidade experimental recebeu 20 colêmbolos sincronizados (20–22 dias). Após 48 h, os organismos que emergiram foram realocados em placas de carvão/gesso e, posteriormente, dez indivíduos por concentração foram registrados (individualmente) em vídeo por um minuto para análise de locomoção com o software Kinovea®, permitindo calcular a distância percorrida (Figura 1).

A porcentagem de fuga (A) foi calculada seguindo a seguinte equação: $A = [(C - T) / (C + T)] \times 100$, onde C representa o número de colêmbolos encontrados no solo controle e T, o número no solo contaminado. A normalidade e homocedasticidade dos dados de locomoção foram testadas (Kolmogorov-Smirnov e Bartlett). Com as premissas atendidas, aplicou-se

ANOVA unidirecional ($p < 0,05$), seguida do teste de Dunnett (software Statistica 13.0), para comparar a distância média de caminhada entre controles e tratamentos.

Figura 1. Exemplo do procedimento de medição da trajetória de locomoção individual de *F. candida* por meio do software Kinovea®. (A) grupo controle; (B) grupo contaminado.

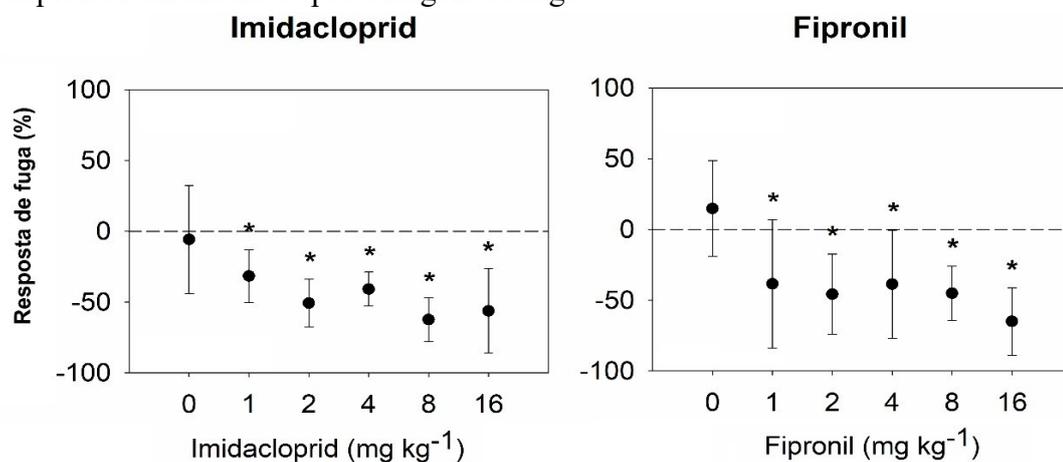


Fonte: elaborado pelos autores (2025).

4 Resultados e Discussão

Todas as concentrações dos inseticidas testados mostraram uma “preferência” pelos lados contaminados, que se intensificou com o aumento da concentração (Figura 2). Esse comportamento pode estar associado a efeitos neurotóxicos que restringem a mobilidade, considerando a ação da imidacloprida nos receptores nicotínicos de acetilcolina e do fipronil nos receptores GABA (Campbell *et al.*, 2022; Farder-Gomes *et al.*, 2021), o que corrobora a redução da atividade locomotora evidenciada pelas trajetórias medidas pelo software Kinovea® (Figura 1 e Tabela 1).

Figura 2. Comportamento de fuga (+) ou preferência (-) de *Folsomia candida* em Neossolo Quartzarênico na presença de concentrações crescentes de Imidacloprid e Fipronil. Os valores estão expressos em média de porcentagem de fuga.



Asteriscos (*) indicam resposta significativa (Fischer's exact test, $p < 0,05$).

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

A incapacidade dos colêmbolos de evitar solos contaminados pode ter sérias implicações ecológicas em campo (Guimarães *et al.*, 2019). Assim, interpretar isoladamente os ensaios de evitação tende a subestimar o risco dos inseticidas. Os resultados encontrados demonstram que as distâncias percorridas pelos colêmbolos expostos à imidacloprid e ao fipronil foram 18–38% e 29–58% menores que as dos não expostos (Tabela 1).

Portanto, tem-se que os testes de evitação padrão (ISO, 2011) apresentam limitações na detecção de efeitos de inseticidas que inibem a locomoção. O método desenvolvido neste estudo fornece uma abordagem complementar para investigar os impactos comportamentais desses pesticidas em colêmbolos.

Tabela 1. Distância média percorrida (cm, n=10) por colêmbolos *Folsomia candida* após 48 h de exposição a concentrações crescentes dos inseticidas Imidacloprid e Fipronil.

Concentração (mg kg ⁻¹)	Ingrediente ativo	
	Imidacloprid	Fipronil
0	16,06 ± 4,03	16,06 ± 4,03
1	13,19 ± 2,51*	11,38 ± 1,48*
2	11,62 ± 2,12*	10,91 ± 2,20*
4	11,31 ± 1,64*	8,45 ± 1,16*
8	10,74 ± 1,92*	7,65 ± 1,73*
16	10,02 ± 1,80*	6,73 ± 1,13*

Asteriscos (*) indicam redução significativa na distância percorrida pelos colêmbolos, comparativamente ao respectivo tratamento controle (teste de post-hoc de Dunnet, $p < 0,05$).

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

5 Conclusão

A redução da locomoção em colêmbolos expostos a inseticidas neurotóxicos evidencia a sensibilidade dos testes comportamentais para detectar efeitos subletais não captados pelos ensaios ISO. Portanto, a metodologia configura uma possível ferramenta complementar para aplicações regulatórias, e ampliação da compreensão dos impactos ecotoxicológicos no solo.

Referências Bibliográficas

BANDEIRA, F. O. *et al.* The use of sewage sludge as remediation for imidacloprid toxicity in soils. *Environmental Science and Pollution Research*, [S. l.], v. 30, p. 20159-20167, 2022.

BICHO, R. C. *et al.* Non-avoidance behaviour in enchytraeids to boric acid is related to the GABAergic mechanism. *Environmental Science and Pollution Research*, [S. l.], v. 22, n. 9, p. 6898-6903, 2015. DOI: 10.1007/s11356-014-3921-5.

CAMPBELL, K. S. *et al.* Detection of imidacloprid and metabolites in Northern Leopard frog (*Rana pipiens*) brains. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 813, p. 152424, 2022.

ENGENHEIRO, E. L. *et al.* Influence of dimethoate on acetylcholinesterase activity and locomotor function in terrestrial isopods. *Environmental Toxicology and Chemistry*, [S. l.], v. 24, p. 603-609, 2005.

FARDER-GOMES, C. F. *et al.* Harmful effects of fipronil exposure on the behavior and brain of the stingless bee *Partamona helleri* Friese (Hymenoptera: Meliponini). *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 794, p. 148678, 2021.

GUIMARÃES, B. *et al.* Multigenerational exposure of *Folsomia candida* to ivermectin – using avoidance, survival, reproduction, size and cellular markers as endpoints. *Geoderma*, [S. l.], v. 337, p. 273-279, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17512-2: Soil Quality — Avoidance Test for Testing the Quality of Soils and Effects of Chemicals — Part 2: Test with Collembolans (*Folsomia candida*). Genève, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11267: Soil Quality — Inhibition of Reproduction of Collembola (*Folsomia candida*) by Soil Contaminants. Genève, 2014.

PEREIRA, C. M. S. *et al.* Dimethoate affects cholinesterases in *Folsomia candida* and their locomotion – false negative results of an avoidance behaviour test. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 443, p. 821-827, 2013.

SZABÓ, B.; SERES, A.; BAKONYI, G. *Folsomia candida* (Collembola) locomotor activity pattern is changed by a neurotoxicant pesticide. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, [S. l.], v. 64, p. 355-368, 2018.

Palavras-chave: Fipronil; *Folsomia candida*; Imidacloprido; Locomoção; Teste de fuga.
Nº de Registro no sistema Prisma: PES 2024-0447

Financiamento



;