

**Uso de software de inteligência artificial no monitoramento do comportamento de *Rhynchophorus palmarum* em bioensaios com feromônio Rincoforol**

Josias Jordão Andrade Alves<sup>1</sup>, Eliane dos Santos<sup>1</sup>, Fernanda Stefanny Lima Sobrinho<sup>1</sup>, Henrique Fonseca Goulart<sup>1</sup>, Antonio Euzébio Goulart Santana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Alagoa. Av. Lourival Melo Mota, S/N Tabuleiro do Martins Maceió – AL, Brasil.

**RESUMO:** O uso de inteligência artificial (IA) tem revolucionado a análise comportamental de insetos, oferecendo maior precisão e eficiência em bioensaios. Este estudo utilizou o software ToxTrac para monitorar o comportamento da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum*, avaliando a resposta ao feromônio comercial Rincoforol. Para avaliar o comportamento do inseto utilizamos um olfatômetro em Y. Os movimentos dos indivíduos foram rastreados com o software ToxTrac, que forneceu métricas detalhadas, como velocidade média, distância percorrida e tempo de permanência em cada zona do olfatômetro. A maioria dos indivíduos escolheu o braço com o feromônio, confirmando sua atratividade. Além disso, as análises avançadas permitiram identificar padrões comportamentais mais complexos, como escolhas tardias e variações no tempo de exploração das zonas de interesse. Essas observações seriam difíceis de obter apenas com métodos tradicionais. O estudo ressalta a importância de integrar ferramentas de IA em bioensaios para melhorar a compreensão do comportamento de insetos e otimizar estratégias de manejo integrado de pragas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise comportamental, manejo integrado de pragas, inteligência artificial.

**Use of Artificial intelligence software to monitor the behavior of *Rhynchophorus palmarum* in Bioassays with Rincoforol pheromone**

**ABSTRACT:** The use of artificial intelligence (AI) has revolutionized insect behavioral analysis, providing greater precision and efficiency in bioassays. This study employed the ToxTrac software to monitor the behavior of the South American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*, in response to the commercial pheromone Rincoforol. A Y-tube olfactometer was used to evaluate insect responses, with movements tracked by ToxTrac, which generated detailed metrics such as average speed, total distance traveled, and time spent in each olfactometer zone. Results showed that 80% of individuals chose the arm containing Rincoforol, confirming its attractiveness. Additionally, advanced analyses revealed more complex behavioral patterns, such as delayed decision-making and variations in zone exploration times. These insights, difficult to obtain through traditional methods, highlight the importance of integrating AI tools into bioassays to enhance understanding of insect behavior and optimize integrated pest management strategies.

**KEYWORDS:** Behavioral analysis, integrated pest management, artificial intelligence.

## **INTRODUÇÃO**

A análise comportamental de insetos com o auxílio de inteligência artificial (IA) pode revolucionar campos como a ecologia, manejo de pragas e entomologia. Métodos tradicionais de observação manual frequentemente carecem de precisão, são subjetivos e exigem esforços consideráveis de tempo e mão de obra (Fedor et al., 2009). A IA, especialmente com técnicas de aprendizado profundo, tem se destacado ao oferecer alternativas automatizadas, precisas e adaptáveis para a análise de grandes volumes de dados comportamentais coletados em experimentos com

olfatômetros.

Olfatômetros são amplamente empregados para avaliar a resposta de insetos a estímulos químicos, simulando situações de escolha e fornecendo dados sobre preferências comportamentais. O olfatômetro em Y é ideal para experimentos binários, enquanto sistemas de quatro braços permitem estudar preferências mais complexas (Roberts et al., 2023).

A broca-do-olho-do-coqueiro, *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus, 1764) (Coleoptera: Curculionidae), é importante economicamente devido aos danos severos que causa em culturas como coqueiro e dendezeiro, além de ser vetor do nematoide *Bursaphelenchus cocophilus*, agente causal do anel-vermelho. Para seu monitoramento e controle, o feromônio comercial Rincoforol (Interacta Química Ltda - 8609) é amplamente utilizado em armadilhas, sendo uma ferramenta essencial no manejo integrado dessa praga.

O uso do software ToxTrac e outros softwares baseados em visão computacional representa um avanço significativo em estudos comportamentais, otimizando a análise ao automatizar o rastreamento e a análise de trajetórias em experimentos com insetos eliminando o viés humano e aumentando a precisão dos resultados. ToxTrac oferece alta precisão na detecção de movimento, pode rastrear múltiplos indivíduos simultaneamente e gerar métricas detalhadas, como velocidade e tempo de permanência em diferentes zonas do olfatômetro, contribuindo para análises robustas em estudos de ecologia (Rodriguez et al., 2018).

O objetivo do trabalho foi utilizar o software ToxTrac no monitoramento do comportamento de *R. palmarum* em olfatômetro em Y, avaliando respostas ao feromônio Rincoforol. Os dados são importantes para o desenvolvimento de estudos comportamentais mais eficazes. A combinação de ferramentas como o ToxTrac permite um salto qualitativo na pesquisa comportamental e no manejo integrado de pragas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia foi composta pelas seguintes etapas: preparação da arena em um olfatômetro em Y, onde 10 µl de uma solução (1:20) do feromônio comercial Rincoforol foram aplicados em papel de filtro e posicionados em um dos braços. No outro braço, foi utilizado 10 µl de hexano grau HPLC (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha), que também foi utilizado como solvente para a diluição do feromônio.

Utilizamos uma câmera principal equipada com um sensor de 50 MP e tecnologia Ultra Pixel (f/1.8), com resolução full hd (1920x1080) e taxa de quadros de 30fps. A câmera foi posicionada a uma altura de 90 cm em relação à arena, permitindo capturar toda a área do olfatômetro em Y, que mede 70 cm.

No software ToxTrac, foram realizadas a calibração da câmera (pixels) e das dimensões da arena (mm). Em seguida, a arena foi dividida em zonas específicas: zona de saída (1) e zonas de interesse, controle (2) e tratamento (3). O software rastreou os movimentos dos insetos em cada quadro de vídeo, conectando as posições espaciais para gerar trajetórias completas.

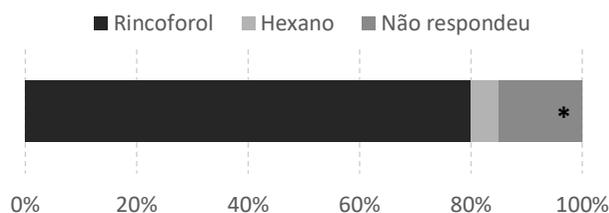
As trajetórias forneceram dados comportamentais detalhados, como velocidade média (mm/s), distância total percorrida (mm), porcentagem de tempo em cada zona e eventos de paralisia. Além disso, gráficos de exploração e informações sobre o uso das diferentes áreas da arena foram gerados.

Para a análise estatística das escolhas comportamentais, foi aplicado o teste binomial com base em 20 repetições experimentais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que 80% dos indivíduos de *R. palmarum* escolheram o braço contendo o feromônio Rincoforol, resultado esperado devido à eficiência comprovada deste composto comercial (Figura 1). Essa abordagem, baseada exclusivamente na porcentagem de escolha, é amplamente utilizada em estudos com olfatômetros e fornece uma visão inicial sobre a atratividade do estímulo testado. No entanto, limita-se a uma análise binária, sem explorar aspectos mais profundos do comportamento dos insetos.

**Figura 1.** Porcentagem de escolha de *Rhynchophorus palmarum* pelo feromônio Rincoforol em olfatômetro em Y. (\*) indica diferença significativa pelo teste binomial ( $p = 0,00027$ ).



Embora os dados confirmem a atratividade do Rincoforol, informações comportamentais adicionais poderiam oferecer uma compreensão mais detalhada sobre o processo de escolha e as dinâmicas de movimentação dos insetos dentro do olfatômetro, enriquecendo a análise e reduzindo potenciais vieses interpretativos (Lin et al., 2016).

Com o uso do ToxTrac, foi possível obter métricas adicionais relevantes para bioensaios com olfatômetros, como velocidade média (mm/s), distância total percorrida e porcentagem de tempo em cada zona (Tabela 1). Essas informações complementam a análise tradicional, que se limita à escolha final, permitindo uma compreensão mais detalhada do comportamento dos insetos.

Na Tabela 1, observa-se que, exceto na repetição nove, nenhum inseto permaneceu no braço contendo hexano. Dos indivíduos que fizeram uma escolha, 80% preferiram o feromônio (zona 3). Entretanto, em algumas repetições (2, 3, 5, 6 e 8), os insetos demoraram mais para decidir e passaram menos tempo na zona do feromônio, indicando uma escolha tardia. Essa observação seria difícil de identificar sem o uso de ferramentas avançadas, especialmente em estudos com compostos não comerciais, onde atrasos ou menor permanência poderiam sugerir repelência.

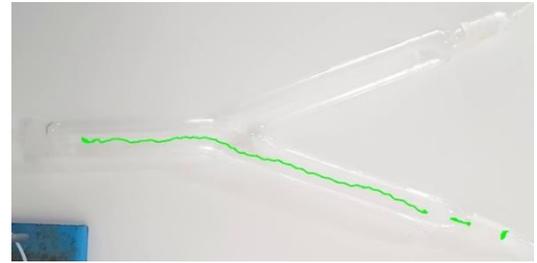
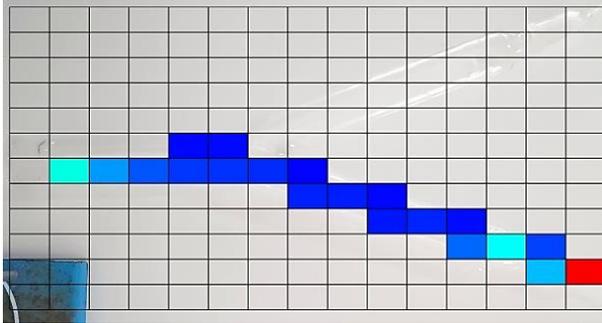
Na figura 2 observamos a exploração feita pelo inseto e sua trajetória. Essas métricas associadas aos dados do programa permitem identificar não apenas a escolha final, mas também aspectos intermediários do comportamento, como o tempo de decisão, a intensidade da resposta ao estímulo e possíveis hesitações ou padrões de movimentação que podem indicar atração, neutralidade ou até mesmo repelência.

**Tabela 1** - Parâmetros comportamentais de *Rhynchophorus palmarum* obtidos pelo software ToxTrac em olfatômetro em Y. Rep. (repetição); Trat. (número de insetos que escolheram o tratamento); Nr. (número de insetos que não responderam); Cont. (número de insetos que escolheram o controle); Vel. (Velocidade média em mm/s); Dist. Total (Distância Total); Zonas 1, 2 e 3 (Porcentagem de tempo que os insetos permaneceram em cada zona do olfatômetro)

Rep.	Trat.	Nr.	Cont.	Vel. (mm/s)	Dist. Total (mm)	Zona 1	Zona 2	Zona 3
1	0	1	0	1,36	1,6	100%	0%	0%
2	1	0	0	3,43	885,5	83,89%	0%	15,81%
3	1	0	0	2,32	679,7	59,10%	0%	39,48%
4	1	0	0	4,24	1461,6	1,68%	0%	98,19%
5	1	0	0	3,84	1247,5	25,55%	0%	32,43%
6	1	0	0	3,56	1181,2	64,17%	0%	34,61%
7	0	1	0	0,31	100,7	100,00%	0%	0,00%
8	1	0	0	4,86	1813,6	63,62%	0%	35,98%
9	1	0	0	4,89	1855,7	9,03%	0%	90,63%
10	1	0	0	13,59	8026,4	0%	0%	100,00%
11	1	0	0	9,76	4766,1	0%	0%	100,00%
12	1	0	0	7,23	2899,4	37,80%	0%	61,76%
13	1	0	0	4,16	1499,2	2,61%	0%	89,51%
14	1	0	0	11,21	2951,7	0%	0%	100,00%
15	1	0	0	12,01	6444	1,03%	0%	98,87%
16	1	0	0	4,86	2242,7	0,00%	0%	100,00%
17	1	0	0	11,58	4793,9	1,21%	0%	98,63%
18	0	1	0	0,13	61,8	100,00%	0%	0,00%
19	0	0	1	1,68	524,9	0,00%	16%	0,00%
20	1	0	0	5,32	857,44	32,44%	0%	67,56%

O registro das trajetórias possibilita a obtenção de dados quantitativos, como a distância total percorrida, a velocidade média e o tempo de permanência em diferentes zonas do olfatômetro, fornecendo uma visão mais abrangente do comportamento exploratório. Essa abordagem é particularmente relevante em estudos com feromônios ou compostos químicos experimentais, nos quais as respostas podem variar em intensidade e dinâmica. Assim, a inclusão dessas métricas aumenta a precisão da análise, elimina potenciais vieses observacionais e contribui para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes, além disso esses dados podem ser combinados e fornecer novas métricas para avaliação comportamental.

**Figura 2.** Representação das zonas de exploração (A) e trajetória (B) de *Rhynchophorus palmarum* no olfatômetro em Y, gerada pelo software ToxTrac.



Novos estudos devem explorar diferentes formatos de olfatômetros, como sistemas de quatro braços, testar outras espécies de insetos e avaliar concentrações variadas ou compostos alternativos. Além disso, integrar ferramentas avançadas de análise comportamental fornecerá dados mais detalhados, aprimorando a compreensão do comportamento e a eficácia das estratégias de manejo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fedor P., Vaňhara J., Havel J., Malenovský I., Spellerberg I. Artificial intelligence in pest insect monitoring. *Systematic Entomology* 34, **2009**.
- Lin C.-C., Riabinina O., Potter C. J. Olfactory Behaviors Assayed by Computer Tracking Of *Drosophila* in a Four-quadrant Olfactometer. *J Vis Exp* 54346, **2016**.
- Roberts J. M., Clunie B., Leather S., Harris W., Pope T. Scents and sensibility: Best practice in insect olfactometer bioassays. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **2023**, 171, 808–820.
- Rodriguez A., Zhang H., Klaminder J., Brodin T., Andersson P. L., Andersson M. ToxTrac: A fast and robust software for tracking organisms. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 460–464.