



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

ESTUDO DA SELETIVIDADE ALIMENTAR EM TENÉBRIOS GIGANTES
(*ZOPHOBAS ATRATUS*) COMO AGENTE BIOREDUTOR: CONSUMO DE EPS,
SACOS PLÁSTICOS E BITUCAS DE CIGARRO

Jessyca Taynara Melo Moura

Recife-PE

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

ESTUDO DA SELETIVIDADE ALIMENTAR EM TENÉBRIOS GIGANTES
(*ZOPHOBAS ATRATUS*) COMO AGENTE BIOREDUTOR: CONSUMO DE EPS,
SACOS PLÁSTICOS E BITUCAS DE CIGARRO

Jessyca Taynara Melo Moura
Graduanda

Prof. Dr. Fernando de Figueiredo Porto Neto
Orientador

Recife - PE
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

M929e Moura, Jessyca Taynara Melo.
Estudo da seletividade alimentar em tenébrions gigantes
(*Zophobas atratus*) como agente bio-redutor: consumo de
eps, sacos plásticos e bitucas de cigarro / Jessyca Taynara
Melo Moura. - Recife, 2025.
37 f.; il.

Orientador(a): Fernando de Figueiredo Porto Neto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado
em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Bitucas de cigarro. 2. Poliestireno expandido. 3.
Sacolas plásticas. 4. Sustentabilidade 5. *Zophobas atratus*.
I. Porto Neto, Fernando de Figueiredo, orient. II. Título

CDD 636



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Jessyca Taynara Melo Moura

Graduanda

Monografia submetida ao curso de Zootecnia como requisito para obtenção do grau de bacharel em Zootecnia.

Aprovado em 18/11/2025

EXAMINADORES

Prof. Dr. Fernando de Figueiredo Porto Neto

Orientador

Prof.(a) Dra. Darclét Teresinha Malerbo de Souza

UFRPE

Prof.(a) Dra. Soraya Giovanetti El-Deir

PPEAMB - UFRPE

Zootecnista Carlos Frederico Silva da Costa

UFRPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me sustentado durante toda esta caminhada acadêmica. Foi Sua presença que me deu força nos momentos de dificuldade, sabedoria nas horas de incerteza e serenidade para continuar quando o cansaço parecia maior que a vontade de prosseguir. Sem essa luz que guiou meus passos, esta conquista não seria possível.

Expresso minha mais profunda gratidão à minha família, que sempre foi minha base e meu porto seguro. À minha mãe, Maria Aparecida, deixo todo o meu amor e reconhecimento. Obrigada por cada palavra de incentivo, por cada gesto de cuidado e por todo o apoio durante este percurso. Seu exemplo de força, dedicação e amor me inspira a buscar sempre o melhor de mim.

Agradeço também aos meus avós, que, com seu carinho, orações e sabedoria, contribuíram para que eu chegasse até aqui. O afeto e o apoio de vocês me acompanharam em todas as etapas da vida e me deram ainda mais motivos para lutar por este sonho.

Aos meus primos, em especial Diogo e Douglas, deixo minha sincera gratidão. Vocês estiveram presentes de maneiras especiais, oferecendo apoio, incentivo e companhia nos momentos em que mais precisei. Cada demonstração de cuidado e cada palavra amiga tiveram grande importância ao longo desta jornada.

Deixo também um agradecimento cheio de carinho à minha namorada, que foi essencial durante este processo. Obrigada por estar ao meu lado nos dias bons e, principalmente, nos difíceis. Seu apoio emocional, sua paciência, sua compreensão e cada gesto de amor contribuíram para que eu tivesse força para continuar. Ter você comigo tornou essa trajetória muito mais leve e significativa.

Registro minha gratidão aos meus professores, que desempenharam papel fundamental em minha formação acadêmica e pessoal. A cada aula, orientação e troca de conhecimento, vocês ajudaram a construir quem sou hoje. Em especial, agradeço ao meu orientador, Professor Fernando Porto, pela dedicação, paciência e compromisso durante o desenvolvimento deste trabalho. Suas orientações, sua disponibilidade e seu rigor acadêmico foram essenciais para que este TCC se concretizasse com qualidade e significado. Sou profundamente grata por todo o aprendizado proporcionado.

Aos meus amigos e colegas de curso, deixo meu sincero agradecimento pelo companheirismo, pelas conversas que aliviaram a rotina exaustiva e pelo apoio mútuo nos

momentos mais desafiadores. Em especial, agradeço a Hugo, que esteve comigo desde o primeiro período, compartilhando aprendizado, desafios e crescimento ao longo de toda a trajetória acadêmica. Sua presença constante fez toda a diferença.

Agradeço também a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. Agradeço à Lucinha, que gentilmente forneceu as bitucas de cigarro utilizadas no desenvolvimento deste estudo, contribuição essencial para a execução da pesquisa.

Finalizo este agradecimento com o coração cheio de gratidão. Este trabalho representa não apenas o encerramento de uma fase, mas também o início de uma nova etapa construída com esforço, dedicação e, principalmente, com o apoio e o amor de pessoas fundamentais na minha vida. A todos vocês, meu muito obrigada.

RESUMO

O descarte inadequado de resíduos sólidos, especialmente plásticos e bitucas de cigarro, tem se tornado um dos principais desafios ambientais da atualidade. A poluição por resíduos plásticos e bitucas de cigarro representa um risco ambiental significativo, devido à alta persistência desses materiais no ambiente. Nesse contexto, alguns insetos têm demonstrado capacidade de consumir determinados tipos de resíduos sintéticos, com destaque para as larvas de tenébrios, tanto a espécie molitor, quando a gigante. Assim, o presente experimento visa investigar o consumo de EPS (isopor), folhas plásticas (polietileno) e bitucas de cigarro por larva de tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*). Os resultados apontam para maior facilidade de bio-redução para EPS (isopor), seguindo por bitucas de cigarro, e com resultados pouco promissores para folhas plásticas de polietileno. O EPS foi introduzido em forma de copos no experimento, e a bio-redução resultou em fezes sem pedaços de plástico, mostrando a eficiência deste tipo de larva. Bitucas de cigarro foram reduzidas, porém mostrou-se a necessidade de triturar o material, para melhorar a forma de oferta para os tenébrios. Folhas plásticas mal foram tocadas pelos tenébrios, e estudos posteriores precisam ser feitos para saber se tenébrios podem ser usados para esse tipo de trabalho de bio-redução.

Palavras-chave: Bitucas de cigarro; poliestireno expandido; sacolas plásticas; sustentabilidade; *Zophobas atratus*.

ABSTRACT

Pollution from plastic waste and cigarette butts represents a serious environmental risk. Some insects can consume this type of material, mainly in their larval stages, as is the case with the mealworm group, both the *Mealworm* species and the giant mealworm species. Thus, this experiment aims to investigate the consumption of EPS (styrofoam), plastic sheets (polyethylene), and cigarette butts by giant mealworm larvae (*Zophobas atratus*). The results indicate greater ease of bioreduction for EPS (styrofoam), followed by cigarette butts, with less promising results for polyethylene plastic sheets. EPS was introduced in the form of cups in the experiment, and bioreduction resulted in feces without plastic pieces, showing the efficiency of this type of larva. Cigarette butts were reduced, but the need to shred the material to improve the way it is offered to the mealworms was shown. The plastic sheets were barely touched by the mealworms, and further studies need to be done to determine if mealworms can be used for this type of bioreduction work.

Keywords: Expanded polystyrene; plastic bags; cigarette butts; *Zophobas atratus*; sustainability

SUMÁRIO

RESUMO.....	05
ABSTRACT.....	06
1. INTRODUÇÃO.....	07
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Geral.....	10
2.2. Específico.....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3.1 EPS (Poliestireno Expandido)	11
3.2 Sacolas plásticas.....	12
3.3 Bitucas de cigarro.....	13
3.4 Tenébrios (<i>Zophobas atratus</i> e <i>Tenebrio molitor</i>).....	14
3.5 Sustentabilidade e bioedução.....	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
6. CONCLUSÕES.....	29
7.REFERÊNCIAS	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Aspectos dos tipos de meio de cultivo em que os tenébrios foram submetidos (A: meio normal, ração; B: bitucas de cigarro; C: saco plástico; D: copos de EPS). .	17
Figura 2 Representação esquemática do desenho experimental.....	18
Figura 3 Aspectos da destruição do EPS pelos tenébrios gigantes (acima: copo inteiro, abaixo: meio copo).	20
Figura 4 Aspectos da destruição do EPS pelos tenébrios gigantes, produzindo microplásticos (pontos brancos), que se misturam as fezes (pontos marrons).	22
Figura 5 Aspectos dos resíduos do cultivo de tenébrios: fezes e microplásticos.	23
Figura 6 Aspectos finais das folhas plásticas utilizadas.	24
Figura 7 Aspectos finais das folhas plásticas utilizadas (A: margem/borda intacta da folha plástica; B: mordida na borda; C: borda de um dos furos, mostrando as “dentadas”).	25
Figura 8 Aspectos das bitucas de cigarro usadas neste experimento (A: bitucas retas; B: bitucas amassadas).	27
Figura 9 Aspecto de uma bituca de cigarro usada neste experimento (A: depois da ação dos tenébrios; B: antes).....	28
Figura 10 Aspectos da degradação do filtro dos cigarros usados neste experimento (A: antes da ação dos tenébrios; B: depois).....	29
Figura 11 Aspectos da continuação do ciclo de vida das larvas (A: pupas de tenébrios; B: pupas e besouro claro – juvenil; C: besouros de cores claras, juvenis, e escuro, mais velho).	30

1. INTRODUÇÃO

A poluição ambiental provocada pelo descarte inadequado de resíduos sólidos é uma das maiores preocupações globais, especialmente em relação aos plásticos e às bitucas de cigarro. Esses materiais estão presentes em diversos ecossistemas terrestres e aquáticos, persistindo por longos períodos devido à baixa taxa de degradação natural (Jambeck et al., 2015; Harris et al., 2021; Kurniawan et al., 2021)

Estima-se que cerca de 80% do lixo presente nos mares seja composto por plásticos, resultado do consumo excessivo e da falta de políticas eficazes de gestão e reciclagem (Quirino; Santos, 2020). A fragmentação desses resíduos gera microplásticos que podem ser ingeridos por organismos aquáticos e, conseqüentemente, alcançar a cadeia alimentar humana, representando riscos à biodiversidade e à saúde pública (Silva et al., 2020).

Os plásticos sintéticos mais comuns, como o poliestireno expandido (EPS), o polietileno (PE) e o polipropileno (PP), são amplamente utilizados em embalagens e produtos descartáveis. Apesar de suas vantagens econômicas e funcionais, apresentam uma decomposição extremamente lenta, podendo levar séculos para se degradarem completamente (Costa; Oliveira, 2022). O acúmulo desses materiais em aterros, rios e oceanos causa sérios impactos ambientais, como a morte de fauna marinha, entupimento de sistemas de drenagem e contaminação do solo e da água subterrânea (Jambeck et al., 2015).

Entre os resíduos mais comuns e negligenciados estão também as bitucas de cigarro, cujo descarte inadequado representa um grave problema ambiental. Estima-se que cerca de 4,5 trilhões de unidades sejam lançadas anualmente no ambiente (Marchi; Machado; Trevisan, 2014). Compostas por acetato de celulose, um polímero derivado do petróleo, podem persistir por até sete anos no meio ambiente e liberar substâncias tóxicas, como nicotina e metais pesados (Souza; Conegero, 2009). Seu acúmulo em vias públicas e sistemas de escoamento contribui para enchentes, entupimentos e até incêndios urbanos (Arruda, 2016).

De acordo com o World Wildlife Fund (WWF), o Brasil foi o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo em 2016, produzindo cerca de 11,3 milhões de toneladas (Vasconcelos, 2019). Deste valor, 10,3 milhões (91% do total) foi coletada pelo serviço de limpeza urbana, porém apenas 145 mil toneladas foram encaminhadas

para reciclagem. Todavia, para outros institutos sociais, como a Plastivida e Abiplast, estes números apresentados pela WWF estão equivocados e são inferiores. Para esses institutos, a relação do volume reciclado pelo consumo total de plástico no ano é cerca de 9% - próximo da porcentagem mundial (Vasconcelos, 2019)

Diante desse cenário, torna-se urgente desenvolver estratégias sustentáveis para a redução e o manejo de resíduos não biodegradáveis. Além das práticas convencionais, como a reciclagem e o reaproveitamento industrial, diversos estudos têm explorado soluções biotecnológicas que utilizam microrganismos e insetos como agentes biodegradadores, capazes de acelerar processos de decomposição e transformar resíduos complexos em compostos menos nocivos.

Nesse contexto, as larvas de *Zophobas atratus*, conhecidas como tenébrios gigantes, têm se destacado por sua capacidade de se alimentar de materiais orgânicos e plásticos, como o poliestireno expandido (EPS) e o etileno acetato de vinila (EVA), promovendo alterações químicas que indicam biodegradação (Abdulhay, 2020; Bulak, 2021; Bozek et al., 2017). Essa habilidade está relacionada à ação de enzimas digestivas e de microrganismos intestinais que quebram as cadeias poliméricas em compostos mais simples.

Pesquisas recentes, como a de Pereira (2023), evidenciam que essas larvas conseguem degradar parcialmente materiais plásticos, reduzindo massa e modificando sua estrutura, o que demonstra o potencial da espécie como uma ferramenta biotecnológica promissora na mitigação da poluição plástica. Além disso, as larvas apresentam alta taxa de sobrevivência e podem completar seu ciclo de vida mesmo quando alimentadas com resíduos sintéticos, ampliando sua viabilidade em estudos experimentais.

Além de sua função ecológica, *Zophobas atratus* possui elevado valor nutricional, sendo rica em proteínas, lipídios, fibras e minerais (Lou et al., 2021). Na natureza, suas larvas e adultos podem servir de alimento para diferentes predadores, como aves, répteis, pequenos mamíferos, peixes e outros insetos, o que evidencia seu papel na cadeia trófica. Essa característica possibilita o aproveitamento da biomassa gerada durante os processos de biorredução, transformando um agente ambiental num recurso econômico e sustentável. Dessa forma, o estudo do comportamento alimentar dessas larvas frente a resíduos como EPS, sacolas plásticas e bitucas de cigarro contribui para o desenvolvimento de soluções

biotecnológicas voltadas à gestão de resíduos e à redução da poluição ambiental., agregando valor ecológico e socioeconômico (Pereira, 2023).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento alimentar e o potencial de biodegradação das larvas de *Zophobas atratus* frente a diferentes resíduos sólidos, especificamente EPS, sacolas plásticas e bitucas de cigarro. A partir dessa análise, busca-se compreender a viabilidade biotecnológica da espécie como alternativa sustentável para o manejo de resíduos não biodegradáveis.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo **analisar e avaliar** um sistema de produção de tenébrions gigantes (*Zophobas atratus*) como agentes bioredutores no consumo de EPS, sacos plásticos e bitucas de cigarro.

2.2. Objetivos específicos

Determinar a taxa de redução de EPS, sacos plásticos e bitucas de cigarro.

Avaliar a seletividade dos tenébrions em relação aos diferentes tipos de resíduos.

Verificar a capacidade dos tenébrions de completar o ciclo de vida, incluindo a produção de besouros, após a exposição aos agentes poluentes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Poliestireno Expandido (EPS)

O poliestireno expandido (EPS) destaca-se como um dos polímeros mais utilizados mundialmente em embalagens, isolamento térmico e aplicações industriais. Sua leveza, capacidade de amortecimento e relativa resistência mecânica fazem deste um material economicamente vantajoso para diversos setores produtivos. No entanto, essas mesmas características funcionais tornam o EPS um dos plásticos mais críticos para o meio ambiente, já que sua estrutura química é altamente resistente à degradação natural. De acordo com Tahroudi et al. (2025), a composição do EPS impede processos eficientes de decomposição por agentes ambientais comuns, resultando em sua permanência no solo e na água por décadas.

O acúmulo de EPS no ambiente está diretamente relacionado à sua fragmentação em microplásticos, partículas menores que são facilmente transportadas pelo vento e pela água. Essa fragmentação representa um problema crescente, pois microplásticos têm maior capacidade de dispersão e podem ser ingeridos por organismos aquáticos e terrestres, afetando a fauna e a flora. Xu et al. (2024) destacam que o EPS possui uma das menores taxas de reciclagem do mundo, principalmente devido ao seu grande volume e baixo peso, características que elevam os custos logísticos de coleta e transporte.

Além de problemas ambientais, o EPS também apresenta desafios tecnológicos relacionados à sua reciclagem. No Brasil, o material é reciclado em percentuais muito baixos, em grande parte devido à ausência de infraestrutura adequada para recebê-lo e processá-lo. Mumbach, Bolzan e Machado (2020) argumentam que, embora existam técnicas promissoras de dissolução do EPS em solventes naturais, o investimento necessário ainda é alto, o que dificulta a adoção dessas alternativas em larga escala.

Nesse contexto, pesquisas globais buscaram alternativas, como processos de reciclagem química e térmica. Myint et al. (2010) demonstraram que o EPS triturado pode ser reaproveitado na formulação de tintas, reduzindo a demanda por matérias-

primas virgens. Outras abordagens utilizam o material reprocessado em novos produtos, como painéis estruturais leves, conforme apontado por Assaad, Mikhael e Hanna (2022). Tais alternativas mostram potencial, mas dependem de políticas públicas, incentivos fiscais e conscientização social para serem incorporadas efetivamente no ciclo de produção.

Um tema que ganhou atenção nos últimos anos foi a possível biodegradação do EPS por insetos, principalmente por larvas de coleópteros. Estudos de Tahroudi et al. (2025) mostraram que larvas de *Tenebrio molitor* fragmentam o material, mas sem alterar sua estrutura química. Gutierrez-Velasquez, Monteiro e Colorado (2021) identificaram alterações metabólicas, mas concluíram que a degradação é parcial e insuficiente para considerar o processo como solução sustentável. Portanto, tais iniciativas ainda se encontram em fase experimental e não substituem métodos convencionais de reciclagem.

Dessa forma, observa-se que o gerenciamento do EPS exige soluções combinadas envolvendo reciclagem mecânica, química e políticas públicas consistentes, evidenciando que sua complexidade demanda abordagens multidisciplinares.

3.2 Sacolas Plásticas

As sacolas plásticas estão entre os principais resíduos sólidos urbanos devido à sua ampla distribuição e ao uso predominantemente descartável. Por serem muito leves e facilmente transportadas pelo vento, elas se acumulam em ruas, terrenos baldios, margens de rios e oceanos. Souza et al. (2018) afirmam que, devido à sua composição de polietileno de baixa densidade (PEBD), essas sacolas apresentam grande resistência à degradação natural, permanecendo no ambiente por muitos anos.

Estudos mostram que, ao se fragmentarem, as sacolas plásticas dão origem a microplásticos que representam riscos graves à fauna e à saúde ambiental. Esses microplásticos são facilmente ingeridos por peixes, aves e pequenos mamíferos, podendo provocar bloqueios intestinais, redução da capacidade alimentar e até morte dos organismos afetados. Monteiro et al. (2020) reforçam que a contaminação por

microplásticos também contribui para a bioacumulação de substâncias tóxicas ao longo da cadeia alimentar.

Quanto aos impactos socioambientais, pesquisas indicam que sacolas plásticas entopem bueiros e sistemas de drenagem urbana, agravando enchentes e aumentando custos municipais com limpeza urbana e manutenção. Santos, Barbosa e Almeida (2019) observam que esses resíduos também servem como vetor para proliferação de insetos e doenças em ambientes urbanos, ampliando impactos sanitários.

A percepção da sociedade em relação ao uso de sacolas plásticas também é um ponto crítico. Silva, Lima e Rodrigues (2020) mostram que, apesar de a população apresentar certa consciência dos impactos ambientais, a mudança de comportamento ainda é limitada. Estudos indicam que muitos consumidores continuam escolhendo sacolas plásticas por sua praticidade, reforçando a necessidade de ações educativas contínuas.

No campo legislativo, diversos municípios brasileiros já adotaram políticas de restrição ao uso de sacolas plásticas, incentivando alternativas como sacolas biodegradáveis, compostáveis ou reutilizáveis. Entretanto, Santos e Barbosa (2019) alertam que essas substituições só são eficazes quando acompanhadas de campanhas de conscientização e fiscalização adequada, pois alguns materiais “biodegradáveis” só se degradam completamente em condições industriais.

3.3 Bitucas de Cigarro

As bitucas de cigarro são um dos resíduos mais encontrados nas cidades e representam um dos maiores desafios para o manejo ambiental. Brito (2021) explica que os filtros dos cigarros são fabricados com acetato de celulose, um polímero resistente à degradação e que pode permanecer no ambiente por longos períodos. Além disso, as bitucas retêm substâncias tóxicas presentes no cigarro, como nicotina, metais pesados e compostos carcinogênicos que podem contaminar o solo e a água.

Estudos mostram que a lixiviação dessas substâncias é altamente prejudicial aos organismos aquáticos. Silva e Gomes (2020) demonstraram que pequenas concentrações de substâncias provenientes das bitucas são suficientes para alterar parâmetros biológicos de peixes e invertebrados aquáticos. Rocha e Fernandes

(2020) reforçam que a poluição por bitucas é especialmente intensa em regiões urbanas com grande fluxo de fumantes, como praças, bares e instituições de ensino.

Outro problema relacionado às bitucas é o comportamento dos fumantes. Zneiman (2021) observou que muitos consideram erroneamente o filtro biodegradável, o que contribui para o descarte em ruas e bueiros. A autora destaca que coletores específicos e campanhas educativas podem reduzir significativamente o descarte inadequado, mas sua eficácia depende da conscientização social.

A pesquisa de Rocha et al. (2020) aponta alternativas em desenvolvimento, como a incorporação de bitucas em tijolos e materiais de construção. No entanto, há limitações relevantes ligadas à contaminação química e à necessidade de protocolos sanitários rigorosos. Portanto, embora existam propostas inovadoras, a gestão adequada das bitucas ainda exige políticas públicas, fiscalização e ampliação da educação ambiental.

Assim, os estudos mostram que as bitucas constituem um resíduo tóxico e persistente, cuja gestão adequada demanda ações conjuntas envolvendo campanhas educativas, regulamentações públicas rigorosas e alternativas tecnológicas que mitiguem seu impacto ambiental.

3.4 Tenébrios (*Zophobas atratus* e *Tenebrio molitor*)

O uso de larvas de coleópteros, como *Tenebrio molitor* e *Zophobas atratus*, como agentes de bioedução de resíduos plásticos tem despertado grande interesse científico. Lopes et al. (2019) destacam que essas larvas conseguem ingerir poliestireno expandido (EPS), quebrando sua estrutura física e reduzindo o tamanho dos fragmentos. Essa capacidade gerou expectativas sobre possíveis aplicações biotecnológicas.

No entanto, estudos mais aprofundados mostram limitações importantes. Tahroudi et al. (2025) demonstraram que, apesar da fragmentação, não ocorre degradação química significativa do EPS, indicando que o processo não resolve o problema ambiental. Tsochatzis et al. (2022) afirmam que dietas compostas exclusivamente por EPS prejudicam a microbiota intestinal das larvas e comprometem seu desenvolvimento biológico, o que limita sua viabilidade para processos industriais.

Além disso, Gutierrez-Velasquez, Monteiro e Colorado (2021) relataram modificações metabólicas nas larvas durante a ingestão do EPS, mas observaram que a degradação resultante é parcial. Em outras palavras, embora *Zophobas atratus* apresente potencial como ferramenta complementar na redução volumétrica de resíduos plásticos, essa estratégia não substitui processos de reciclagem consolidados.

3.5 Sustentabilidade e Bioedução

A sustentabilidade no manejo de resíduos plásticos requer estratégias integradas que combinem tecnologia, legislação e conscientização social. Segundo Carvalho e Souza (2020), o aumento na produção de plásticos contribui para a intensificação da poluição e exige ações coordenadas para mitigar seus impactos. Monteiro et al. (2024) apontam que a economia circular surge como um modelo eficiente, no qual materiais são reutilizados e reinseridos na cadeia produtiva, reduzindo a demanda por recursos naturais.

Além disso, Xu et al. (2024) afirmam que técnicas avançadas de reciclagem, como reciclagem química, pirólise e processos de despolimerização, representam alternativas promissoras para o tratamento de plásticos complexos. No entanto, essas tecnologias ainda carecem de investimentos públicos e privados para se tornarem amplamente acessíveis. Mumbach, Bolzan e Machado (2020) reforçam que a bioedução por insetos e microrganismos, embora experimental, oferece caminhos complementares para minimizar o impacto dos resíduos plásticos.

A participação social também é fundamental. Programas de educação ambiental contribuem para reduzir o descarte inadequado e fortalecer práticas sustentáveis de consumo. A gestão pública, por sua vez, desempenha papel essencial na formulação de políticas que estimulem a redução de resíduos, a responsabilidade compartilhada e o desenvolvimento tecnológico.

Portanto, a sustentabilidade aplicada aos resíduos plásticos depende da articulação entre ciência, políticas públicas e participação social, sendo fundamental o desenvolvimento de práticas integradas capazes de reduzir impactos ambientais e promover modelos de consumo mais responsáveis.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquacultura e Sustentabilidade do Departamento de Zootecnia da UFRPE, entre de 07 de outubro e 15 de novembro de 2025.

Para tal, oito caixas organizadoras semitransparentes (cinza), com 10 litros de volume cada, foram empregadas. Cada caixa tinha suas tampas perfuradas, para manutenção do equilíbrio da temperatura com o meio externo, e trocas gasosas com a atmosfera da sala de cultivo.

Em cada caixa, 100 larvas de tenébrios foram introduzidas, sendo duas caixas consideradas “*Controle*” (alimentação normal - ração); duas caixas (repetições) com copos de EPS, com 2 milímetros de espessura, comumente encontrados nos mercados, sendo um mantido inteiro e outro partido ao meio (*Tratamento 1*); duas caixas com dois pedaços de 20 cm² de sacos plásticos (provenientes de sacolas de mercados), sendo uma com sacos brancos, e outra com sacos plásticos na cor verde musgo (*Tratamento 2*); e duas caixas com bitucas de cigarro (*Tratamento 3*) (Figuras 1 e 2).

Cem bitucas de cigarro (fumados) foram introduzidas no experimento, sendo cerca de 50 bitucas, aleatoriamente adicionadas em cada caixa de cultivo.

Como fonte de umidade foram utilizadas fatias de batatas, que eram trocadas a cada dois dias, ou quando havia pequenas moscas sobre as batatas. Nenhuma outra forma de adição de umidade foi utilizada (por borrifamento, como visto em outros tipos de cultivos de larvas de tenébrios), e isto visou manter a integridade dos resíduos utilizados, e evitar a formação de lama no fundo das caixas de cultivo, pela mistura das fezes dos tenébrios com a umidade.

Após o período amostral, as larvas foram transferidas para uma caixa preta, não translúcida, e continuaram seu ciclo de vida em cultivo normal, em cama de ração, onde posteriormente se tornaram pupas, e em seguida houve a metamorfose para insetos voadores.

Em seguida foi estimado, após limpeza simples do material (retirada de fezes), o peso final de bitucas de cigarro, copos plásticos e sacos plástico.

Paralelamente, a medição da temperatura interna da sala de cultivo foi tomada, bem como umidade relativa do ar, e temperatura do ponto de orvalho, visando a manutenção de padrões ambientais ótimos para o cultivo das larvas.

As caixas de cultivo não foram expostas ao sol, ou a luz direta de janelas. Este inseto (assim como o *Tenébrio molitor*) possui hábitos preferencialmente noturnos e exige, para sua maior produtividade, ambientes secos e temperaturas em torno de 26 a 32 °C. Sua dieta normal consiste basicamente em farelo de trigo, excelente fonte de proteína, e por esse motivo também é popularmente conhecida como larva da farinha. Porém, para redução dos custos com alimentação, muitos produtores de inseto utilizam o farelo de milho como cama de alimentação - ração (JUNIOR, FERREIRA, PEDERIVA, 2018).

Figura 1 Aspectos dos tipos de meio de cultivo em que os tenébrios foram submetidos (A: meio normal, ração; B: bitucas de cigarro; C: saco plástico; D: copos de EPS).



Figura 2 Representação esquemática do desenho experimental.



5. Resultados e discussão

Foi observado consumo esperado de alimento na caixa controle, considerando a dieta convencional à base de ração, sem alterações comportamentais ou fisiológicas aparentes ao longo do período experimental.

Com relação aos copos de EPS, o consumo foi semelhante aos resultados encontrados por Santos (2025), sob condições semelhantes de cultivo. Analisando-se os resultados obtidos de Yang et al. (2018), a sobrevivência das larvas de *Tenebrio molitor*, quando alimentadas somente por EPS, se encontra na faixa de 90%, valor que não difere tanto quando alimentados somente por farelo de trigo. Esse resultado evidencia que estas larvas podem sobreviver e chegar ao estado adulto (besouro) com uma dieta somente de material polimérico, durante 32 dias, como registrado neste experimento.

Foi notado que os copos inteiros foram consumidos através de furos nas laterais, porém a área mais afetada pelos tenébrios foi o fundo dos copos, na altura da dobra (Figura 3).

Figura 3 Aspectos da destruição do EPS pelos tenébrios gigantes (acima: copo inteiro, abaixo: meio copo).



Os resultados obtidos por Bozek et al. (2017) mostraram que, com uma dieta restrita a EPS, houve sinais de canibalismo entre as larvas, com sumiço parcial ou total de algumas larvas. Estes sinais também podem ser resultado de condições de baixa umidade advindas de sua alimentação. No experimento realizado não houve sinais de canibalismo.

Em relação aos sacos plásticos, foi observado que os tenébrios não consumiram os pedaços fornecidos, e limitaram-se a fazer pequenas (e poucas) perfurações no plástico.

As larvas de tenébrios conseguem degradar plásticos à base de poliestireno, especialmente o poliestireno expandido (EPS), mas as pesquisas científicas concentram-se principalmente nesse material, não em sacos plásticos compostos por polietileno. (como o isopor), não em sacos plásticos comuns, que geralmente são feitos de polietileno. Estudos mostram que as larvas do besouro *Tenebrio molitor* e dos "supervermes" (*Zophobas morio*) são capazes de consumir e digerir poliestireno expandido (isopor), de acordo com Galileu (2024). Sacos plásticos são, em sua

maioria, feitos de polietileno. Embora alguns estudos mencionem a capacidade geral de reduzir "resíduos plásticos", a eficácia das larvas de tenébrios especificamente para o polietileno de sacos plásticos não é tão documentada quanto para o poliestireno. Outras larvas, como a *Galleria mellonella* (traça-do-favo-de-mel), mostraram-se mais promissoras na degradação de polietileno (Pai, 2020).

A biodegradação ocorre graças às bactérias presentes no intestino das larvas, que possuem enzimas capazes de quebrar as longas cadeias poliméricas do plástico em moléculas menores e menos prejudiciais. Estudos em desenvolvimentos tecnológicos vêm tentando auxiliar os problemas gerados por estes, e descobertas recentes indicam que as larvas do inseto *Tenebrio molitor* possuem a capacidade de biodegradar certos plásticos, como poliestireno, Policloreto de Vinila (PVC) e Poliacido Láctico (PLA).

De acordo com os estudos analisados, as larvas de *Tenebrio molitor* possuem em seus sistemas digestivos bactérias que tem a capacidade de decompor plástico; e assim, as larvas conseguem consumir polímeros como: Poliestireno, Policloreto de Vinila (PVC) e Poliacido Láctico (PLA) (Bozek e Hanus-Lorenz, 2017; Peng et al., 2020). Não foram encontrados artigos na literatura científica que evidenciem o potencial de Tenébrios gigantes na bio-redução de plásticos.

Outro ponto a ser considerado é o fato de os plásticos serem ou não biodegradados, ou se são fragmentados pelos insetos em forma de microplásticos. Visto que a maioria dos plásticos utilizados atualmente contém aditivos, como retardantes de chama e plastificantes, questiona-se como ocorre a fragmentação e a eliminação do poliestireno com aditivos pelos insetos.

Nesta pesquisa, sob análise microscópica, as fezes foram avaliadas, e não foram observados fragmentos de EPS microscópicos resultantes de digestão, indicando que o material não é digerido, mas sim triturado mecanicamente, podendo gerar microplásticos durante a mastigação ou locomoção das larvas, como também relatado por Santos (2025).

É possível verificar também pequenos pontos brancos no recipiente, excretas dos insetos e/ou partículas menores de poliestireno expandido devido a trituração do plástico, ponto importante a ser analisado futuramente para verificar possíveis problemas envolvendo microplásticos, conforme, como mostrado na Figura 4.

A fragmentação de resíduos plásticos em microplásticos levanta preocupações ambientais adicionais, especialmente quanto à sua inserção na cadeia trófica. Microplásticos podem ser ingeridos por organismos de diferentes níveis tróficos, incluindo insetos, peixes e aves, potenciais predadores naturais de *Zophobas atratus*. Embora o presente estudo não tenha avaliado a incorporação de microplásticos em tecidos biológicos, a fragmentação observada indica a necessidade de cautela quanto ao destino ambiental desses resíduos e seus possíveis efeitos ao longo da teia alimentar.

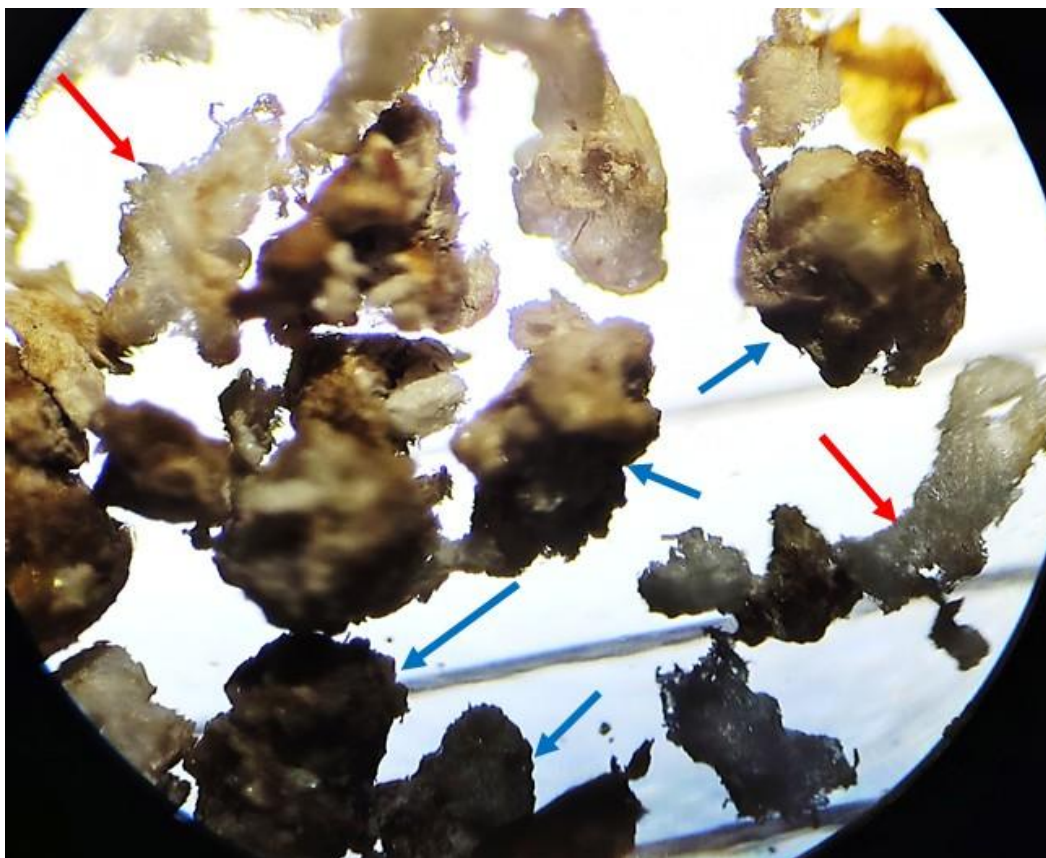
Figura 4 Aspectos da destruição do EPS pelos tenébrios gigantes, produzindo microplásticos (pontos brancos), que se misturam as fezes (pontos marrons).



Sob microscopia, as fezes dos tenébrios foram verificadas, e por maceração, não foi possível detectar, visualmente, microplásticos em sua composição. A (Figura 5) Ressalta-se que a ausência de microplásticos íntegros nas fezes não indica digestão do polímero, mas sim fragmentação em partículas microscópicas decorrentes da trituração mecânica do material.

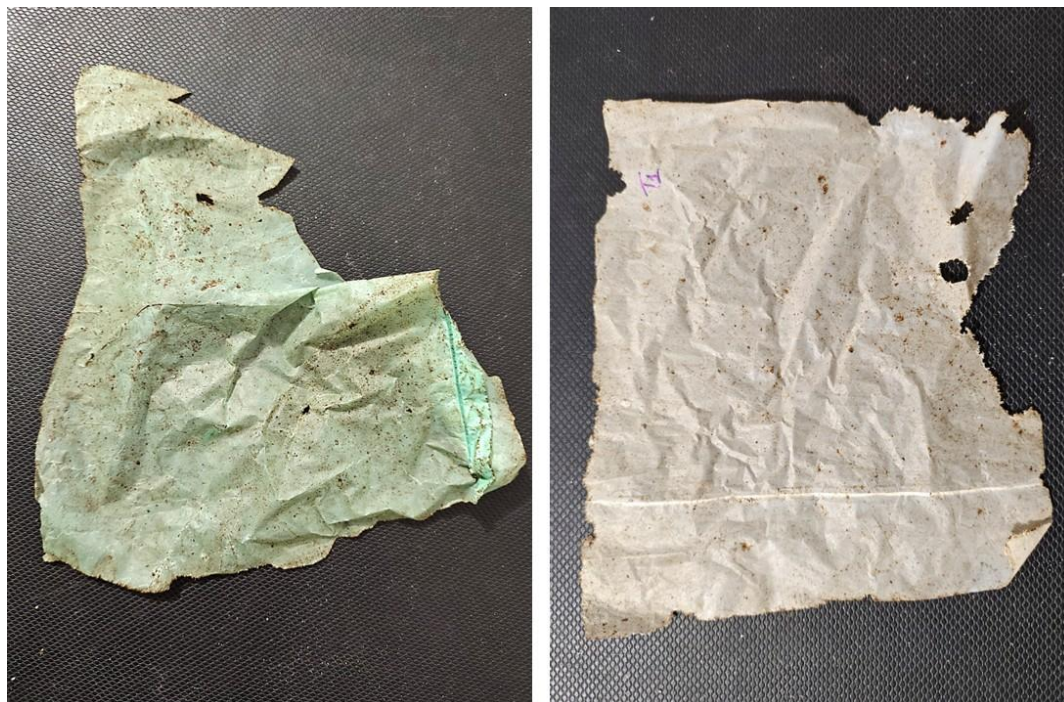
Mostra a diferença na composição da “sujeira” produzida pelos tenébrios, onde as setas azuis apontam para pelotas fecais (pelotas escuras), e as setas vermelhas apontam para microplástico residual do processo (pedaços claros).

Figura 5 Aspectos dos resíduos do cultivo de tenébrios: fezes e microplásticos.



No tocante às sacolas plásticas, os tenébrios pouco modificaram as folhas fornecidas neste experimento, limitando-se à formação de pequenos furos que não permitiram a travessia das larvas. Em praticamente todos os casos, o diâmetro dos furos observados não foi suficiente para que os insetos atravessassem a folha plástica, independentemente da coloração do material, indicando que a pigmentação não interferiu no processo. Poucos furos apresentaram diâmetro igual ou superior a 0,5 cm, permanecendo as folhas plásticas majoritariamente íntegras ao final do experimento (Figura 6).

Figura 6 Aspectos finais das folhas plásticas utilizadas.



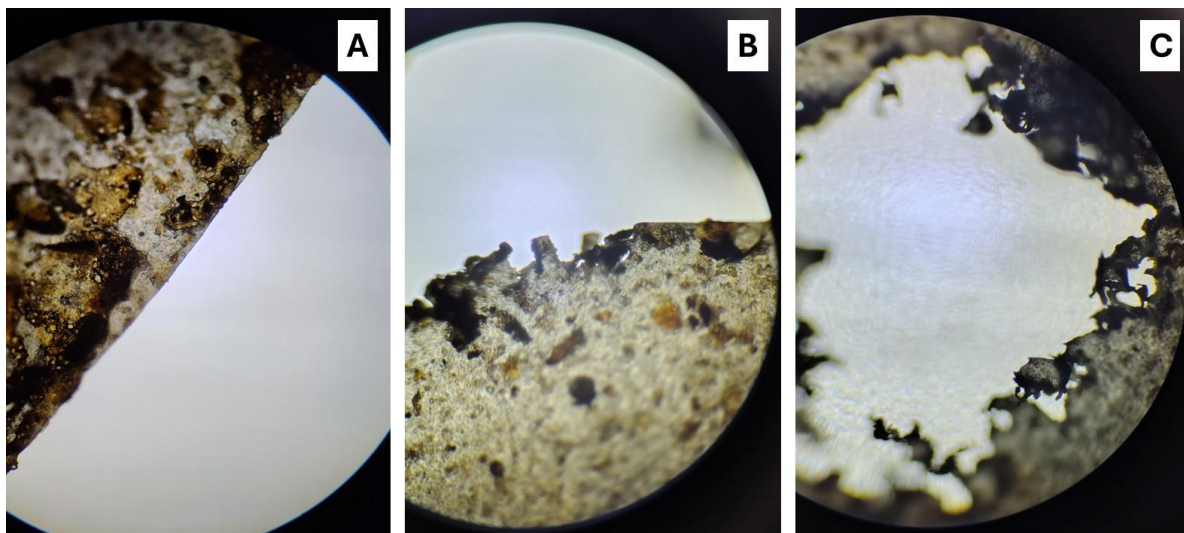
Do ponto de vista microscópico, não houve desgaste ou erosão nas folhas plásticas, principalmente a partir das bordas. Ou seja, os tenébrions não raspavam ou erodiram as folhas. E as bordas, retílineas, o que facilitaria o avanço das “mordidas” pelas peças bucais das larvas, permanecem intactas. A Figura 7 mostra a diferença entre a borda e os furos feitos pelas larvas, evidenciando as marcas de “dentadas” nos furos. Apenas uma “dentada” foi registrada quando a borda foi percorrida em microscopia.

Desta forma, a degradação de sacolas plásticas obteve o pior resultado, não sendo promissora da forma como foi realizada.

Sobre as bitucas de cigarro, pesquisas exploram o uso de larvas de tenébrion na biodegradação de certos tipos de plásticos, como o poliestireno, não há evidências que sugiram que elas possam consumir ou decompor com segurança o acetato de celulose das bitucas de cigarro, ou que isso seja um método viável ou seguro para o descarte desses resíduos tóxicos.

O descarte incorreto de bitucas é um grande problema ambiental. Estes liberam toxinas que contaminam o solo e a água, sendo letais para microrganismos e animais, incluindo aves, que podem confundir-las com alimento (Moerman, 2009).

Figura 7 Aspectos finais das folhas plásticas utilizadas (A: margem/borda intacta da folha plástica; B: mordida na borda; C: borda de um dos furos, mostrando as “dentadas”).



Neste experimento, das 100 bitucas presentes, após o período amostral, 84 estavam “vazias”, restando apenas o papel poroso utilizado na fabricação do cigarro, e o filtro (acetato de celulose), que em textura se parece com algodão prensado, e 16 permaneceram com o papel aderido ao filtro dentro do papel (Figura 8).

Apesar de o acetato de celulose derivar da celulose natural (que pode ser obtida de plantas, algodão etc.), não é “algodão” no sentido tradicional: é um plástico modificado quimicamente por meio de acetilação da celulose, resultando em fibras sintéticas com propriedades diferentes da celulose pura. A aparência do filtro - fibras finas empacotadas - pode lembrar algodão ou material fibroso natural, o que gera confusão para pessoas desavisadas, por se assemelhar a algodão. Mas, quimicamente e em densidade real ele se comporta como um plástico (acetato), não como algodão.

Curiosamente, o comportamento das larvas de tenébrios nos primeiros dias do experimento foi de ignorar as bitucas, apenas se locomovendo por cima destas. Com o passar dos dias, e provável necessidade de alimento, as larvas passaram a agir sobre as bitucas, e aos poucos foram retirando os filtros de dentro do papel das bitucas. Mais uma vez, curiosamente, as larvas não conseguiram retirar os filtros das bitucas que estavam prensadas, ou seja, a fumante que doou as bitucas disponibilizou poucas bitucas onde ela amassou as bitucas após o fumo. Em predominância, as bitucas estavam integras, retilíneas, como mostrado na Figura 8.

Nota-se ainda, na Figura 8, que as bitucas retas tiveram os filtros retirados, e houve mordidas nas bordas do papel do cigarro, mostrando que os tenébrios buscaram alimento no papel.

Os filtros foram primeiros retirados do cigarro, e posteriormente modificados, consumidos pelos tenébrios. Não houve consumo direto dentro das bitucas, sendo que todas as 100 bitucas foram analisadas após o final do experimento. A Figura 9 mostra uma bituca ainda intacta no processo de alimentação das larvas de tenébrios, a mesma bituca com papel vazio, após a ação das larvas.

Após a retirada dos filtros pelas larvas, estes foram lentamente trabalhados, fragmentados e deformados pelas larvas (Figura 10). Primeiramente, foram quebrados em pedaços pequenos, o que levanta a suspeita que isso ajudava a diminuir o efeito da prensagem da matéria prima, e em seguida eram mexidos, e modificados, assumindo um aspecto de algodão, com menor densidade. Será este o processo que as larvas usaram para facilitar o consumo das bitucas como possível fonte de alimento?

Pesquisas complementares precisam ser realizadas para saber se o comportamento seria um padrão de sobrevivência, quando expostos a este tipo de resíduo.

Apesar do potencial muito poluidor, do ponto de vista de massa ou peso, as bitucas são muito leves. As bitucas vazias (apenas o papel), em número de 84, pesam apenas 5 gramas. Com o filtro, cada bituca passa a pesar cerca de 2 ou 3 gramas (dependendo se o fumante fuma o cigarro inteiro, ou deixa a bituca um pouco mais longa).

Assim, supondo que 2 gramas é o peso médio de uma única bituca e cigarro, 100 bitucas representam cerca de 200 gramas. O peso do material modificado dos filtros (em semelhança com algodão), pesou apenas cerca de 51 gramas na repetição 1, e 79 gramas na repetição 2. Isso representa uma redução de cerca de 70% do peso das bitucas na repetição 1, e cerca de 65% na repetição 2, sendo o método de bio-redução por larvas de tenébrios promissor.

Figura 8 Aspectos das bitucas de cigarro usadas neste experimento (A: bitucas retas; B: bitucas amassadas).

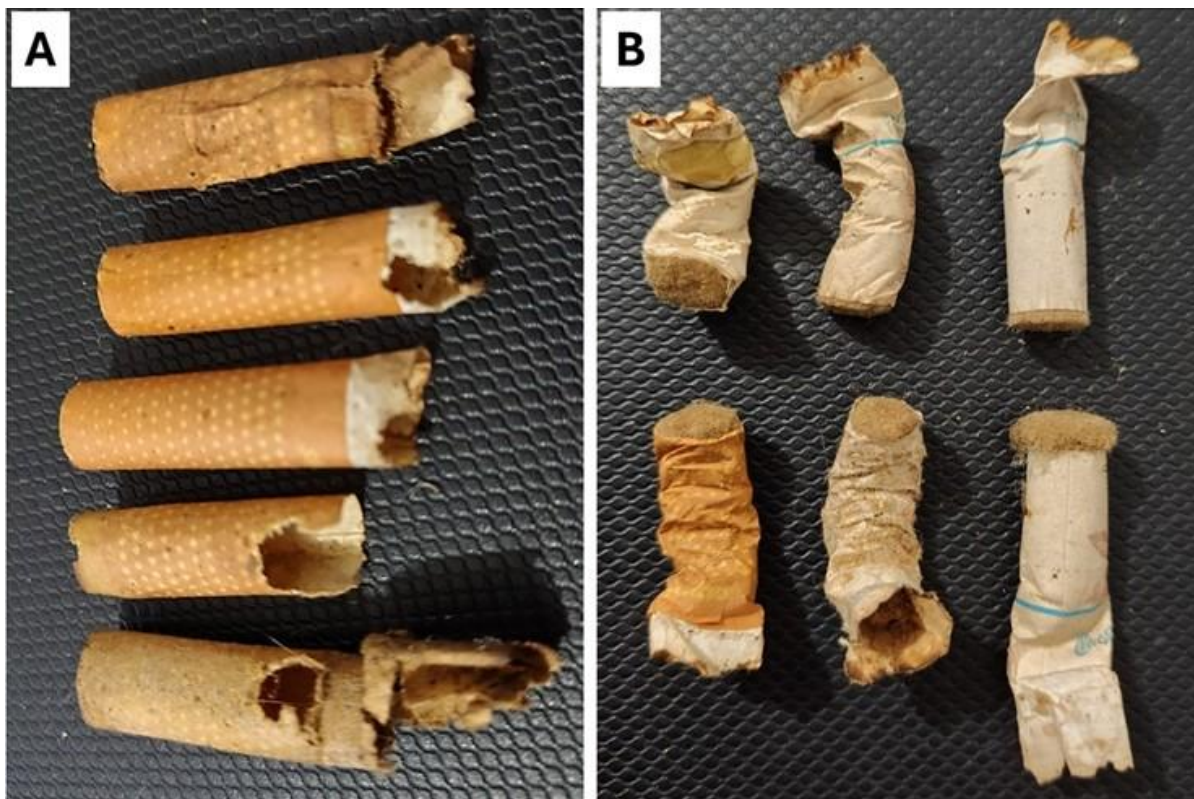


Figura 9 Aspecto de uma bituca de cigarro usada neste experimento (A: depois da ação dos tenébrios; B: antes).

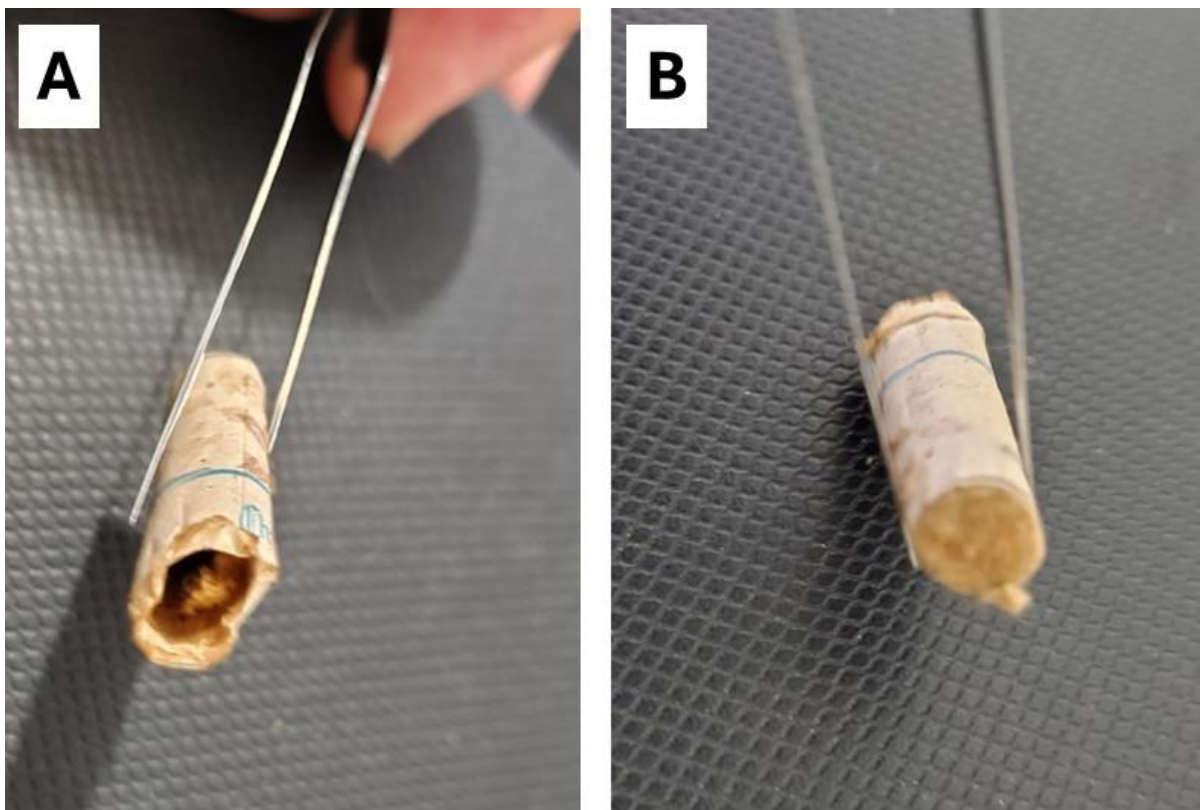
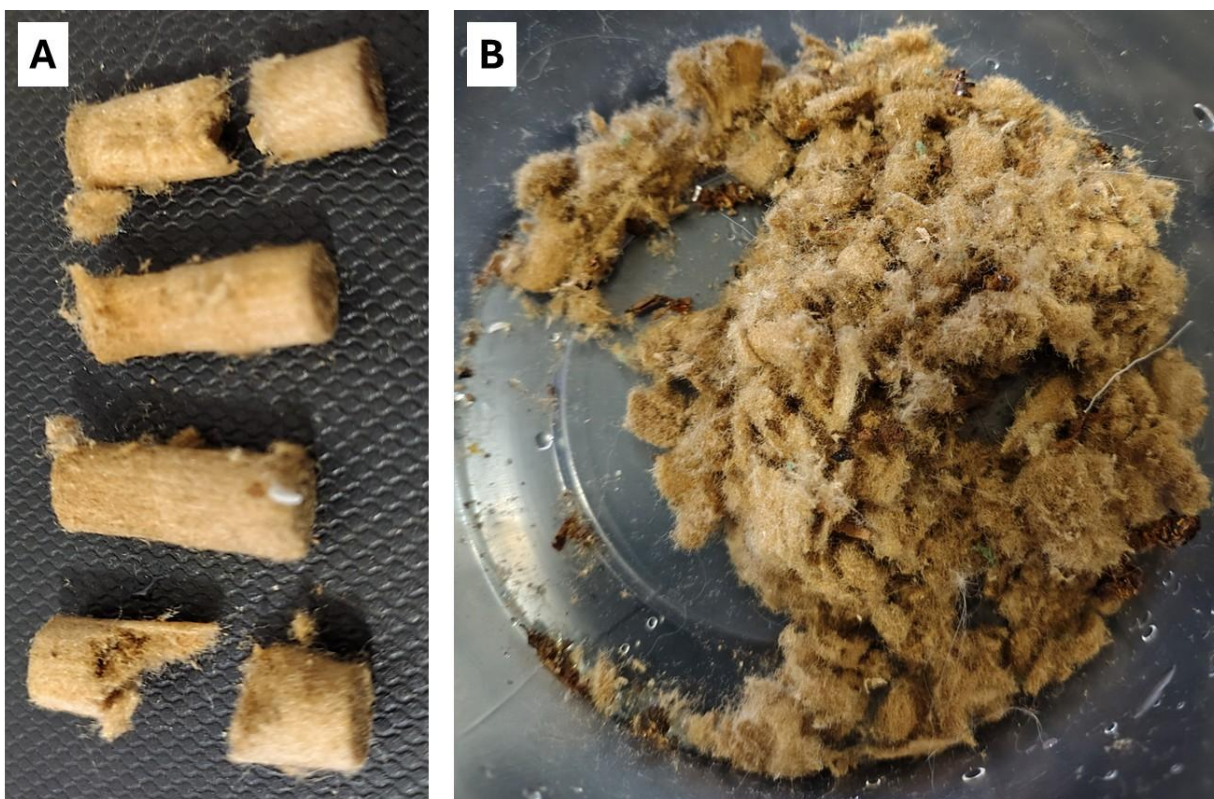


Figura 10 Aspectos da degradação do filtro dos cigarros usados neste experimento (A: antes da ação dos tenébrios; B: depois).



Ao longo deste experimento, as bitucas de cigarro apresentaram forte odor, e este não diminuiu ao longo das semanas.

Após o término do experimento, foi observada a continuidade do ciclo de vida das larvas, com redução da mobilidade, formação de pupas e posterior emergência de besouros adultos (Figura 11).

A utilização de tenébrios para reduzir a poluição plástica ainda é objeto de pesquisa em laboratório, e não é uma solução industrial ou doméstica amplamente disponível. Cientistas buscam entender o processo para desenvolver soluções biotecnológicas em larga escala, como a produção das enzimas responsáveis pela digestão do plástico.

Portanto, embora o potencial exista, os tenébrios não são uma solução prática e imediata para o descarte de sacos plásticos domésticos no momento. A melhor prática continua sendo a redução do uso de plásticos e o encaminhamento correto para a reciclagem, bem como o descarte responsável das bitucas de cigarro.

Figura 11 Aspectos da continuação do ciclo de vida das larvas (A: pupas de tenébrios; B: pupas e besouro claro – juvenil; C: besouros de cores claras, juvenis, e escuro, mais velho).



6. CONCLUSÕES

Após o período do experimento, podemos concluir que os tenébrios são melhores redutores de isopor (EPS). Os tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*) apresentaram capacidade de fragmentação e consumo do poliestireno expandido (EPS), produzindo quantidade reduzida de resíduos na forma de partículas microscópicas. As fezes permaneceram íntegras, sem evidências de excreção de microplásticos íntegros.

A degradação de sacolas plásticas por conta de tenébrios parece ser inviável, visto o notável desinteresse que as larvas apresentaram ao longo do experimento, em utilizar este tipo de material como alimento.

Bitucas de cigarro podem ser reduzidas, porém aparentemente apenas os filtros. O papel não foi significativamente consumido, ou reduzido. Sugere-se que as bitucas sejam trituradas antes de ofertadas a larvas de tenébrios, pois isso facilitaria o acesso ao filtro de acetato, e a degradação mais rápida.

Mesmo após expostos a esses resíduos, o tenébrios seguiram o processo de ciclo de vida, torando-se pupas, e em seguida seguiram com a metamorfose para adultos (voadores).

mealworm larvae under different feeding strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 556–570, 2021.

HARRIS, H. et al. Impact of plastic pollution on global ecosystems. *Journal of Environmental Science*, v. 45, p. 112–124, 2021.

JAMBECK, J. R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 768–771, 2015.

JUNIOR, J. C. L.; FERREIRA, L. C. F.; PEDERIVA, K. D. A. Desenvolvimento de larvas de *Tenebrio molitor* L. em diferentes dietas visando a produção de insetos para consumo humano. *Connectionline, Mato Grosso*, v. 18, n. 18, p. 93-101, jun./2018.

KURNIAWAN, S. B. et al. Microplastics pollution in aquatic environments: a global review. *Environmental Research*, v. 198, p. 1–12, 2021.

LOPES, P. et al. Ingestão e fragmentação de poliestireno por larvas de *Tenebrio molitor*. *Revista Biociências*, v. 25, p. 48–58, 2019.

LOU, X. et al. Nutritional value of insects as alternative protein sources. *Food Chemistry*, v. 345, p. 128–135, 2021.

MARCHI, C.; MACHADO, A.; TREVISAN, R. Bitucas de cigarro: impacto, composição e descarte inadequado. *Revista Ambiente & Sociedade*, v. 17, n. 3, p. 45–59, 2014.

MOERMAN, J. *Not Just an Eyesore: Analysis of Metals Leached from Smoked 26 Cigarette Litter*. 2009. Disponível em: <http://www.tennessean.com/assets/pdf/DN14664411_13.PDF>. Acesso em: 15 novembro de 2025.

MONTEIRO, J. et al. Microplastic contamination and its ecological impacts. *Journal of Hazardous Materials*, v. 399, p. 1–12, 2020.

MONTEIRO, J. et al. Strategies for circular economy and plastic waste management. *Sustainability*, v. 16, p. 10401, 2024.

MUMBACH, G.; BOLZAN, A.; MACHADO, A. Reciclagem de EPS por dissolução em solventes naturais. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 345–360, 2020.

MYINT, S. et al. Recycling of polystyrene foam waste into paint formulations. *Waste Management*, v. 30, n. 1, p. 4–10, 2010.

PAI, D. H. Y. Investigação da biodegradação de poliestireno expandido por larvas de *Tenebrio molitor*. Trabalho de Conclusão de Curso, USP-SP, 2020. Online. Disponível

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULHAY, H. Biodegradação de polímeros sintéticos por larvas de coleópteros. *Journal of Applied Biology*, v. 9, p. 55–63, 2020.

ARRUDA, A. Bitucas de cigarro como problema ambiental urbano. *Revista do Instituto Federal do Paraná*, v. 12, p. 66–74, 2016.

ASSAAD, J.; MIKHAEL, G.; HANNA, L. Reuse of expanded polystyrene waste in construction materials. *Construction and Building Materials*, v. 350, p. 1–12, 2022.

Biodegradation of Polyvinyl Chloride (PVC) in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae, *Environment International*, *Califórnia*, v. 145, n. 106106, p. 1-11, set./2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106106>.

BOZEK, M. et al. The studies on waste biodegradation by *Tenebrio molitor*. *E3S Web of Conferences*, v. 17, p. 1–7, 2017.

BOZEK, Ma.; HANUS-LORENZ, B.; RYBAK, J.. The studies on waste biodegradation by *Tenebrio Molitor*. *E3S Web of Conferences*, *Wroclaw*, v. 17, n. 00011, p. 1-7, mai./2017.

BRITO, H. Impactos ambientais de bitucas de cigarro e alternativas de reaproveitamento. *Revista de Engenharia Ambiental*, v. 26, p. 1–12, 2021.

BULAK, P. Degradation of styrofoam by larvae of *Zophobas atratus*. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 12345–12354, 2021.

CARVALHO, A.; SOUZA, P. Economia circular e manejo sustentável de resíduos plásticos. *Revista Brasileira de Sustentabilidade*, v. 9, p. 122–138, 2020.

COSTA, L.; OLIVEIRA, F. Poliestireno Expandido (EPS) como vilão ambiental. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 50–53, 2022.

GALILEU (2024). Larvas que se alimentam de isopor podem ajudar a preservar o meio ambiente. *Revista Galileu*. Online. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2015/10/larvas-que-se-alimentam-de-isopor-podem-ajudar-preservar-o-meio-ambiente.html>. Acesso em: 04 dez. 2025.

GUTIERREZ-VELASQUEZ, A.; MONTEIRO, D.; COLORADO, H. Gut microbiome and degradation product formation during biodegradation of expanded polystyrene by

em: https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/6fb326fe-6ac1-4dcb-b10a-3f7021a5eeca/Pai_Daniel_tcc.pdf. Acesso em: 01 dez. 2025.

Peng, B.; Chen, Z.; Chen, J.; Yu, H.; Zhou, X.; Criddle, C. S.; Wu, W. M.; Zhang, Y., PEREIRA, M. S. Potencial de *Zophobas atratus* na biodegradação de resíduos plásticos. Universidade Federal da Bahia, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. QUIRINO, K.; SANTOS, A. O plástico como vilão ambiental. *Revista FATEC Sustentabilidade*, v. 5, n. 3, p. 228–235, 2020.

ROCHA, J.; ALBANESE, D. Poluição por bitucas de cigarro e seus efeitos no solo. *Cadernos de Pesquisa Ambiental*, v. 8, p. 12–18, 2011.

ROCHA, P. et al. Uso de bitucas de cigarro na fabricação de tijolos ecológicos. *Caderno de Engenharia Civil*, v. 4, n. 2, p. 33–42, 2020.

ROCHA, P.; FERNANDES, G. Toxicidade das bitucas de cigarro em organismos aquáticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, p. 1–9, 2020.

SANTOS, A. M. S. O cultivo de larvas de tenébrios gigantes (*Zophobas atratus*) para a redução de plástico poliestireno expandido (EPS). UFRPE, Trabalho de conclusão de curso. 2025.

SANTOS, M.; BARBOSA, L.; ALMEIDA, P. Sacolas plásticas e impactos urbanos: entupimento, doenças e políticas públicas. *Revista Interdisciplinar de Meio Ambiente*, v. 14, n. 2, p. 45–59, 2019.

SILVA, J.; GOMES, L. Efeitos ecotoxicológicos de bitucas de cigarro em peixes. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, v. 83, n. 6, p. 245–255, 2020.

SILVA, M. et al. Microplásticos e seus impactos na cadeia alimentar aquática. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 55, p. 47–59, 2020.

SOUZA, C.; CONEGERO, L. O impacto ambiental das bitucas de cigarro e sua degradação. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 7, p. 89–95, 2009.

SOUZA, M. et al. Sacolinhas plásticas: percepção ambiental de alunos universitários. *Revista de Administração da UFMS*, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2018.

TAHROUDI, M. et al. Expanded polystyrene is not chemically degraded by mealworms. *Science of the Total Environment*, v. 789, p. 147–156, 2025.

TSOCHATZIS, E. et al. Impact of EPS-based diets on growth and gut microbiota of mealworms. *Scientific Reports*, v. 12, p. 1–15, 2022.

VASCONCELOS, A. O plástico no Brasil: produção, reciclagem e impactos ambientais. *WWF Brasil*, Relatório Técnico, 2019.

ZNEIMAN, L. Percepção social sobre o descarte de bitucas de cigarro. *Revista de Educação Ambiental*, v. 19, p. 1–12, 2021.