

DOI: <https://doi.org/10.48075/ReBECeM.2025.v.9.n.2.34860>

**UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS NO  
CONTEXTO DA EXTENSÃO: BIOINDICADOR DE AGROTÓXICOS  
SUPERFICIAIS EM FRUTAS E LEGUMES *IN NATURA* UTILIZANDO  
*CAENORHABDITIS ELEGANS* NO ENSINO BÁSICO**

**A DIDACTIC PROPOSAL FOR TEACHING SCIENCE IN THE CONTEXT OF  
EXTENSION: BIOINDICATOR OF SURFACE PESTICIDES IN FRESH  
FRUITS AND VEGETABLES USING *CAENORHABDITIS ELEGANS* IN BASIC  
EDUCATION**

Douglas Correia de Souza<sup>1</sup>

Cecilia Luis de Queiroz<sup>2</sup>

Arthur San't Anna Meira Haddad<sup>2</sup>

Luís Felipe Leocádio Rigueira<sup>2</sup>

Guilherme Fraga de Souza Miranda<sup>2</sup>

Rodrigo Miranda<sup>3</sup>

Luiz Paulo Rigueira de Moraes<sup>4</sup>

Maria Aparecida Scatamburlo Moreira<sup>5</sup>

Jackson Victor de Araújo<sup>6</sup>

**Resumo:** O presente trabalho utilizou o organismo modelo nematóide *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) como bioindicador para avaliar a presença de agrotóxicos na superfície de frutas e legumes in natura, com o objetivo de investigar os impactos da contaminação alimentar na saúde humana e ambiental. Desenvolvido sob os princípios da Pluriversidade Solidária (PS) e da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), o estudo promoveu a participação ativa dos alunos do ensino básico em todas as etapas do processo científico, com ênfase no desenvolvimento de soluções para os problemas de saúde de suas comunidades. Os resultados destacam a presença de agentes tóxicos em 5 dos 12 vegetais testados, capazes de gerar mortalidade nos organismos nas condições testadas. Além disso, o trabalho evidenciou o potencial de *C. elegans* como ferramenta educacional, integrando teoria e prática no ensino de ciências e biologia, e ampliando a disseminação do conhecimento científico para a sociedade.

---

<sup>1</sup>Inserir em nota de rodapé: Maior titulação do autor, nome da Instituição em que foi obtida titulação (SIGLA). Instituição a que está vinculado (SIGLA), cidade, estado, país. E-mail. (Essas informações só deverão ser fornecidas caso o artigo seja aceito).

**Palavras-chave:** Ensino de Ciências; Metodologia ativa; Saúde-Única.

**Abstract:** This study used the nematode model organism *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) as a bioindicator to assess the presence of pesticides on the surface of fresh fruits and vegetables, with the aim of investigating the impacts of food contamination on human and environmental health. Developed under the principles of Solidarity Pluriversity (PS) and the Science, Technology and Society (CTS) approach, the study promoted the active participation of elementary school students in all stages of the scientific process, with an emphasis on developing solutions to the health problems of their communities. The results highlight the presence of toxic agents in 5 of the 12 vegetables tested, capable of causing mortality in the organisms under the conditions tested. In addition, the study demonstrated the potential of *C. elegans* as an educational tool, integrating theory and practice in the teaching of science and biology, and expanding the dissemination of scientific knowledge to society.

**Keywords:** Science Teaching; Active Methodology; One Health.

## 1 Introdução

Agrotóxicos são compostos químicos empregados na agricultura para mitigar e controlar diversas formas de pragas que afetam as culturas. Essas substâncias acarretam efeitos adversos significativos não apenas para saúde humana, mas também dos animais e do ecossistema. O Brasil está entre os maiores consumidores de agrotóxicos do mundo, o que tem gerado significativas preocupações em termos de saúde pública (Lopes; Albuquerque, 2021; Rocha; Alvarez, 2023).

Os vegetais que produzimos utilizando esses compostos químicos, carregam resíduos tanto no seu interior como na sua superfície, devido às características da aplicação. Embora não seja possível remover completamente os compostos tóxicos internos dos alimentos, é recomendável lavar e higienizar esses vegetais antes do consumo para reduzir significativamente a presença de agentes tóxicos encontrados em suas superfícies (Brasil, 2014). É importante ressaltar que animais de produção e de companhia também podem ser afetados ao consumirem alimentos produzidos com insumos contaminados (Michel, 2021). Os agrotóxicos encontrados nos vegetais se situam centralmente como uma problemática no conceito de Saúde-Única, dado o grande número de correlações e impactos estabelecidos com o bem-estar humano, animal e ambiental (Losch *et al.*, 2022).

A Pluriversidade Solidária (PS) surge com a proposta de estabelecer métodos de extensão mais tangíveis e organizados, incentivando a disseminação de saberes pertinentes para a sociedades e suas comunidades (Santos; Guilherme; Dietz, 2016). A PS é um conceito amplo que alcança em várias áreas do saber, com variadas metodologias de ensino, pesquisa, extensão e inovação. Na essência, ela visa criar ambientes de

aprendizado inclusivos, onde o saber é produzido, compartilhado e circulado horizontalmente. Esta perspectiva destaca a interação multidisciplinar, incentivando a ocupação e a formação de espaços onde diversas formas de ensino, pesquisa e inovação possam ser desenvolvidas e disseminadas, ao invés de se limitar a um grupo restrito (Santos 1997; 2008; 2023).

Ressalta-se assim, a importância da participação da comunidade na construção e extensão dessas inovações e conhecimentos científicos gerados a partir de pesquisas realizadas pela própria comunidade. Diversas iniciativas educacionais nesse cunho têm surgido visando promover uma abordagem participativa e colaborativa na produção e disseminação do conhecimento científico. A colaboração entre universidades e escolas de ensino básico nesse propósito possui um grande potencial social e científico, promovendo uma circulação mais igualitária de conhecimentos essenciais para a promoção da saúde e do desenvolvimento social. Essa união pode fomentar uma cultura de compartilhamento de saberes e práticas, contribuindo para uma sociedade mais informada e capacitada a lidar com os desafios atuais do seu entorno (Lacerda Bachettini *et al.*, 2023).

O tema agrotóxico tem grande importância nesse foco devido à sua complexidade e relevância atual. Desenvolver saúde é um processo que deve envolver toda a população. Isso implica não apenas na transmissão de conhecimentos teóricos, mas também no desenvolvimento de habilidades práticas que consigam promover saúde-única. Além disso, é necessário construir ambientes pluriversitários onde os alunos, em sentido comunitário, adquiram habilidades e capacidades técnicas com capacidade de gerar transformações sociais a partir da ciência (Das chagas; Passos; Salgado, 2021).

Neste trabalho, utilizamos o organismo modelo *C. elegans* como biossensor para avaliar a presença de agrotóxicos e outros agentes tóxicos na superfície de alimentos in natura comercializados no comércio local. Esta seleção foi motivada por diversos fatores, incluindo a necessidade de utilizar materiais acessíveis aos alunos e que não representassem riscos de biossegurança, permitindo assim a realização das análises no laboratório da escola. Tem se tornado importante o desenvolvimento de metodologias modelo para aulas práticas de biologia e ciências com foco na pesquisa. Um dos objetivos cruciais para o desenvolvimento deste trabalho foi conceber uma metodologia ativa de ensino, visando a sua execução como uma atividade de extensão entre a Universidade e escolas de ensino básico. Onde os alunos pudessem participar do processo de inovação dentro do ciclo básico através da aplicação de métodos científicos com o tema central de agrotóxicos e Saúde-Única.

## 1.1 Uma breve história sobre *C. elegans*

Como plataforma biotecnológica, utilizamos o organismo modelo nematoide *C. elegans*. Este animal possui diversas vantagens interessantes para seu uso dentro de escolas de ensino básico como ferramenta laboratorial para a pesquisa. Seu cultivo e manutenção são relativamente fáceis e possuem baixo custo. Também não necessita de equipamentos avançados para sua manipulação. Por ser um animal invertebrado, pode ser utilizado na pesquisa e no ensino sem a necessidade de aprovação de conselhos de ética, desde que não envolvam humanos e animais vertebrados. O genoma do animal foi totalmente sequenciado em 2002. Assim, estima-se que possua até 80% de genes ortólogos a genes humanos. Possui células intestinais, musculares e neurônios com fisiologia similar a humanos e outros mamíferos. Assim, por sua alta sensibilidade a agentes tóxicos, entre eles agrotóxicos, seu uso como ferramenta biotecnológica para detecção desses agentes tem crescido. Foram encontrados trabalhos com interação do organismo com diversos tipos de matérias como água, solo, ar, efluentes, alimentos, medicamentos, cosméticos e outros produtos de uso humano e veterinário (Giunti *et al.*, 2021; Mudd Athar; Templeman, 2022; Liceaga, 2022).

A primeira figura chave na história de *C. elegans* foi Émile Maupas, um arquivista e bibliotecário profissional que viveu em Argel, capital da Argélia e trabalhou com biologia como hobby pessoal. Foi o primeiro a isolar e nomear como *Rhabditis elegans* (posteriormente renomeado de *Caenorhabditis elegans*). Maupas escreveu dois importantes artigos sobre 6 nematóides de vida livre, o primeiro sobre as mudas de cutícula do animal e o desenvolvimento alternativo via larvas Dauer e os modos de reprodução e suas variações. Maupas utilizou *C. elegans* em uma primeira publicação em 1899 e elucidou melhor aspectos biológicos sobre a espécie em seu artigo de 1900 (Nigon; Félix, 2017).

Uma nova fase histórica na pesquisa de nematóides de vida livre começou na década de 1940, com o nascimento das primeiras equipes que usaram esses animais como organismos modelo, lideradas por Victor M. Nigon e Ellsworth C. Dougherty. Nigon acabou trabalhando em casa devido à guerra, e seu professor, Albert Vandel, sugeriu que ele trabalhasse com nematóides de vida livre após visualizar o potencial dessas espécies através do trabalho de Maupas e Bělař. Dougherty, que até então estudava principalmente

nematóides parasitas, juntou-se a Nigon em Paris e depois em Lyon para realizar trabalhos experimentais (Nigon; Félix, 2017).

As duas equipes, Nigon em Lyon na França e Dougherty na Califórnia permaneceram em contato próximo durante este período. Dedicados à análise da reprodução e nutrição, resolveram vários problemas básicos como as condições de cultura e os métodos experimentais que foram refinados, aumentando a reprodutibilidade desses experimentos. Além disso, os laboratórios passaram a dedicar mais esforços para focar em um número menor de espécies modelo. Mais importante ainda, a base cromossômica da determinação do sexo de *C. elegans* foi determinada usando estudos citológicos de meiose. Apesar de diversos avanços, seus projetos não conseguiram convencer as autoridades de financiamento e reunir especialistas em áreas complementares. Isso fez com que em 1952 Nigon deixasse a área de nematologia para desenvolver outros projetos, trabalhando com desenvolvimento de pesquisas na área de biologia molecular. Dougherty também teve problemas em obter apoio financeiro, o que o levou a criticar as práticas de financiamento de pesquisas científicas nos Estados Unidos e acabou por diminuir o ritmo de pesquisas com nematoides na época (Nigon; Félix, 2017).

Uma nova fase começou em 1974, com as primeiras publicações de Sydney Brenner e seus colaboradores. Esta fase histórica do nematoide como organismo modelo é talvez a mais conhecida. Brenner, um dos fundadores da biologia molecular nos anos 1950-60 e um geneticista bacteriano muito experiente e conhecido, decidiu iniciar um novo programa de pesquisa em biologia do desenvolvimento e neurobiologia. Consciente dos limites das bactérias e da necessidade de trazer a genética dos animais para a biologia molecular, ele foi tentado pelos nematóides de vida livre, e foi particularmente inspirado pelo trabalho de Richard Goldschmid sobre invariância celular neuronal e conectividade do sistema nervoso em *Ascaris*, além de talvez ser influenciado por Dougherty, que conheceu em Berkeley (Nigon; Félix, 2017).

Brenner experimentou muitas espécies de nematóides e isolou várias novas linhagens, antes de finalmente se estabelecer com *C. elegans* por volta de 1966. A fama desfrutada por Brenner e trabalhar no Laboratório de Biologia Molecular do Conselho de Pesquisa Médica (MRC) em Cambridge, no Reino Unido, somou-se a fatores históricos inerentes à época. Com o fim da segunda guerra mundial, o julgamento de Nuremberg e a publicação do livro *Os Princípios da Técnica Experimental Humana* por Russel e Burch criou-se um ambiente onde as entidades financiadoras visualizaram a importância de pesquisas com modelos alternativos a mamíferos. Culminando no financiamento da

pesquisa onde Brenner conseguiu recrutar um conjunto excepcional de colegas para trabalhar neste novo projeto (Nigon; Félix, 2017).

O conhecimento de Brenner sobre genética bacteriana e biologia molecular permitiu-lhe superar alguns dos obstáculos que vinham sendo desafiadores para Nigon e Dougherty. Ele abriu assim um campo cheio de novas perspectivas e inovação. Brenner e John Sulston mostraram que *C. elegans* tem um genoma pequeno e compacto, que se mostrou muito importante quando o sequenciamento em larga escala se tornou possível. O genoma de *C. elegans*, que tem aproximadamente 1/30 do tamanho do genoma humano, foi o primeiro genoma de um organismo multicelular a ser totalmente sequenciado em 2002. Uma vez que o genoma humano também foi concluído, evidenciou-se que 60 a 80% dos genes de *C. elegans* têm correspondências humanas e que, apesar da diferença de tamanho, tanto o genoma humano quanto o de *C. elegans* são parecidos. O verme possui cerca de 21.000 genes contra humanos que possuem aproximadamente 25.000 genes (Nigon; Félix, 2017).

Em 2002, Sydney Brenner, John Sulston e Robert Horvitz receberam o Prêmio Nobel por seu trabalho pioneiro em *C. elegans* e pela descoberta de genes que controlam a morte celular. Em humanos, esses mesmos genes são frequentemente mutados em células cancerígenas. Em 2006 os norte-americanos Andrew Z. Fire, da Universidade de Stanford, e Craig C. Mello, da Universidade de Massachusetts foram laureados pelo Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina utilizando o verme. Estes pesquisadores, que em 1998, descreveram o mecanismo de ação do Ácido Ribonucleico (RNA) de interferência. Os dois pesquisadores mostraram em *C. elegans* que a injeção de pequenas quantidades de RNA em fita dupla levava ao silenciamento da expressão de um determinado gene específico, o que não ocorria com a injeção das fitas simples de RNA. Para isso, era necessário que a sequência do RNA dupla fita fosse complementar ao RNA mensageiro do gene alvo. O reconhecimento da importância do RNA de interferência, além do seu papel no controle da expressão gênica e defesa contra vírus, deve-se à extrema versatilidade deste mecanismo como ferramenta para estudos e, mais futuramente, terapia gênica (Nigon; Félix, 2017).

O Prêmio Nobel de Química de 2008 foi concedido em conjunto ao cientista japonês Osamu Shimomura e aos pesquisadores norte-americanos Martin Chalfie e Roger Tsien, pela descoberta e desenvolvimento da proteína verde fluorescente (GFP) utilizando *C. elegans*. A proteína, isolada pela primeira vez de uma água-viva, agora é usada rotineiramente como um marcador brilhante para rastrear as posições e interações das

proteínas nas células. Embora muitos organismos possam fluorescer intensamente, como vaga-lumes e animais aquáticos, os processos químicos geralmente envolvem outros componentes que são usados durante a luminescência. Chalfie descobriu que essa GFP específica era especial, pois necessitava apenas oxigênio para alimentar a conversão da luz ultravioleta em um tom visível e brilhante de luz verde (Nigon; Félix, 2017).

Continuando suas investigações com *C. elegans*, Chalfie percebeu que marcações com GFP fluorescentes poderiam ser anexadas a qualquer tipo de célula viva, inserindo o gene em locais específicos no Ácido Desoxirribonucleico (DNA), facilitando rotular proteínas com marcadores fluorescentes e fornecendo novos insights sobre os processos celulares associados a doenças como câncer, vírus da imunodeficiência humana (HIV) e Alzheimer. Outros pesquisadores de *C. elegans* fizeram inúmeras descobertas importantes, incluindo aquelas para genes que controlam o envelhecimento, obesidade, diabetes, padrões de desenvolvimento, e a ampliação do seu uso como um poderoso animal dentro da experimentação com modelos não-vertebrados. Eles também fizeram importantes descobertas em biologia celular e neurobiologia (Nigon; Félix, 2017).

O Prêmio Nobel de fisiologia e medicina de 2024 destacou a descoberta dos microRNAs, pequenas moléculas de RNA fundamentais para a regulação genética, uma conquista impulsionada pelo uso do organismo modelo *C. elegans*. Victor Ambros e Gary Ruvkun utilizaram o nematoide para revelar como esses pequenos RNAs controlam a expressão gênica em organismos multicelulares. O modelo forneceu uma plataforma poderosa para compreender como células com material genético idêntico podem expressar genes específicos, permitindo funções celulares especializadas. Essa descoberta inaugurou uma nova era no estudo da regulação genética, elucidando mecanismos que não apenas governam o desenvolvimento celular, mas também a adaptação contínua das células às mudanças fisiológicas. A relevância de *C. elegans* nesse avanço reforça sua importância para compreender doenças humanas como câncer, diabetes e desordens autoimunes associadas a falhas na regulação genética (Nobel Assembly at the Karolinska Institutet, 2024).

Com a fundação da instituição CGC (Caenorhabditis Genetics Center) na Universidade de Minnesota, se formou uma comunidade cooperativa global de ciência utilizando o modelo. Desde sites com informações e artigos com métodos básicos e de cooperação interlaboratoriais como Wormbook, WORMATLAS, OpenWorm. Os sites Wormbook e WORMATLAS oferecem uma ampla gama de artigos, reviews e métodos para utilização com o modelo. No site OpenWorm os estudantes podem visualizar o verme em

3D, evidenciando sua anatomia, seus sistemas e órgãos. Desde então, vários pesquisadores enviam cepas geneticamente modificadas do verme para o CGC a fim de serem distribuídas mundialmente. Métodos de padronização de cultivo e experimentação com o verme também são distribuídos pelas plataformas. O instituto também apoia o uso do nematoide na educação, fornecendo as cepas do modelo a preço de custo para instituições de ensino públicas e sem fins lucrativos (CGC Site, 2025; OpenWorm, 2025; WormAtlas, 2025; WormBook, 2025).

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Local de execução e Cultivo de *C. elegans*

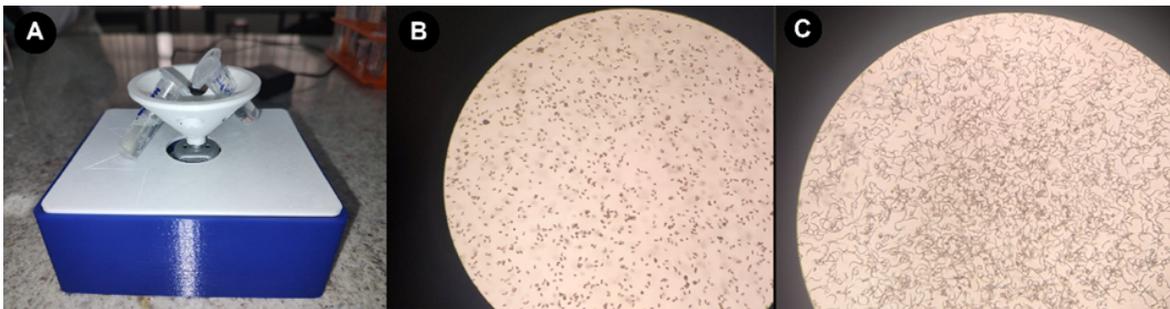
Os cultivos e confecção dos meios e kits de pesquisa foram realizados nos laboratórios do Departamento de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Viçosa. As análises foram realizadas no Laboratório do colégio Ômega. Todo o material utilizado retornou ao departamento para descarte de acordo com o programa de gerenciamento de resíduos de pesquisa da instituição. Foram utilizadas a cepa de *C. elegans* Bristol N2 e a cepa da bactéria *Escherichia Coli* (*E. coli*) OP50, ambos com origem do CGC.

Os vermes foram cultivados em incubadora B.O.D a 20°C em placas contendo Meio-NGM (1,7% Bactoágar, 0,5% Bactopeptona, 50 mM NaCl, 25 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> pH 6,0, 1 mM CaCl<sub>2</sub>, 1 mM MgSO<sub>4</sub> e 5 µg/mL de colesterol, H<sub>2</sub>O a 1 litro) semeadas com caldo Luria Broth incubado com a cepa *E. coli* OP50, como fonte de alimento e foram manipulados por meio de técnicas estabelecidas. Foi preparado meio tampão M9 (3 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 6 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 5 g NaCl, 1 ml 1 M MgSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O para 1 litro) para coleta e lavagem dos animais das placas. Para o meio de exposição foi utilizado S. Basal (5.85 g NaCl, 1 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 6 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 1 ml colesterol (5 mg/ml em etanol), H<sub>2</sub>O para 1 litro) (Stiernagle, 2006; Gubert, 2022).

### 2.2 Sincronização dos vermes

Na metodologia utilizada foi necessário a utilização de centrífuga para eppendorfs, dessa forma, utilizamos o modelo de impressão 3D para criarmos nosso próprio equipamento (Figura 1-A) (Sule, Petsiuk e Pearce, 2019). Para se cultivar *C.*

*elegans* com a mesma idade e estágio larval, utilizados a técnica de sincronização por lise alcalina. Vermes grávidos foram expostos a Solução de Lise (Água destilada (H<sub>2</sub>O), Hidróxido de Sódio (NaOH) a 0,5 M e Hipoclorito de Sódio (NaClO) a 4% em tubos falcon e agitados manualmente por cerca de 5 minutos. Após a agitação, as amostras foram lavadas e centrifugadas 3 vezes com meio M9. Os ovos foram ressuspensos em meio S. Basal e mantidos a 20°C por 16 horas. Nesse momento é possível visualizar com os alunos apenas os ovos isolados (Figura 1-B). Durante esse período os ovos eclodem, liberando larvas L1 que por falta de comida entram em inanição (Figura 1-C). Assim, em sequência, quando alocadas em placas NGM contendo *E. coli*, todos os animais se alimentam e se desenvolvem juntos até o estágio L4 em cerca de 60 horas. Os vermes em L4 foram lavados e alocados em meio S. Basal ajustado para conter mais de 30 vermes por 50ul (Gubert, 2022).

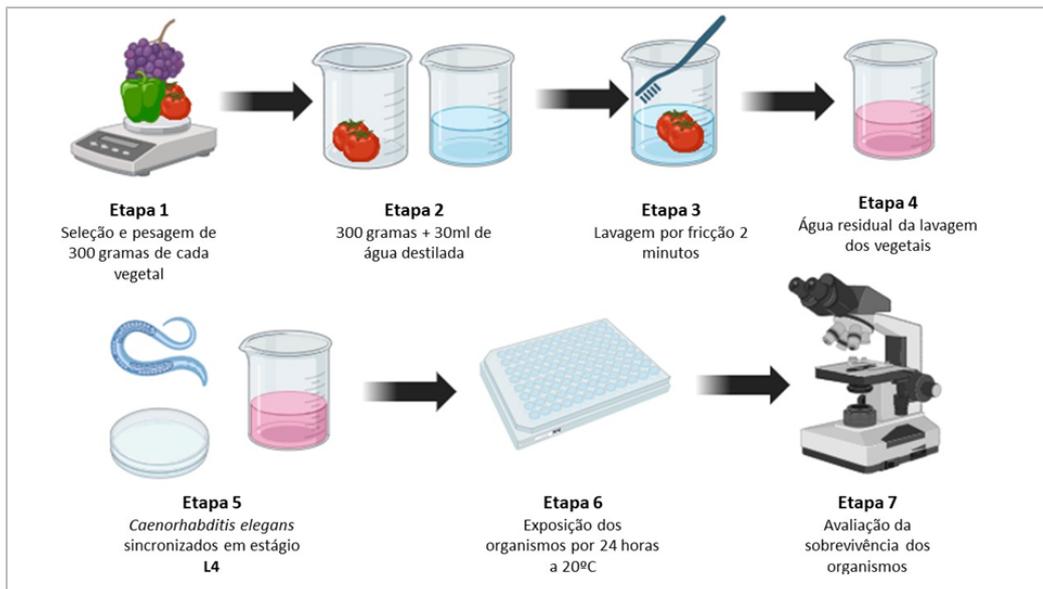


**Figura 1.** Processo de sincronização alcalina. A- Centrífuga desenvolvida pelos próprios alunos através de modelos para impressão 3D abertos encontrados na internet. B- Ovos de *Caenorhabditis elegans* isolados. C- Larvas em estágio L1 cerca de 16 horas após a sincronização.

**Fonte:** Autores (2024).

### 2.3 Design do experimento

O experimento foi realizado como na Figura 2. Foram selecionados pelos alunos 12 vegetais *in natura* de diferentes comércios locais: pimentão (n=6), uva (n=1), tomate cereja (n=4) e goiaba (n=1). Foram pesados 300 gramas de cada vegetal, armazenado em temperatura ambiente e protegido da luz até o momento da análise. Para as análises os alimentos foram friccionados por cerca de 2 minutos em 30ml de água destilada com ajuda de escovas de dente novas previamente higienizadas (Figura 3). A água residual da lavagem desses alimentos foi utilizada para exposição aos nematoides.



**Figura 2-** Esquema da metodologia utilizada no desenvolvimento de *Caenorhabditis elegans* como bioindicador de agrotóxicos superficiais de frutas e legumes *in natura*.

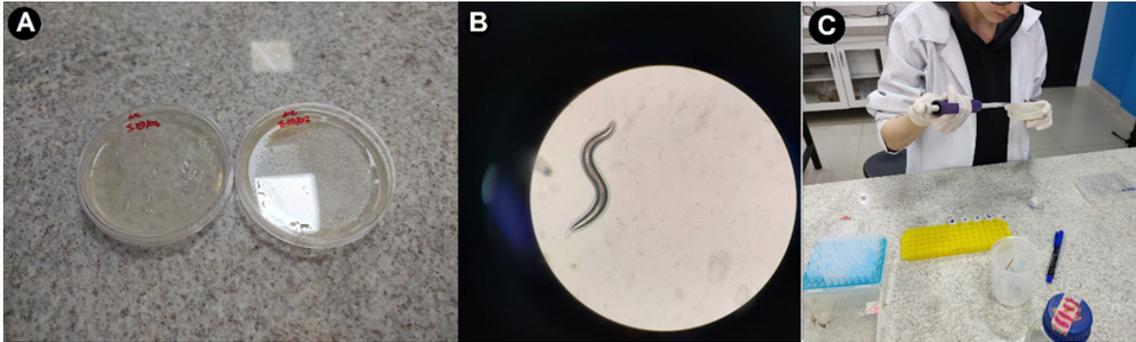
**Fonte:** Autores, Biorender (2024).



**Figura 3-** Processo de lavagem dos alimentos. A- Estudante utilizando a proveta para medir 30ml de água destilada. B- Lavagem de uvas em água destilada. C- Lavagem de pimentão em água destilada.

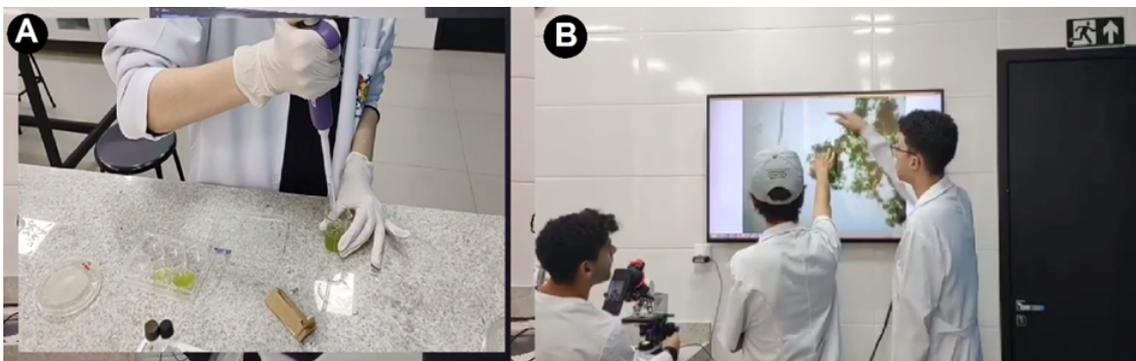
**Fonte:** Autores (2024).

As placas de meio-NGM (Figura 4-A) contendo *C. elegans* sincronizados em estágio L4 (Figura 4-B) foram lavadas e os animais coletados, onde a solução final foi ajustada para conter cerca de 100 vermes a cada 50ul (Figura 4-C). Em placas de 6 poços foram pipetados 50ul de meio M9 contendo os vermes e 50ul de caldo LB com *E. coli* OP50 como fonte de alimento. Foram utilizadas 3 ml da água residual da lavagem desses alimentos para cada exposição feita em triplicata. Os vermes foram expostos por 24 horas em temperatura ambiente, onde foi escolhido um local arejado e protegido da luz (20°C ±4°C). Água destilada foi utilizada como controle negativo e NaClO, já conhecido agente tóxico ao nematoide, foi utilizado a 10% como controle positivo, ambos também realizados em triplicata.



**Figura 4-** Montagem do experimento com os alunos. A- Placas de meio NGM contendo *C. elegans*. B- *C. elegans* em estágio larval L4 no microscópio. C- Lavagem das placas para coleta dos animais.  
**Fonte:** Autores (2024).

Após 24 horas de exposição as amostras foram analisadas em placas NGM novas onde os animais foram aclimatados e analisados em grupo no microscópio conectado a TV. Para cada leitura, 30 nematoides foram analisados (Figura 5-B). A porcentagem de sobrevivência foi calculada utilizando a seguinte fórmula: sobrevivência (%) = (vermes vivos/total de vermes utilizados) × 100. Os vermes foram considerados vivos ao apresentarem movimento e mortos quando não responderam a estímulo mecânico (Stiernagle, 2006; Gubert, 2022).



**Figura 5-** Desenvolvimento do experimento. A- Aluna pipetando a água residual da lavagem dos vegetais em placas de 96 poços. B- Alunos realizando a leitura das amostras em grupo utilizando o microscópio conectado a TV.  
**Fonte:** Autores (2024).

## 2.4 Estatística

Para analisar os dados coletados pelos alunos, o software Microsoft Excel foi utilizado. As comparações entre os controles e os grupos expostos foram conduzidas usando a análise de variância de uma via (ANOVA) com o pós-teste de Tukey. As diferenças foram consideradas significativas quando  $p < 0,05$ .

## 3 Resultados e Discussão

Os resultados das mortalidades após 24 horas de exposição à água de lavagem dos vegetais estão expressos na Tabela 1. Dos 12 alimentos testados, 5 apresentaram mortalidades expressivas em relação ao controle negativo ( $p < 0,05$ ). Isso demonstra a presença na superfície desses vegetais de agentes tóxicos sensíveis aos nematoides nas condições testadas. Esses resultados evidenciam que resíduos de agrotóxicos e/ou outros agentes tóxicos aplicados na produção agrícola permanecem na superfície de alimentos in natura mesmo após transporte e armazenamento.

**Tabela 1.** Resultados da sobrevivência de *Caenorhabditis elegans* expostos 24 horas a água residual da lavagem de vegetais comercializados localmente. Valores com (\*) apresentam diferença estatística em relação ao controle negativo ( $p < 0,05$ ; One-way ANOVA, Tukey pós-teste).

Teste	% de Sobreviventes			Média	Desvio Padrão	Erro Padrão
	Replica 1	Replica 2	Replica 3			
Controle Negativo (S. Basal)	97	100	100	99	192%	1,1
Controle Positivo (NaClO a 10%)	0	0	0	0*	0%	0,0
Tomate Cereja Amostra 1	67	77	60	68*	839%	4,8
Tomate Cereja Amostra 2	83	90	70	81*	1018%	5,9
Tomate Cereja Amostra 3	90	80	97	89	839%	4,8
Tomate Cereja Amostra 4	73	70	67	70*	333%	1,9
Pimentão Verde Amostra 1	70	67	63	67*	333%	1,9
Pimentão Verde Amostra 2	100	97	100	99	192%	1,1
Pimentão Verde Amostra 3	100	100	97	99	192%	1,1
Pimentão Verde Amostra 4	97	100	97	98	192%	1,1
Pimentão Verde Amostra 5	97	97	100	98	192%	1,1
Pimentão Verde Amostra 6	100	100	97	99	192%	1,1
Uva Amostra 1	50	60	40	50*	1000%	5,8
Goiaba Amostra 1	93	100	97	97	333%	1,9

Fonte: Autores (2024).

A análise da variação dos níveis de toxicidade observada entre os diferentes alimentos testados pode estar diretamente relacionada aos tipos de agrotóxicos mais frequentemente aplicados em suas respectivas cadeias produtivas. Por exemplo, hortaliças folhosas como alface e couve costumam receber aplicações mais intensivas de inseticidas e fungicidas do grupo dos organofosforados e triazóis, que apresentam alta toxicidade aguda e podem deixar resíduos relevantes mesmo após a lavagem convencional. Já frutas como maçãs ou uvas são frequentemente tratadas com produtos sistêmicos, como neonicotinóides, que embora menos letais em doses baixas, podem se acumular no organismo ao longo do tempo. Esses aspectos ajudam a explicar por que

alguns alimentos apresentaram maior mortalidade nos nematoides do que outros e reforçam a necessidade de ampliar o controle de qualidade com base nas características específicas de cada cultura agrícola. Além disso, a introdução desses dados em sala de aula pode fomentar discussões sobre práticas agrícolas sustentáveis, consumo consciente e políticas públicas de regulação do uso de agrotóxicos (Craddock, *et al.*, 2019).

O teste necessita ser validado relacionando a área de superfície do alimento e sua resposta fisiológica aos contaminantes identificáveis nas amostras. Outro ponto interessante é a resposta do organismo aos contaminantes, evidenciando o resultado de todas as misturas de agentes bioativos encontrados naquele material. Dessa forma, a água residual desses alimentos continha agentes tóxicos ao ponto de causar mortalidade nos animais após 24 horas de exposição.

Estudos semelhantes têm demonstrado a eficácia de *C. elegans* como biossensor na detecção de contaminantes em diferentes matrizes, corroborando os achados deste trabalho. A sensibilidade do nematoide a resíduos de agrotóxicos reflete diretamente a toxicidade potencial desses compostos, o que reforça a importância de sua utilização em análises rápidas e acessíveis no contexto educacional e regulatório (Zhang *et al.*, 2016; Hunt, 2017). A incorporação dessa abordagem no ensino básico, aliada a discussões sobre a legislação vigente, como os limites de resíduos permitidos em alimentos e água, permite aos alunos uma compreensão crítica sobre a discrepância entre os padrões nacionais e internacionais, além de fomentar o debate sobre segurança alimentar, justiça ambiental e saúde pública. Dessa forma, a experiência prática não só ensina ciência de forma aplicada, mas também contribui para a formação de cidadãos mais conscientes e preparados para questionar e propor melhorias nas políticas públicas.

A ISO 10872 de 2020, utiliza o organismo modelo para análises toxicológicas de água e outros materiais residuais. Assim, categoriza a alteração de parâmetros fisiológicos em relação a controles negativos para suas análises. A ISO avalia o crescimento, fertilidade e reprodução do organismo exposto por 96 horas ao material. Dessa forma, o biossensor desenvolvido pode ser aprimorado para ser mais sensível e cumprir com requisitos de padronização internacional (ISO, 2020).

Os usos de metodologias ativas, como a desenvolvida neste trabalho, permitiram que os alunos investigassem a presença de agrotóxicos e outros agentes tóxicos nos alimentos. Assim, visualizam na prática os efeitos da resposta desses agentes nos animais testados, contribuindo para uma visão crítica sobre como esses mesmos agentes podem influenciar sua saúde e de sua comunidade. Ao realizar as práticas os alunos puderam

desenvolver formas ativas de observar e evidenciar os efeitos dos agrotóxicos e outros contaminantes tóxicos na superfície de alimentos.

Essa prática foi realizada com intuito dos alunos criarem a oportunidade de visualizar através do experimento a importância da lavagem dos alimentos e os riscos inerentes ao consumir alimentos contaminados. Esse trabalho também foi ponte de discussão sobre os impactos dos agrotóxicos para a saúde humana, animal e ambiental e como mitigar esses riscos. Os alunos discutiram sobre a importância do estado em controlar esses agrotóxicos. Países da Europa foram utilizados como exemplo, já possuem valores máximos desses contaminantes na água e alimentos muito menores que no Brasil. Um exemplo abordado foi o Glifosato, herbicida mais vendido no Brasil. Na União Europeia seu limite máximo na água é de 0.1ug/L. No Brasil, o limite máximo é 5.000 vezes maior, cerca de 500ug/L. O livro *Colonialismo Químico e os gráficos do trabalho* de Larissa Bombardi foram apresentados para construir com os alunos a proporção dos efeitos do Glifosato e de outros agrotóxicos à saúde humana, animal e ambiental (Bombardi, 2023).

Embora o experimento tenha destacado a relevância educacional na formação crítica dos alunos, seria interessante explorar como os conhecimentos adquiridos foram aplicados além da sala de aula, especialmente nas comunidades locais dos estudantes. Ao aprofundar a relação entre a teoria e a prática, seria possível observar como os alunos utilizam o aprendizado sobre a presença de agrotóxicos e sua toxicidade para sensibilizar familiares e vizinhos sobre a importância da lavagem adequada dos alimentos e os riscos do consumo de produtos contaminados. Além disso, seria relevante acompanhar a continuidade de ações de conscientização sobre o uso de agrotóxicos e suas consequências para a saúde pública, por meio de campanhas ou projetos comunitários que envolvam os estudantes. Essas atividades não só fortaleceriam a transferência de conhecimento, mas também contribuiriam para a formação de uma rede de agentes multiplicadores de informações sobre segurança alimentar e saúde ambiental nas comunidades locais.

A abordagem prática do conceito CTS dentro de um eixo Pluriversitário tem potencial de extrapolar barreiras tradicionais de ensino, promovendo a integração entre o conhecimento científico e sua aplicação prática na comunidade onde esses estudantes se encontram (Castro, 2022). Como metodologia ativa, os alunos desempenham o papel de protagonistas do desenvolvimento e inovação científica, fortalecendo um ensino que comunique a ideia de produção horizontal, plural e inclusiva.

## 4 Conclusões

Este estudo demonstrou o potencial de *C. elegans* como uma ferramenta biotecnológica e educacional para avaliar a presença de agrotóxicos em alimentos in natura. A abordagem permitiu que alunos do ensino básico desenvolvessem habilidades práticas e críticas por meio de metodologias ativas, promovendo o engajamento no processo científico e a conscientização sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde humana, animal e ambiental. Além de reforçar a importância da higienização de alimentos, o trabalho destacou a necessidade de políticas públicas mais rigorosas no controle de contaminantes, integrando ciência e sociedade em um contexto de Saúde Única e Pluriversidade Solidária.

## 5 Referências

- ATHAR, F., & TEMPLEMAN, N. M. *C. elegans* as a model organism to study female reproductive health. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, 266, 111152, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2022.111152> Acesso: 20 jan. 2025.
- BOMBARDI, L. M. **Agrotóxicos e colonialismo químico**. Primeira edição, Editora Elefante, São Paulo, 2023.
- BRASIL. ministério da saúde. secretaria de atenção à saúde. departamento de atenção Básica. Guia alimentar para a população brasileira / ministério da saúde, secretaria de atenção à saúde, departamento de atenção Básica. – 2. ed., 1. reimpr. – Brasília : ministério da saúde, 2014. 156 p.: il. Disponível em: [https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia\\_alimentar\\_populacao\\_brasileira\\_2ed.pdf](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf) Acesso: 20 jan. 2025.
- CASTRO, Maria Celeste Souza de. Ecologia cognitiva da extensão universitária: encontro, diálogo e colaboração. Tese (Doutorado em Difusão do Conhecimento-Programa de Pós Graduação em Difusão do Conhecimento, Salvador, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/36608> Acesso: 25 jan. 2025.
- CGC SITE. University of Minnesota. Disponível em: <https://cgc.umn.edu/> Acesso: 25 jan. 2025.
- CRADDOCK, H.A., HUANG, D., TURNER, P.C., LESLIAM QUIRÓS-ALCALÁ E DEVON C. PAYNE-STURGES. Trends in neonicotinoid pesticide residues in food and water in the United States, 1999–2015. **Environ Health** 18, 7 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0441-7> Acesso: 20 jan. 2025.
- DAS CHAGAS DE AZEVEDO RIBEIRO, D., GREFF PASSOS, C., & MISKINIS SALGADO, T. D. A temática ambiental Agrotóxicos no Ensino de Ciências da Educação

Básica: Uma revisão bibliográfica. **Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química**, 2(1), e022102, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.56117/resbenq.2021.v2.e022102> Acesso: 20 jan. 2025.

GIUNTI, S., ANDERSEN, N., RAYES, D., & DE ROSA, M. J. (2021). Drug discovery: Insights from the invertebrate *Caenorhabditis elegans*. **Pharmacology Research & Perspectives**, 9(2), e00721, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/prp2.721> Acesso: 20 jan. 2025.

GUBERT, P. **Guia para pesquisadores iniciantes em *Caenorhabditis elegans***. Publicar Editora, 2022.

ISO 10872: 2020. **Water Quality – Determination of the toxic effect of sediment and soil samples on growth, fertility and reproduction of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda)**. Geneva: International Organization for Standardization.

LACERDA BACHETTINI, A., QUINTANA LOPES, L., LUIZ BARRETO DA SILVA, H., & CRISTINA SCOLARI, K. **Pluriversidade em projetos de extensão: resultados e impacto social, cultural e étnico**. *Expressa Extensão*, 28(2), 158–165, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.15210/expressa.v28i2.6557> Acesso: 20 jan. 2025.

LOPES, C. V. A., & ALBUQUERQUE, G. S. C. D. Desafios e avanços no controle de resíduos de agrotóxicos no Brasil: 15 anos do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos. **Cadernos de Saúde Pública**, 37(2), e00116219, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311x00116219> Acesso: 20 jan. 2025.

LOSCH, E. L., ZANATTA, C. B., BARROS, G. P. D., GAIA, M. C. D. M., & BRICARELLO, P. A. Os agrotóxicos no contexto da Saúde Única. **Saúde em Debate**, 46(spe2), 438–454, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022e229> Acesso: 25 jan. 2025.

MICHEL, G. **Operação Carne Tóxica descobre esquema de venda de agrotóxicos ilegais que eram misturados na ração ou sal mineral animal**. G1 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/go/noticia/2021/07/07/operacao-carne-toxica-descobre-esquema-de-venda-de-agrotoxicos-ilegais-que-eram-misturados-na-acao-ou-sal-mineral-animal.ghtml> Acesso: 20 jan. 2025.

MUDD, N., & LICEAGA, A. M. *Caenorhabditis elegans* as an *in vivo* model for food bioactives: A review. **Current Research in Food Science**, 5, 845–856, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.05.001> Acesso: 21 jan. 2025.

NIGON, V. M., & FÉLIX, M.-A. History of research on *C. elegans* and other free-living nematodes as model organisms. **WormBook**, 1–84, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1895/wormbook.1.181.1> Acesso: 21 jan. 2025.

NOBEL ASSEMBLY AT THE KAROLINSKA INSTITUTET. (2024). **2024 Nobel Prize in Physiology or Medicine**. The Nobel Assembly at the Karolinska Institutet. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2024/11/press-medicineprize2024.pdf> Acesso: 22 jan. 2025.

OPENWORM SITE, OpenWorm Foundation, 2025. Disponível em: <https://openworm.org/> Acesso: 22 jan. 2025.

ROCHA, R. R. O., & ALVAREZ, V. M. P. Fiscalização Ambiental De Agrotóxicos No Brasil. **Ambiente & Sociedade**, 26, e02012, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210201r2vu202311ao> Acesso: 25 jan. 2025.

SANTOS, BOAVENTURA DE SOUSA. **Pela mão de Alice: O social e o político na pós-modernidade**. 4º ed. Editora Cortez, Perdizes, 1997.

SANTOS, BOAVENTURA DE SOUSA. **A Universidade no sec. XXI: por uma universidade nova**, Editora Almedina Brasil, São Paulo, 2008.

SANTOS, B. DE S., GUILHERME, M., & DIETZ, G. Da universidade à pluriversidade: Reflexões sobre o presente e o futuro do ensino superior. *Revista Lusófona De Educação*, 31(31), 2016. Disponível em: <https://revistas.ulusofona.pt/index.php/rleducacao/article/view/5388>. Acesso: 20 jan. 2025.

SANTOS, BOAVENTURA DE SOUSA. **O futuro começa agora**. Boitempo Editorial, São Paulo, 2023.

STIERNAGLE, T. **Maintenance of *C. elegans***. WormBook, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1895/wormbook.1.101.1> Acesso: 22 jan. 2025.

SULE, S. S., PETSUK, A. L., & PEARCE, J. M. **Open Source Completely 3-D Printable Centrifuge. Instruments**, 3(2), 30, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/instruments3020030> Acesso: 23 jan. 2025.

**WORMATLAS SITE**. National Institutes of Health (NIH). Disponível em: WormAtlas. <https://www.wormatlas.org/> Acesso: 25 jan. 2025.

**WORMBOOK SITE**. National Institutes of Health (NIH), 2025. Disponível em: [http://www.wormbook.org/chapters/www\\_nematodeshistory/nematodeshistory.html](http://www.wormbook.org/chapters/www_nematodeshistory/nematodeshistory.html) Acesso: 20 jan. 2025.

ZHANG, W., ZHANG, N., ZHENG, S., ZHANG, W., LIU, J., HE, L., EZEMADUKA, A. N., LI, G., NING, J., XIAN, B., & GAO, S. Effects of commercial beverages on the neurobehavioral motility of *Caenorhabditis elegans*. *PeerJ*, 10, e13563, 2022. <https://doi.org/10.7717/peerj.13563> Acesso: 20 jan. 2025.

### Considerações éticas

As imagens apresentadas neste artigo incluem exclusivamente os autores do trabalho que foram realizadas dentro da prática de ensino dos alunos em parceria com o professor regular de Biologia e com a devida autorização da escola participante. Ressaltamos que não houve qualquer tipo de experimentação envolvendo seres humanos e animais vertebrados e todos os procedimentos seguiram rigorosamente os cuidados éticos estabelecidos.

**Recebido em:** 31 de janeiro de 2025

**Aceito em:** 17 de julho de 2025