

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E
TECNOLOGIA AMBIENTAL

Daniela da Costa e Silva

**Valorização de resíduos agroindustriais:
Desenvolvimento larval e eficiência no processo de
tratamento com *Hermetia illucens* (Diptera:
Stratiomydae)**

Daniela da Costa e Silva

Valorização de resíduos agroindustriais: Desenvolvimento larval e eficiência no processo de tratamento com *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Andreas Köhler

Co-orientador: Prof. Dr. Diego Prado de Vargas

Santa Cruz do Sul

2025

Dedico esta tese à minha mãe, Marli Terezinha da Costa que sempre acreditou em mim e esteve ao meu lado com apoio incondicional nos momentos mais desafiadores desta jornada. Sua presença constante e amor inestimável me deram força e coragem para seguir em frente.

Também dedico esta tese àqueles momentos em que pensei em desistir, mas escolhi seguir em frente. Eles me ensinaram o valor da persistência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos amigos que a UNISC me proporcionou, cuja companhia trouxe leveza e força ao longo desta jornada. Em especial, ao meu grande incentivador, Cleder Pezzini, cujo apoio foi fundamental para que eu abraçasse o desafio do doutorado, além de estar sempre ao meu lado, celebrando cada conquista. À querida amiga Kássia Zilch, que esteve presente em cada etapa desses quatro anos, compartilhando desafios, conquistas e contribuindo ativamente em várias fases do meu estudo. Minha gratidão também aos colegas de laboratório, que tornaram os desafios mais leves e estiveram presentes para celebrar tanto as pequenas quanto as grandes conquistas.

Sou profundamente grata pelas amizades construídas durante o programa de pós-graduação, que foram muito mais do que companhias acadêmicas. Essas conexões se tornaram verdadeiros pilares de apoio, trazendo inspiração, troca de conhecimentos e momentos de descontração que enriqueceram minha jornada.

Também agradeço às amizades da vida, que tiveram um papel essencial nesta caminhada. Essas pessoas, mesmo distantes do ambiente acadêmico, foram meu refúgio, oferecendo apoio, palavras de encorajamento e momentos de leveza que me ajudaram a manter o equilíbrio e a motivação. Cada gesto de carinho e cada conversa descontraída me lembraram da importância de ter por perto quem nos inspira e fortalece.

Minha gratidão também vai para o programa de pós-graduação, pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional. Agradeço pela estrutura oferecida, pelos recursos disponibilizados e pelo apoio contínuo da coordenação, que foram cruciais para a realização deste trabalho. Este período foi enriquecedor não apenas pela formação técnica, mas também pelas experiências e aprendizados que levarei para toda a vida.

E por fim, aos meus orientadores, Prof. Andreas e Diego, expresso minha imensa gratidão pelo papel fundamental que desempenharam nesta jornada. Suas orientações, paciência e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por todo o conhecimento compartilhado, pelas valiosas contribuições e pela confiança depositada em mim ao longo de todo o processo.

RESUMO

Esta pesquisa investigou a utilização da mosca-soldado-negra (Black Soldier Fly – BSF) (*Hermetia illucens*) no tratamento de resíduos agroindustriais, transformando resíduos orgânicos em produtos de valor agregado. O descarte inadequado de resíduos agroindustriais, como cascas de frutas, restos de vegetais e subprodutos de processamento de alimentos, representa um desafio ambiental significativo. Larvas de BSF (BSFL) se alimentam de matéria orgânica, oferecendo uma solução ambiental promissora. Durante a pesquisa, diferentes resíduos agroindustriais, como bagaço de cevada, bagaço de laranja, bagaço de oliva e bagaço de uva, foram testados como fontes de alimentação para a BSFL. Os resultados obtidos durante a pesquisa mostraram um desempenho notável da BSFL alimentadas com os resíduos agroindustriais testados. Em particular, o bagaço de cevada resultou em uma viabilidade larval de até 96%, com um ciclo de desenvolvimento reduzido para apenas 18 dias. Além disso, as larvas apresentaram teores proteicos superiores a 45%, consolidando-se como uma fonte altamente nutritiva e promissora para a alimentação animal. Esses achados destacam a notável eficiência da BSF na bioconversão de resíduos e na produção de biomassa de alta qualidade, reforçando seu potencial como uma alternativa sustentável para a valorização de resíduos agroindustriais. A análise nutricional das larvas revelou um perfil rico em proteínas de alta qualidade, aminoácidos essenciais e ácidos graxos poli-insaturados, como os ômega-3 e ômega-6, além de minerais essenciais para a nutrição animal. O estudo destaca que a utilização da BSFL é uma ferramenta viável e eficiente para a gestão sustentável de resíduos, promovendo a economia circular, gerando valor a partir de resíduos que seriam descartados e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais negativos associados ao descarte inadequado de resíduos agroindustriais.

Palavras-chave: Bioconversão, resíduo orgânico, BSFL, sustentabilidade, biomassa larval, proteína alternativa.

ABSTRACT

Valorization of Agro-industrial Waste: Larval Development and Treatment Process Efficiency with *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)

This research investigated the use of the Black Soldier Fly (BSF) (*Hermetia illucens*) in the treatment of agro-industrial waste, converting organic waste into value-added products. The improper disposal of agro-industrial residues, such as fruit peels, vegetable scraps, and food processing by-products, poses a significant environmental challenge. Black Soldier Fly larvae (BSFL) feed on organic matter, offering a promising environmental solution. Throughout the study, different agro-industrial residues, including barley bagasse, orange bagasse, olive pomace, and grape pomace, were tested as feed sources for BSFL. The results obtained demonstrated remarkable performance of BSFL fed with the tested agro-industrial residues. Notably, barley bagasse led to larval viability of up to 96%, with a shortened development cycle of only 18 days. Additionally, the larvae exhibited protein contents exceeding 45%, establishing themselves as a highly nutritious and promising source for animal feed. These findings highlight the outstanding efficiency of BSF in waste bioconversion and high-quality biomass production, reinforcing its potential as a sustainable alternative for agro-industrial waste valorization. The nutritional analysis of the larvae revealed a rich profile of high-quality proteins, essential amino acids, and polyunsaturated fatty acids such as omega-3 and omega-6, in addition to essential minerals for animal nutrition. This study underscores the viability and efficiency of BSFL as a tool for sustainable waste management, promoting a circular economy, generating value from waste that would otherwise be discarded, and contributing to the mitigation of the negative environmental impacts associated with improper agro-industrial waste disposal.

Keywords: Bioconversion, organic waste, BSFL, sustainability, larval biomass, alternative protein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de cluster obtido através de mapeamento bibliométrico utilizando VOSviewer e base de dados "Web of Science" para estudos dos últimos 10 anos envolvendo palavras-chave relacionadas a "Hermetia illucens" e "application".....	15
Figura 2. Evolução do número de artigos publicados nos últimos anos sobre aplicações da BSFL. ...	16
Figura 3. Infográfico da criação de BSF em laboratório.	25
Figura 4. Metodologia 1 - Efeito dos resíduos no desenvolvimento da espécie	29
Figura 5. Metodologia 2 – Desempenho em bioconversão	30
Figura 6. Metodologia 3 – Avaliação nutricional	31
Figura 7. Metodologia 4 - Avaliação dos métodos de abate.	32
Figura 8. Resumo dos artigos desenvolvidos na tese. A pesquisa abrange desde uma revisão sobre a utilização da BSFL na alimentação animal até estudos experimentais sobre a bioconversão de diferentes resíduos agroindustriais.	33
Figura 9. Peso (em gramas) e tamanho (em cm) observados nos diferentes níveis de inclusão de resíduo cervejeiro (0%, 25%, 50% e 75%) nos distintos tempos de desenvolvimento.	61
Figura 10. Média de aumento de peso de 30 larvas de BSF criadas nos substratos experimentais. Barras de erro correspondem ao erro padrão calculado em 3 réplicas/tratamento.	73
Figura 11. Média de aumento de tamanho (centímetros) de 30 larvas de BSF criadas nos diferentes tratamentos. Barras de erro correspondem ao erro padrão calculado em 3 réplicas/tratamento.	86
Figura 12. Média de aumento de peso (gramas) de 30 larvas de BSF criadas nos diferentes tratamentos. Barras de erro correspondem ao erro padrão calculado em 3 réplicas/tratamento.	87
Figura 13. Correlação entre a variável peso (g) e a variável tamanho (cm), nos diferentes tipos de tratamento.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Levantamento de trabalhos que avaliaram a bioconversão através de BSFL em diferentes resíduos.	23
Tabela 2. Resumo legislativo do uso de insetos em países com regulamentações definidas.	36
Tabela 3. Pesquisa científica sobre substituição da farinha de peixe pela farinha BSFL em dietas para aquicultura.	41
Tabela 4. Pesquisas científicas sobre o uso de BSFL na substituição e complemento nutricional da avicultura.	42
Tabela 5. Pesquisas científicas sobre o uso de BSFL no complemento nutricional da suinocultura. ...	44
Tabela 6. Conteúdo nutricional dos tratamentos utilizados no estudo (g Kg ⁻¹ na MS).	56
Tabela 7. Médias das variáveis de avaliação do processo de bioconversão.	57
Tabela 8. Tamanho médio larval (em centímetros, cm) observado nos diferentes níveis de inclusão de resíduo cervejeiro (0%, 25%, 50% e 75%) nos distintos tempos de desenvolvimento.	59
Tabela 9. Peso vivo médio (em gramas, g) observado nos diferentes níveis de inclusão de resíduo cervejeiro (0%, 25%, 50% e 75%) nos distintos tempos de desenvolvimento.	60
Tabela 10. Comparação da composição nutricional das BSFL alimentadas com diferentes níveis de inclusão de resíduo cervejeiro em resíduo farináceo (g Kg ⁻¹ na matéria seca).	62
Tabela 11. Conteúdo nutricional das dietas utilizadas no estudo (g/100 g).	72
Tabela 12. Índices de desenvolvimento e bioconversão da BSFL criadas nas dietas experimentais (média ± erro padrão; n = 3).	72
Tabela 13. Conteúdo nutricional da BSFL nos diferentes tratamentos (g/100 g).	74
Tabela 14. Conteúdo nutricional das dietas utilizadas no estudo (g/100 g).	83
Tabela 15. Tamanho médio larval (em centímetros, cm) observado nos diferentes tratamentos.	85
Tabela 16. Peso médio larval (em gramas, g) observado nos diferentes tratamentos.	87
Tabela 17. Dados sobre o desempenho de bioconversão da BSFL nos diferentes tratamentos.	89
Tabela 18. Composição de ácidos graxos identificados na BSFL proveniente do processo de bioconversão do bagaço de oliva. A tabela apresenta os nomes IUPAC e usuais dos ácidos graxos, suas respectivas simbologias e as áreas relativas (%), indicando a proporção de cada composto na amostra analisada.	103
Tabela 19. Perfil da composição das larvas de BSF nos métodos de abate branqueamento e resfriamento. Resultados expressos em (g.100 g ⁻¹) base seca.	112
Tabela 20. Perfil da composição das larvas de BSF nos métodos de abate resfriamento e congelamento. Resultados expressos em (g.100 g ⁻¹) base seca.	113

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral	13
1.2 Objetivos específicos	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Definição e classificação de resíduos orgânicos	16
3.2 Resíduos agroindustriais.....	17
3.3 Tratamentos convencionais x tratamentos com BSFL	20
3.4 Bioecologia de <i>Hermetia illucens</i>	21
3.5 Potencial em bioconversão	22
3.6 Demanda por proteína	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Criação da BSF em laboratório.....	25
4.2 Deliamento experimental	27
4.2.1 Metodologia 1 - Efeito dos resíduos no desenvolvimento da espécie	28
4.2.2 Metodologia 2 – Desempenho em bioconversão	29
4.2.3 Metodologia 3 – Avaliação nutricional.....	30
4.2.4 Metodologia 4 - Avaliação dos métodos de abate	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 ARTIGO 1 – Avanços da utilização de <i>Hermetia illucens</i> (Diptera: Stratiomyidae) na alimentação animal: Uma revisão.....	33
5.2 ARTIGO 2 – Desempenho de larvas da mosca-soldado-negra (<i>Hermetia illucens</i>) no processo de bioconversão de resíduos cervejeiros e da criação de insetos (<i>Ephestia kuehniella</i>)	51
5.3 ARTIGO 3 – Bioconversão de bagaço de laranja através do uso de larvas de <i>Hermetia illucens</i> : desenvolvimento e composição nutricional das larvas – PUBLICADO	67
5.4 ARTIGO 4 – Bioconversão de resíduos de uvas <i>Vitis vinifera</i> L. (CV. Merlot e CV. Sauvignon Blanc) por <i>Hermetia illucens</i>	80
5.5 ARTIGO 5 - Bioconversão de bagaço de azeitona por <i>Hermetia illucens</i> : Uma alternativa sustentável para o gerenciamento de resíduos agroindustriais e produção de biomassa de alto valor.....	94
5.6 ARTIGO 6 - Impacto dos métodos de abate na composição nutricional da farinha de Black Soldier Fly (<i>Hermetia illucens</i>).....	108
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
7. TRABALHOS FUTUROS	119

8. REFERÊNCIAS	120
-----------------------------	------------

1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos orgânicos é um desafio crescente que demanda atenção urgente. O aumento exponencial na geração desses resíduos é resultado direto do crescimento populacional e do desenvolvimento contínuo da agroindústria (FAO, 2017). No entanto, a maneira como lidamos com esses resíduos está gerando consequências significativas para a saúde ambiental e pública. O descarte indiscriminado e os tratamentos inadequados dos resíduos orgânicos estão entre os principais problemas enfrentados atualmente. O uso descontrolado de aterros sanitários, muitas vezes, reflete a falta de práticas adequadas na gestão desses resíduos, contribuindo para a degradação ambiental e o desperdício de recursos valiosos.

É alarmante perceber que estamos desperdiçando energia e nutrientes preciosos que poderiam ser reaproveitados para atender à crescente demanda por recursos. Em um momento em que a sustentabilidade se torna uma preocupação global, é fundamental repensar nossos hábitos de consumo e implementar práticas de gestão de resíduos mais eficientes e responsáveis. A solução para esse problema complexo requer a colaboração de diversos setores da sociedade, desde governos e indústrias até comunidades locais e consumidores individuais. É necessário investir em tecnologias e infraestruturas que promovam a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos orgânicos, além de incentivar a educação e conscientização sobre a importância da gestão adequada desses materiais.

O processamento de resíduos orgânicos por meio de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae), conhecida como mosca-soldado-negra ou Black Soldier Fly (BSF), representa uma abordagem inovadora e promissora que está ganhando destaque entre os pesquisadores. Essa técnica emergente oferece uma nova perspectiva para as práticas sustentáveis de gestão de resíduos, apresentando vantagens significativas sobre as tecnologias convencionais existentes, como vermicompostagem e decomposição bacteriana (BANKS *et al.*, 2014). As larvas de *H. illucens* (BSFL) são capazes de se alimentar de uma grande variedade de resíduos orgânicos, reduzindo o volume em uma duração muito curta de tempo. Essas larvas consomem resíduos orgânicos em uma taxa elevada, podendo ingerir até o dobro do próprio peso diariamente, tornando-se uma solução eficiente para a redução de resíduos (DIENER *et al.*, 2011).

Além de se destacarem no processo de bioconversão, estudos demonstram que a espécie desempenha um papel vital na modificação da microflora presente nos resíduos durante a compostagem, reduzindo bactérias nocivas como *Escherichia coli* e *Salmonella enterica* por

meio da secreção de compostos bactericidas (ERICKSON *et al.*, 2004; LALANDER *et al.*, 2015). Esse efeito antimicrobiano torna a bioconversão com BSFL uma estratégia vantajosa tanto para o tratamento de resíduos quanto para a mitigação de riscos à saúde pública.

O processo de bioconversão com BSFL também apresenta um significativo potencial econômico. As larvas resultantes podem ser utilizadas como ração animal de alta qualidade em diversas indústrias, incluindo aquicultura, avicultura e suinocultura (VAN HUIS *et al.*, 2015). Comparadas a outras fontes de proteína animal, as BSFL apresentam um alto teor proteico, fornecendo todos os aminoácidos essenciais para a nutrição animal, além de serem uma fonte rica de gorduras saudáveis, como ácidos graxos ômega-3 e ômega-6 (MAKKAR *et al.*, 2014). Além disso, as BSFL contêm uma variedade de minerais essenciais, como cálcio, fósforo, potássio e magnésio, fundamentais para a saúde óssea, muscular e metabólica dos animais, além de vitaminas do complexo B, vitamina A, vitamina E e vitamina K (BARRAGAN-FONSECA *et al.*, 2017).

Outro benefício do processo de bioconversão é o subproduto da digestão das larvas, conhecido como frass, que pode ser transformado em fertilizante orgânico. O frass é uma fonte valiosa de nutrientes essenciais para as plantas, incluindo nitrogênio, fósforo e potássio, além de micronutrientes como cálcio, magnésio e zinco. Ele também contém compostos orgânicos que promovem o crescimento vegetal, como ácidos húmicos e fúlvicos, melhorando a estrutura do solo e a retenção de água (BOUDABBOUS *et al.*, 2023). Além disso, o frass pode contribuir para a supressão de doenças do solo e estimular a atividade microbiana benéfica, tornando-se um insumo relevante para a agricultura sustentável (SCHMITT, VRIES, 2020).

No entanto, apesar das promessas oferecidas por essa abordagem inovadora, ainda há desafios a serem enfrentados. A necessidade de desenvolver técnicas de produção em larga escala e de avaliar as preferências nutricionais da BSFL para garantir a qualidade dos subprodutos obtidos através do processo de bioconversão são alguns dos pontos críticos que demandam maior investigação científica e otimização tecnológica (GOLD *et al.*, 2020). Assim, pesquisas contínuas sobre a bioconversão de resíduos orgânicos por *Hermetia illucens* são essenciais para consolidar essa alternativa sustentável e promover sua ampla adoção em sistemas produtivos e ambientais.

1. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o processo de bioconversão com BSFL como uma tecnologia ambiental, promovendo a valorização de resíduos orgânicos agroindustriais. O objetivo é explorar seu potencial na conversão de resíduos em produtos de alto valor agregado, ao mesmo tempo em que se enfrentam desafios ambientais relacionados ao descarte inadequado desses materiais.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da presente tese são:

1. Avaliar a eficiência da BSFL no processo de bioconversão de diferentes resíduos orgânicos agroindustriais, investigando a influência de variáveis como a composição nutricional dos substratos na taxa de degradação.
2. Analisar o desenvolvimento da BSFL em diferentes combinações de resíduos orgânicos agroindustriais, considerando parâmetros como tamanho, peso, viabilidade e longevidade, a fim de identificar as condições ideais para seu crescimento.
3. Examinar o perfil nutricional da BSFL, com foco nos teores de proteína e lipídios, visando seu potencial como fonte proteica para alimentação animal e avaliando a viabilidade econômica da produção em larga escala.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pesquisa para esta revisão concentrou-se nos principais aspectos do uso do BSFL e suas melhorias nos últimos anos. Foram utilizadas as bases de dados *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science* para construção de mapas bibliométricos de palavras-chave, citações, cocitações, coautoria e coocorrência de termos nos últimos dez anos. Para análise bibliométrica foi aplicado o software VOSviewer versão 1.6.19 na base de dados *Web of Science*, seguindo metodologia adaptada de (DE SOUZA *et al.*, 2019).

O objetivo foi identificar os temas mais relevantes que a comunidade científica tem abordado nos últimos dez anos através de buscas na base de dados “*Web of Science*” com os termos “*Hermetia illucens*” e “*application*”. Foram encontrados 262 artigos relacionados, os quais foram analisados através do software VOSviewer.

Existem três ramos principais do uso de BSFL, conforme mostrado na Figura 1. O grupo marcado em verde (*Hermetia illucens*) destacou termos associados: "circular economy", "bioconversion", "organic waste", "manure", "insect meal". Este cluster está focado em como a *Hermetia illucens* é utilizada em sistemas de economia circular e bioconversão, especialmente no contexto de resíduos orgânicos e produtos derivados de insetos para alimentação animal.

Um segundo grupo em vermelho (Black Soldier Fly), teve como termos relacionados: "food waste", "sustainability", "edible insects", "protein", "feed". Este cluster enfatiza a *Hermetia illucens* como a "black soldier fly" no contexto de sustentabilidade, conversão de resíduos alimentares em proteínas e sua utilização em insetos comestíveis e ração.

No terceiro grupo em azul (Biorrefinaria e Biodiesel), os termos associados foram: Termos associados: "biorefinery", "biodiesel", "waste management", "soil amendment". Este cluster está relacionado à gestão de resíduos e ao uso da *Hermetia illucens* em processos de biorrefinaria, incluindo a produção de biodiesel e melhoramento de solo.

Por fim temos termos emergentes: "chitin" e "chitosan" aparecem conectados a "*Hermetia illucens*", sugerindo um foco emergente na extração e aplicação dessas substâncias derivadas. Há um interesse crescente no uso de subprodutos de *Hermetia illucens* em aplicações industriais e biomédicas.

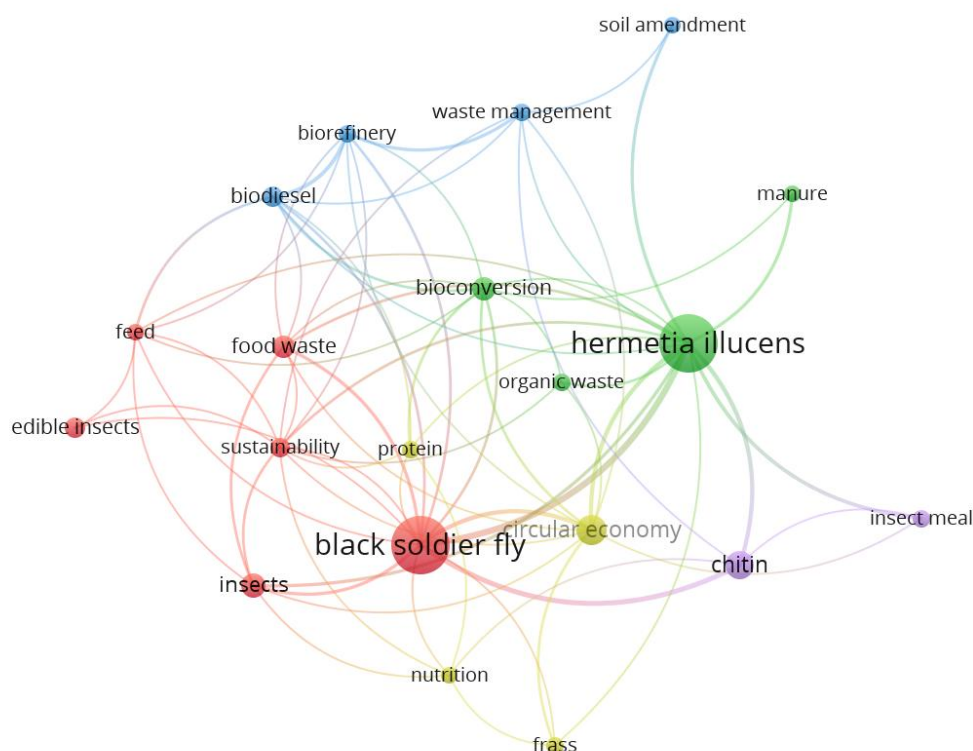


Figura 1. Gráfico de cluster obtido através de mapeamento bibliométrico utilizando VOSviewer e base de dados "Web of Science" para estudos dos últimos 10 anos envolvendo palavras-chave relacionadas a "*Hermetia illucens*" e "application".

O interesse dos pesquisadores em estudos com BSFL vem crescendo nos últimos anos, com 67 artigos publicados em 2022, 58 em 2023 e até o momento 37 artigos em 2024 (agosto/24) (Figura 2).

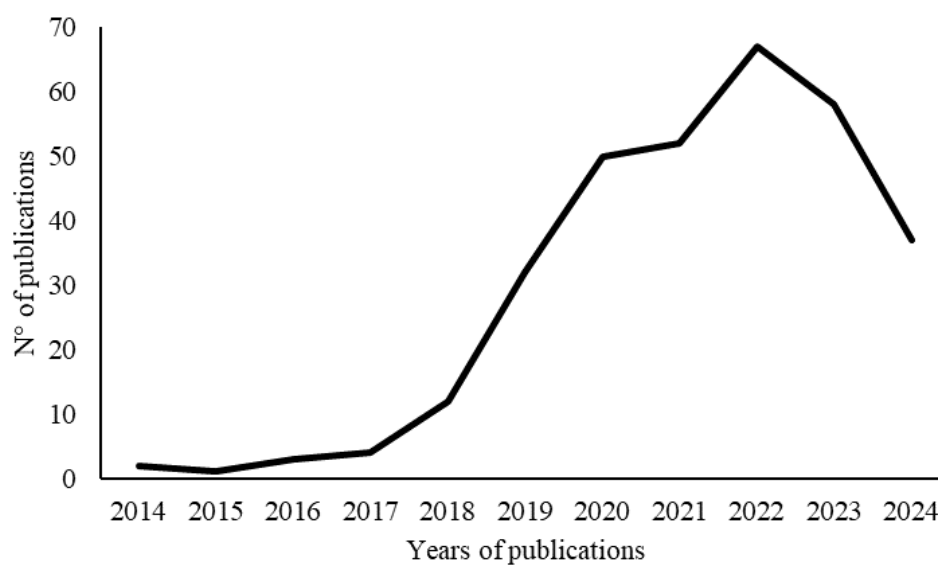


Figura 2. Evolução do número de artigos publicados nos últimos anos sobre aplicações da BSFL.

3.1 Definição e classificação de resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos são materiais de origem biológica que se decompõem naturalmente por ação de microrganismos. São compostos, principalmente, por restos de alimentos, resíduos agrícolas, resíduos de jardinagem e lodos de esgoto. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), resíduos orgânicos representam cerca de 50% da composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, sendo a fração predominante em áreas urbanas e rurais (IBGE, 2020).

No Brasil, os resíduos orgânicos estão sujeitos à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305/2010, que organiza o manejo adequado dos resíduos sólidos e promove práticas como a compostagem e a reciclagem de nutrientes. A PNRS define a hierarquia de gestão de resíduos com prioridades: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento. A disposição final deve ocorrer apenas quando os resíduos não puderem ser reaproveitados (MMA, 2010).

Os resíduos orgânicos, classificados como resíduos sólidos urbanos não perigosos, estão incluídos na categoria de resíduos biodegradáveis. Essa classificação facilita o direcionamento para tecnologias específicas de tratamento e reciclagem, como compostagem, biodigestão anaeróbica e tratamento mecânico-biológico.

Dentro da ampla categoria dos resíduos orgânicos, destaca-se a relevância dos resíduos agroindustriais, que são subprodutos gerados durante as etapas de cultivo, colheita, processamento e comercialização de produtos agrícolas e pecuários (TEIXEIRA, MENDES, 2023). Exemplos incluem cascas de frutas, bagaços, tortas oleaginosas e resíduos de processamento de grãos. Estes resíduos apresentam um alto potencial de reaproveitamento devido ao seu conteúdo rico em nutrientes, como fibras, proteínas e compostos bioativos. No entanto, seu manejo inadequado pode gerar impactos ambientais significativos, como poluição hídrica, emissão de gases de efeito estufa e contaminação do solo (CARDOSO *et al.*, 2023)

3.2 Resíduos agroindustriais

Os setores agrícola e alimentício geram uma quantidade substancial de resíduos, que podem ser utilizados como matérias-primas para a obtenção de produtos de alto valor agregado, promovendo uma gama de possibilidades para uma produção sustentável (NG *et al.*, 2020).

Os resíduos agroindustriais de diversos setores de processamento contribuem para o aumento da biomassa, e a grande maioria dos quais são depositados em aterros sanitários ou simplesmente descartados em locais inadequados. Os principais problemas associados ao aumento da produção de biomassa são os potenciais combustíveis e microbiológicos, atribuídos à biodisponibilidade de materiais orgânicos altamente energéticos, como polímeros de carboidratos e gordura (FREITAS *et al.*, 2021).

Devido à abundância de resíduos agroindustriais, os países em desenvolvimento sofrem com a permanente falta de alternativas viáveis para a recuperação e reutilização desses preciosos insumos, o aterro, como método de tratamento e descarte, não só impõe altos custos operacionais, mas também está associado a passivos de longo prazo. Estes incluem agir como uma fonte de lixiviação e outros contaminantes que podem poluir os aquíferos subterrâneos e águas superficiais (KOMAKECH *et al.*, 2016).

A maior lacuna na gestão de resíduos está na ineficiência das tecnologias atuais para promover a utilização valiosa dos resíduos no sistema de reutilização e reciclagem. As atuais políticas de gestão de resíduos estão muito restritas à coleta, transporte, tratamento e destinação e, portanto, carece de valorização em larga escala dos resíduos orgânicos ricos. Nessa perspectiva, pesquisadores de todo o mundo estão incessantemente tentando desenvolver e encontrar formas sustentáveis de decomposição de resíduos e determinar seu nutriente inerente e valor econômico (SINGH; KUMARI, 2019).

Uma grande geradora de resíduos, que se destaca no mercado é a indústria do vinho. A indústria vinícola tem sido retratada de forma positiva, devido aos benefícios socioeconômicos e culturais atribuídos a ela. Independentemente das vastas quantidades de resíduos gerados, do grande uso dos recursos hídricos e do uso exaustivo da terra, a indústria não tem sido vista negativamente pelo público em geral. Isso, por sua vez, tem incentivado seu desenvolvimento e consequente geração de maiores quantidades de resíduos (ZACHAROF, 2017).

A produção de vinho é uma das mais importantes atividades agrícolas em todo o mundo, com mais de 60 milhões de toneladas produzidas anualmente (NCUBE *et al.*, 2021).

O processo de vinícola gera diferentes subprodutos, como talos de uva, leveduras esgotadas, borras de vinho e águas residuais altamente carregadas, juntamente com o próprio produto vinícola, alcançando um volume global de resíduos gerados correspondente a cerca de 20 a 30% da massa total de produção de vinho (ZABANIOTOU *et al.*, 2018). As águas residuais geradas a partir de sementes de vinificação contém polpa de uva, peles, sementes e leveduras mortas usadas na fermentação alcoólica (DEVESA-REY *et al.*, 2011). Se não forem descartados adequadamente, os resíduos da vinícola podem ser considerados materiais perigosos devido aos altos níveis de conteúdo orgânico (DEVESA-REY *et al.*, 2011).

Outra agroindústria economicamente importante, e que também se destaca no mercado, é a produção de *citrus*, com produção anual de 124,3 milhões de toneladas em todo o mundo, as plantas *cítricas* representam as maiores culturas cultivadas em todo o mundo (MAHATO *et al.*, 2020). Como exemplos importantes, laranjas doces e amargas são as mais cultivadas em todo o mundo entre as árvores *cítricas* com uma produção total de 75 milhões de toneladas com base nos relatórios FAOSTAT, 2020 (FARAG *et al.*, 2020).

Após o consumo, aproximadamente, 40 a 60% da fruta é descartada como lixo. Todos os anos, 110 a 120 milhões de toneladas de resíduos cítricos são geradas em todo o mundo a partir de indústrias de processamento cítrico criando enormes desafios em relação à poluição da terra, do solo, do lençol freático subterrâneo e da gestão geral de resíduos úmidos/semissólidos. Atualmente, a maior parte dos resíduos não é processada adequadamente e acaba consumida por animais como materiais de alimentação ou despejadas em aterros sanitários (MAHATO *et al.*, 2020).

A fruta cítrica é consumida principalmente como produtos frescos (50-60%), e o percentual restante (40-50%) é processado principalmente pela indústria alimentícia para a elaboração de sucos, geleias, geleias e marmeladas. Curiosamente, cerca de 34% das laranjas são destinadas à produção de suco, o que gera cerca de 44% das cascas como subproduto agroindustrial, que é comumente descartado como resíduo (RAFIQ *et al.*, 2018).

Outra agroindústria que vem ganhando elevado crescimento no mercado, como consequência das propriedades saudáveis atribuídas ao azeite de oliva, as oliveiras se espalharam por diferentes partes do mundo, sendo cultivada em mais de 40 países e mais de 10 milhões de ha (TAGUAS *et al.*, 2021).

A produção de azeite gera uma grande quantidade de resíduos diferentes, alguns derivados do cultivo de árvores (resíduos agrícolas), e outros de vários pontos do processo de produção de azeite que ocorre em oliveiras (resíduos agroindustriais) (GULLÓN *et al.*, 2018).

Os principais resíduos agroindustriais são as folhas de oliva e o bagaço. As folhas entram no processo junto com as azeitonas, e são removidas e descartadas nos estágios iniciais do processamento; as folhas não têm aplicação prática e são usadas apenas às vezes como ração animal (CABALLERO *et al.*, 2020).

Esses resíduos de oliva não possuem aplicações industriais e geralmente são queimados ou apenas deixados no campo para fins de fertilização; no entanto, ambas as práticas têm riscos ambientais associados (RUIZ *et al.*, 2017).

Temos também a indústria brasileira de cerveja, que é responsável pela geração de consideráveis volumes de resíduos sólidos, principalmente o bagaço de cevada, decorrente dos processos realizados. Estima-se que anualmente no Brasil sejam produzidas cerca de dois milhões de toneladas desse resíduo, o que representa aproximadamente 85% dos subprodutos do processo. A composição do bagaço de cevada é caracterizada por seu alto teor de proteínas e carboidratos, incluindo materiais nitrogenados, fibras, lipídeos e lignina. A cada 100 litros de cerveja produzidos, são gerados cerca de 20 kg de bagaço, os quais são principalmente utilizados como ração animal (ALVES *et al.*, 2020).

O resíduo úmido de cervejaria (RUC) é reconhecido como uma fonte alternativa de excelente qualidade nutricional para alimentação animal (Schone *et al.*, 2016). Contudo, seu alto teor de umidade, variando entre 70% e 80%, representa um obstáculo à sua utilização, especialmente em regiões distantes das indústrias cervejeiras, devido às dificuldades no transporte, armazenamento e conservação do material (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011).

Outra atividade que vem crescendo nos últimos anos e geram um volume considerável de resíduo, são as chamadas Biofábricas de Agentes Biológico. As Biofábricas produzem hospedeiros, como por exemplo a *Ephestia kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera) para que seus ovos e larvas sejam usados como hospedeiros convencionais para a criação de muitos parasitoides e predadores utilizados no controle biológico de pragas de armazenamento, o que traz a necessidade de manutenção das suas criações, gerando grande quantidade de resíduo farináceo (BORZOU *et al.*, 2016; ABDALLA; YANIK; ACHIRI, 2018).

A atividade agroindustrial gera milhões de toneladas de subprodutos e resíduos vegetais/orgânicos, que poderiam ser explorados pela reentrada na cadeia produtiva, a fim de diminuir seu impacto ambiental e ganhar valor adicional com os processos (ZACHAROF, 2017).

Com o objetivo de reduzir a carga ambiental e melhorar a saúde pública, devem ser exploradas e fomentadas estratégias inovadoras, ecologicamente viáveis e financeiramente

viáveis de gestão de resíduos. Nesse sentido, vários métodos inovadores usando larvas de moscas estão sendo desenvolvidos recentemente, na qual destaca-se a espécie conhecida como Black Soldier Fly (*H. illucens*), mostrando ser uma alternativa promissora no manejo de resíduos (EBENEEZAR *et al.*, 2021).

3.3 Tratamentos convencionais x tratamentos com BSFL

No Brasil, os processos mais comuns para o manejo de resíduos incluem a compostagem, a biodigestão anaeróbica e os tratamentos mecânicos-biológicos (TMB), cada um adequado a diferentes características dos materiais a serem tratados.

A compostagem é uma técnica tradicional e amplamente adotada para resíduos orgânicos. Trata-se de um processo biológico no qual microrganismos decompõem a matéria orgânica, resultando em um composto estável utilizado como fertilizante. Além de reduzir o volume de resíduos, esse método recupera nutrientes, melhora a qualidade do solo e é de baixo custo. Também contribui para o ciclo de nutrientes, favorecendo a fertilidade do solo e a produtividade agrícola (SILVA *et al.*, 2022).

A biodigestão anaeróbica, por sua vez, ocorre na ausência de oxigênio. Nesse processo, microrganismos decompõem a matéria orgânica, gerando biogás (composto principalmente de metano) e digestato, que pode ser usado como fertilizante. Esse método é amplamente empregado no tratamento de resíduos ricos em carbono, como resíduos alimentares e lodo de esgoto. Além de promover a geração de energia renovável, o biogás substitui combustíveis fósseis, enquanto o digestato contribui para a sustentabilidade agrícola (SILVA *et al.*, 2020).

O tratamento mecânico-biológico (TMB) combina processos físicos e biológicos para gerenciar grandes volumes de resíduos, como os provenientes de áreas urbanas e agroindustriais. Inicialmente, os materiais são separados em frações — orgânicos, recicláveis e inertes — por métodos mecânicos. Em seguida, as frações orgânicas passam por decomposição biológica. Essa abordagem permite reduzir o volume de resíduos e recuperar materiais recicláveis (HELENO, SILVA, 2022).

Apesar da eficácia desses métodos convencionais, eles apresentam limitações que podem ser superadas por tecnologias emergentes, como a bioconversão de resíduos com BSFL. Essa abordagem complementa os processos tradicionais, oferecendo uma solução mais sustentável para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e orgânicos.

A bioconversão com BSFL tem ganhado destaque devido à sua capacidade de transformar resíduos orgânicos em produtos de alto valor agregado, como biomassa larval rica em proteínas e lipídios, utilizada na alimentação animal, e resíduos finais que podem ser aplicados como biofertilizantes (BARRAGAN-FONSECA *et al.*, 2017). Essa tecnologia, além de ser eficiente, contribui para o fechamento de ciclos produtivos dentro dos princípios da economia circular, reduzindo a dependência de recursos naturais finitos e minimizando impactos ambientais.

3.4 Bioecologia de *Hermetia illucens*

É um inseto holometabólico proveniente de regiões tropicais, subtropicais e temperadas do continente americano, sendo, atualmente, encontrada em todo o mundo entre as latitudes 40° Sul e 45° Norte (CARUSO *et al.*, 2014).

O ciclo de vida consiste basicamente em cinco estágios: ovo (4 dias), larva (13-18 dias), pré-pupa (7 dias), pupa (10 dias) e adultos (5-8 dias) (SINGH; KUMARI, 2019). As larvas são saprófagas (DIENER, 2010) e podem ser encontradas em uma ampla variedade de matéria orgânica em decomposição, incluindo vegetais, animais e fezes (TOMBERLIN; ADLER; MYERS, 2009). Possuem poderosas peças bucais, uma flora intestinal rica e uma atividade enzimática eficiente, que lhes permite decompor amidos, proteínas e lipídios (CARUSO *et al.*, 2014).

Durante o último período larval, a pré-pupa migra para o local seco e adequado e se converte em pupa (LIU *et al.*, 2017). Nesta fase, a espécie atinge seu tamanho máximo composto por 36-48% de proteína e 33% de gordura (YU *et al.*, 2009).

Os espécimes adultos não são considerados vetores de doenças, pois não se alimentam, elas sobrevivem com a gordura armazenada no estágio larval (LIU *et al.*, 2017; PATHAK; RAJENDRA, 2015).

As fêmeas são geralmente mais curtas que os machos, mas têm grandes terminais do que a genitália masculina e asas maiores que os machos. O comprimento do corpo feminino e das asas geralmente varia de 12 a 20 mm e 8-14,8 mm (SINGH; KUMARI, 2019).

O acasalamento na mosca soldado negro ocorre aproximadamente dois dias após a eclosão e certas estratégias ou comportamentos de acasalamento existem. Por exemplo, os machos aguardam fêmeas em locais *lekking* (local onde machos realizam exibições para a fêmea) e realizam comportamentos territoriais onde um macho descansando no local de *lekking* interage agressivamente com um macho intruso chegando dentro de seu território. Após esses eventos,

o intruso sai e o macho descansando retorna ao local de *lekking* (DICLARO II; KAUFMAN, 2009). As fêmeas que passam pelo local podem ser agarradas por machos, e o acasalamento ocorre em voo onde após o par de acasalamento desce enquanto ainda copula (TOMBERLIN; SHEPPARD, 2001).

Como o tempo de vida da BSF é muito pequeno; uma única fêmea produz muitos ovos que logo eclodem em larvas de recém-nascidos (DORTMANS *et al.*, 2017). Os ovos são depositados em massa, e são colocados geralmente em fendas ou locais secos próximo a locais com matéria orgânica em decomposição (FERRARI *et al.*, 2009).

3.5 Potencial em bioconversão

As larvas são capazes de se alimentar de uma variedade de resíduos orgânicos (tabela 02), reduzindo o volume em uma duração muito curta de tempo (SINGH; KUMARI, 2019). Essas larvas se alimentam de resíduos orgânicos o dobro do próprio peso e por causa dessa qualidade inerente são caracterizados como meio sustentável de redução de resíduos orgânicos (ÜSTÜNER; HASBENLÍ; ROZKOŠNÝ, 2003).

Além de destacar-se no processo de bioconversão, um dos principais achados de diferentes autores também revelaram que a espécie desempenha papel vital na modificação da microflora presente nos resíduos durante a compostagem e reduz bactérias nocivas como *Escherichia coli* e *Salmonella entérica* ao segregar compostos bactericidas prejudiciais (GABLER; VINNERÅS, 2014; LALANDER *et al.*, 2019).

Essas descobertas destacam a importância da BSFL não apenas na redução de resíduos orgânicos, mas também na melhoria da qualidade dos compostos orgânicos produzidos, tornando-a uma ferramenta valiosa para a gestão sustentável de resíduos.

Tabela 1. Levantamento de trabalhos que avaliaram a bioconversão através de BSFL em diferentes resíduos.

Tipo de resíduo utilizado	Taxa de redução	Estudo
Soja	85	Chiam et al. (2021)
Palha de milho	48	Gao et al. (2019)
Estrume de frango	75	Bortolini et al. (2020)
Desperdício de restaurante	72	Ebeneezar et al. (2021)
Fezes humanas, Abatedouro + frutas e vegetais e lodo primário	48 – 61 - 63	Lalander et al. (2019)
Orgânicos municipais	68	Diener et al. (2011)
Subprodutos do trigo e estrume de gado	56 - 43	Gold et al. (2020)
Coalhada de soja	72	Somroo et al. (2019)
Estrume de suíno	53	Zhou et al. (2013)
Resíduos de frutas e vegetais	80	Nguyen et al. (2022)
Resíduos de frutas, vegetais, restos de alimentos	70 – 90	Zheng et al. (2020)
Resíduos de alimentos, esterco de gado	50 – 80	Oonincx et al. (2019)

3.6 Demanda por proteína

Espera-se que a população mundial atinja 9 - 10 bilhões em 2050. Essa perspectiva impacta diretamente o consumo de alimentos por meio do crescimento agrícola e pecuário, o que pode aumentar o desmatamento, o consumo de água e a emissão de gases de efeito estufa (FAO, 2017). Para mitigar os riscos das mudanças climáticas causadas pela agricultura tradicional e pela produção pecuária, houve um aumento na busca por novas fontes proteicas sustentáveis (QUEIROZ *et al.*, 2021).

A demanda por proteína na alimentação animal tem crescido exponencialmente nas últimas décadas, impulsionada pelo aumento da população global, pela urbanização e pela mudança nos padrões de consumo. Essa tendência tem gerado preocupações em relação à sustentabilidade e à eficiência do sistema alimentar, levando pesquisadores e profissionais da indústria a buscar alternativas viáveis para suprir essa demanda crescente (STEINFELD, 2006).

O aumento da urbanização e a ascensão da classe média em países em desenvolvimento estão impulsionando um aumento na demanda por produtos de origem animal, como carne, leite e ovos. Esse fenômeno está exercendo uma pressão adicional sobre os recursos naturais, como terra, água e energia, que são essenciais para a produção de alimentos para animais (THORNTON, 2010).

Nesse contexto, a eficiência da conversão de alimentos é uma preocupação central. A produção de proteína animal tende a ser menos eficiente em termos de conversão de alimentos do que a produção de proteína vegetal, uma vez que os animais precisam de grandes quantidades de alimentos para produzir quantidades relativamente pequenas de carne, leite ou ovos (ERTL; KNAUS; ZOLLITSCH, 2016).

Além disso, a produção convencional de proteína animal está associada a uma série de impactos ambientais negativos, incluindo desmatamento, emissões de gases de efeito estufa, poluição da água e perda de biodiversidade, ameaçando a sustentabilidade dos sistemas alimentares globais (GERBER *et al.*, 2013).

Com relação ao crescimento pecuário, a aquicultura destaca-se por ter o crescimento mais rápido na produção de alimentos, com uma taxa média anual acima de 5,5% ao ano e, por isso, é considerada como um dos setores pecuários capazes de suportar a demanda global de produtos de origem animal (FAO, 2017).

O crescimento da produção de peixes leva a um aumento na demanda de alimentos para aquicultura. Por muitos anos, a farinha de peixe (FM) tem sido a fonte de proteína preferida para a produção de *aquafeeds* devido ao seu valioso teor de proteínas e ácidos graxos, perfil de aminoácidos, alta digestibilidade e palatabilidade (TACON; METIAN, 2018).

No entanto, o aumento constante da demanda por alimentos para aquicultura levou a um rápido crescimento do preço FM e a um impacto negativo no ecossistema marinho. Para manter o percentual correto de proteína para atender às exigências nutricionais dos peixes, nos últimos 20 anos a FM foi parcialmente substituída por matérias-primas alternativas, como fontes de proteínas vegetais e proteínas animais processadas (PAPs), levando a uma redução da inclusão da FM dietética nas rações (FROELICH *et al.*, 2018; HODAR *et al.*, 2020).

Recentemente, para substituir a FM, a atenção tem sido focada no uso de PAPs derivados de insetos. Os insetos podem ser usados para produzir ingredientes de alta qualidade, ricos em proteínas e gordura, a partir da biomassa residuais e com baixo impacto ambiental (ZARANTONIELLO *et al.*, 2020).

Uma das espécies de insetos com maior potencial para ser usado em rações de peixe é a BSFL. As larvas desta mosca podem ser criadas em resíduos orgânicos de baixo valor, com baixa demanda de água e gerando baixas emissões de gases de efeito estufa. Geralmente, as refeições obtidas da BSF mostram um teor proteico variando de 37% a 63%, e um teor de gordura de 7% a 39% em uma base de matéria seca (CAIMI *et al.*, 2021; MINTAH *et al.*, 2020),

com isso, vários estudos avaliam a utilização dessas larvas na alimentação de diferentes espécies.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Criação da BSF em laboratório

O ciclo de vida da BSF segue um processo controlado, dividido em várias etapas que garantem o manejo eficiente das larvas para fins de bioconversão de resíduos (figura 3). O ambiente de criação é cuidadosamente ajustado para otimizar as condições de desenvolvimento de cada fase do ciclo.



Figura 3. Infográfico da criação de BSF em laboratório.

Reprodução (1):

Ambiente de Reprodução: Os adultos são mantidos em gaiolas específicas, onde as condições controladas, como temperatura (26°C), umidade (60%) e luz (12 a 16 horas por dia), simulam o ambiente ideal para acasalamento. A reprodução geralmente ocorre durante o dia, quando a luz solar adequada estimula o comportamento dos adultos.

Postura de Ovos: As fêmeas depositam seus ovos em pequenos compartimentos, como cartuchos de madeira ou em ranhuras, onde estão protegidos até eclodirem. Um ponto importante é que cada fêmea pode depositar até 500 ovos de uma vez, assegurando a continuidade do ciclo.

Berçário (2):

Retirada dos Ovos: Após a postura, os ovos são retirados cuidadosamente dos cartuchos de madeira para garantir maior controle do desenvolvimento das larvas.

Incubação e Eclosão: Os ovos são colocados em uma peneira posicionada acima de um recipiente com dieta específica, geralmente uma mistura à base de ração de frango, altamente nutritiva para as larvas neonatas. Esse substrato alimentício garante uma fonte rica em proteínas e energia para que as larvas neonatas possam começar a se desenvolver rapidamente após a eclosão, que ocorre em aproximadamente 3 a 4 dias após a postura.

Larvas Iniciais (3):

Período Crítico Inicial: Durante os primeiros cinco dias de vida, as larvas permanecem no recipiente do "berçário", que ainda contém uma dieta rica e equilibrada. Essa fase é fundamental para o crescimento das larvas, pois elas ganham resistência e preparam-se para serem transferidas para resíduos orgânicos mais complexos e menos nutritivos.

Transição de Dieta: Ao final dessa fase, as larvas já estão preparadas para suportar e digerir diferentes tipos de resíduos, como restos de alimentos ou outros tipos de biomassa orgânica. A transição para esses novos alimentos é crucial, pois é quando começam a desempenhar seu papel na bioconversão de resíduos.

Engorda (4):

Fase de Crescimento Intenso: As larvas entram em uma fase de crescimento acelerado, durante a qual são alimentadas com resíduos orgânicos. A engorda é dividida em 5 estágios chamados "instares", que são fases larvais marcadas por sucessivas mudas (troca de exoesqueleto) que permitem o aumento de tamanho.

Aumento de Peso e Biomassa: Durante esse período, o foco principal é maximizar o ganho de peso e a conversão de resíduos em biomassa larval. As larvas podem aumentar várias vezes seu tamanho corporal e peso, o que é de extrema importância, seja para a produção de proteínas, óleo ou fertilizantes, dependendo do objetivo da criação.

Pré-Pupa/Pupa (5):

Transição para Pré-Pupa: Após o quinto instar, as larvas atingem seu tamanho máximo e entram na fase de pré-pupa. Nessa fase, elas param de se alimentar, isso ocorre porque as larvas estão se preparando para a metamorfose. Sua cor muda para marrom escuro ou preta, e elas acumulam reservas energéticas para suportar o processo de metamorfose.

Formação da Pupa: As pré-pupas se transformam em pupas. Dentro do casulo da pupa, ocorrem transformações internas profundas, nas quais a BSFL é reestruturado para emergir como um adulto completamente formado. Essa fase pode durar várias semanas, dependendo das condições ambientais, como temperatura e umidade.

Emergência dos Adultos: Após o período de pupa, os adultos emergem, reiniciando o ciclo de vida. Os adultos de BSF têm vida curta, em torno de 5 a 8 dias, e seu único objetivo é acasalar e garantir a continuidade da espécie, pois eles não se alimentam nessa fase.

4.2 Deliamento experimental

Os resíduos foram escolhidos considerando a disponibilidade regional, resultando na utilização de bagaço de uva (Sauvignon Blanc e Merlot) proveniente da produção de vinho, bagaço de laranja derivado da fabricação de suco, bagaço de cevada gerado durante o processo de produção de cerveja artesanal, torta de oliva proveniente da extração de azeite de oliva e resíduo farináceo originário da criação da *E. kuehniella*.

Todos os resíduos foram submetidos a congelamento, para evitar qualquer tipo de contaminação com outro organismo, posteriormente, para obter uma padronização de todos os resíduos, estes passaram por um processo de secagem em estufa com circulação de ar a 65°C por 72 horas. Após a secagem, foram triturados em um moinho de facas do tipo Willey, com uma malha de 1 mm.

Os resíduos foram submetidos a análises nutricionais (Gordura Bruta, Proteína Bruta, Fibra Bruta, Matéria Mineral e Carboidrato Total) de acordo com métodos oficiais da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016) (KOMILUS; MUFIT (2021)).

4.2.1 Metodologia 1 - Efeito dos resíduos no desenvolvimento da espécie

Para avaliar o desenvolvimento da BSFL realizou-se experimentos em triplicata, onde cada recipiente recebeu 30 gramas dos respectivos resíduos, acrescido de 70% de água (21 ml), e 100 larvas iniciais com cinco dias de idade (figura 4).

Nesse experimento, os parâmetros avaliados foram:

Viabilidade Larval: Foi contabilizada as larvas finais ao final do experimento;

Viabilidade Pupal: Foi contabilizada as larvas que chegaram até a fase de pupa e posteriormente a fase adulta;

Tempo de desenvolvimento: Foi considerado o número de dias entre o início do experimento até a observação das primeiras pré-pupas (30% da população);

Desenvolvimento larval: as larvas foram avaliadas a cada dois dias, onde retirou-se 30 larvas do tratamento, estas foram lavadas em água, secas em papel toalha, medidas e pesadas, e posteriormente colocadas de volta no tratamento.

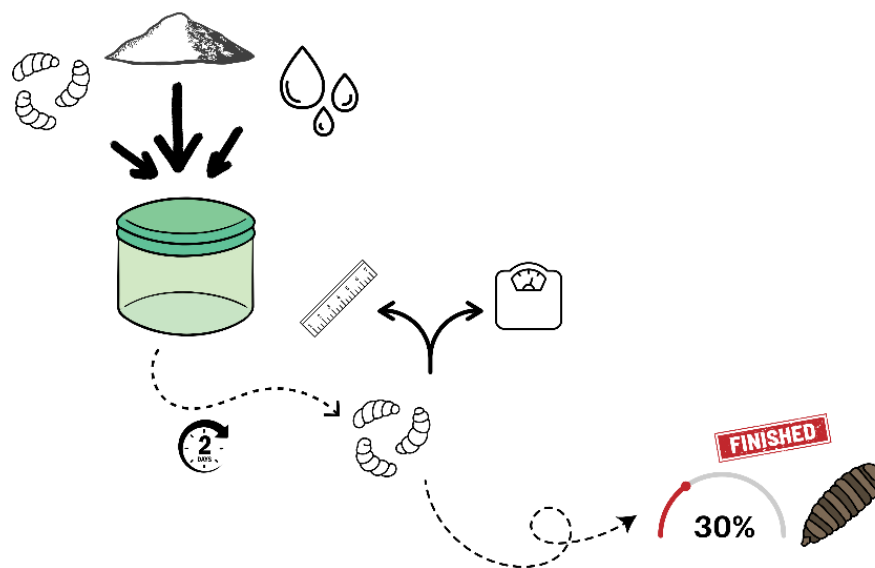


Figura 4. Metodologia 1 - Efeito dos resíduos no desenvolvimento da espécie

4.2.2 Metodologia 2 – Desempenho em bioconversão

O desempenho em bioconversão dos resíduos através do uso de BSFL foi avaliado em experimento semelhante ao citado anteriormente (figura 5), sendo analisado os parâmetros sugeridos por BOSCH *et al.* (2020):

- **Ganho de biomassa (% , peso fresco)**

$$= \text{peso larval final} - \text{peso larval inicial} \times 100$$

- **Rendimento da biomassa**

$$\frac{g \text{ biomassa produzida}}{g \text{ substrato consumido}}$$

- **Eficiência de bioconversão (BE)**

$$\frac{l_f - l_i}{d} \times 100$$

Onde: D é a quantidade de dieta fornecida; lf, peso larval final; li, peso larval inicial.

- **Redução do substrato**

$$\frac{\text{Total de resíduo adicionado} - \text{resíduo após o tratamento}}{\text{Total de resíduo adicionado}} \times 100$$

- **Taxa de conversão**

$$\frac{\text{Resíduo consumido}}{\text{Total de biomassa larval}}$$

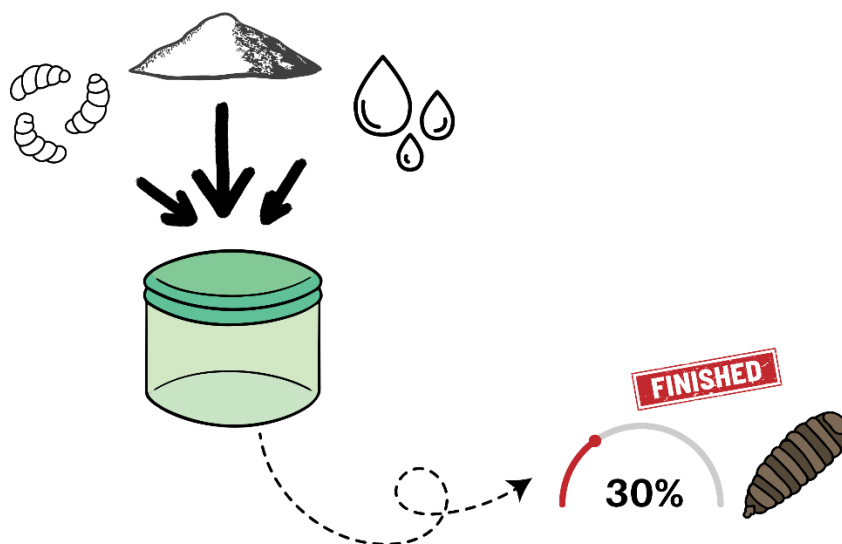


Figura 5. Metodologia 2 – Desempenho em bioconversão

4.2.3 Metodologia 3 – Avaliação nutricional

Para avaliação da composição nutricional das larvas, foi realizado um experimento isolado (figura 6), com as mesmas condições dos demais experimentos, porém em uma proporção maior, pois foi necessário um volume maior de larvas finais para serem avaliadas nutricionalmente.

Foram utilizadas bandejas plásticas de 12,8 cm de altura x 29,0 cm de largura x 40,8 cm de comprimento, onde foi fornecido uma quantia de 3kg de resíduo de peso seco, acrescido de 70% de água (2,100 litros) onde, para cada quilograma de resíduo úmido, foram adicionados 2

gramas de larvas iniciais de BSF com 7 dias de idade. O tratamento foi encerrado quando 30% das larvas atingiram o estágio de pré-pupa.

As larvas maduras passaram por um processo de peneiração e lavagem, seguido de insensibilização por resfriamento durante duas horas. Em seguida, foram colocadas em uma estufa com circulação de ar a 70°C por 48 horas. Após a secagem, as larvas desidratadas foram trituradas usando um liquidificador industrial, com o objetivo de produzir a farinha de BSFL que foi encaminhada para análise nutricional em laboratório conveniado.

As seguintes análises nutricionais foram realizadas: Gordura Bruta, Proteína Bruta, Fibra Bruta, Matéria Mineral, Carboidratos Totais, Cálcio e Fósforo, de acordo com métodos oficiais da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016).

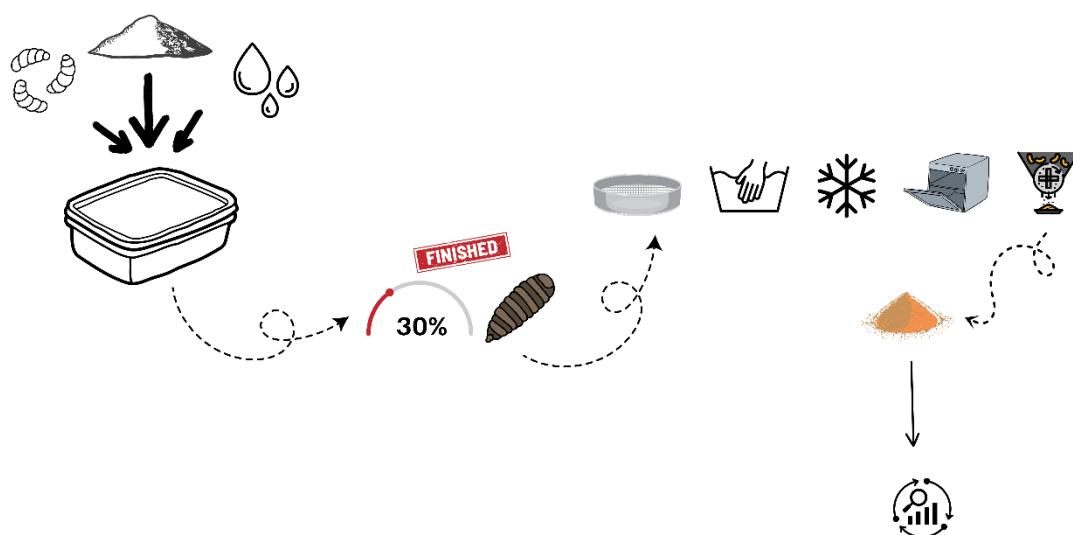


Figura 6. Metodologia 3 – Avaliação nutricional

4.2.4 Metodologia 4 - Avaliação dos métodos de abate

Foram utilizadas bandejas plásticas de 12,8 cm de altura x 29,0 cm de largura x 40,8 cm de comprimento, onde foi fornecido uma quantia de 3kg de resíduo de peso seco, acrescido de 70% de água (2,100 litros) onde, para cada quilograma de resíduo úmido, foram adicionados 2 gramas de larvas iniciais de BSF com 7 dias de idade. O tratamento foi encerrado quando 30% das larvas atingiram o estágio de pré-pupa.

Posteriormente, todas as pré-pupas e larvas foram colhidas manualmente com peneira, lavadas, secas com papel toalha e enviadas aos diferentes tipos de abate (figura 7):

Branqueamento (BC): Larvas abatidas pela técnica de branqueamento em água a 100 °C imersas por 40 segundos, subsequentemente secas em estufa de aquecimento (DeLeo) a 65 °C por 48 horas.

Resfriamento (CL): Larvas abatidas pela técnica de dessensibilização por resfriamento pelo período de 2 horas em temperatura de -20 °C, subsequentemente secas em estufa de aquecimento (DeLeo) a 65 °C por 48 horas.

Congelamento (FZ): Larvas abatidas pela técnica de dessensibilização por resfriamento e congeladas em freezer por dois meses em temperatura de -20 °C.

As larvas de todos os métodos de abate após a secagem, foram trituradas em liquidificador industrial (JI Colombo) por 30 segundos para obter-se a farinha de BSFL para análises nutricionais (Carboidratos Totais, Cinzas, Cálcio, Fibra Bruta, Fósforo Total, Lipídeos e Proteína Bruta) seguindo métodos oficiais da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016).

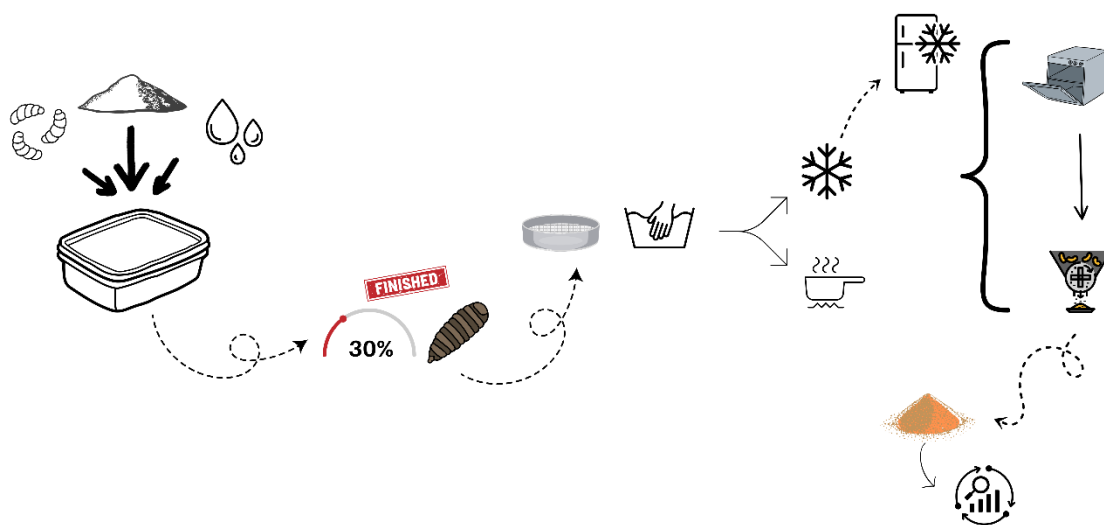


Figura 7. Metodologia 4 - Avaliação dos métodos de abate.

8. REFERÊNCIAS

- ABDALLA, E.; YANIK, E.; ACHIRI, D. T. Reproductive performance and mating behavior of the predatory bug, *Anthocoris minki* Dohrn, 1860 (Hemiptera: Anthocoridae). **Turkish Journal of Entomology**, 42, n. 2, p. 117-125, 2018. Doi: <https://doi.org/10.16970/entoted.360731>
- ALBUQUERQUE, D.; LOPES, J.; KLEIN JUNIOR, M.; Merval, R. Resíduo desidratado de cervejaria para suínos em terminação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 63, p. 465-472, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000200026>
- ALVES, E. H.; DOS SANTOS, S. F. B.; CARVALHO, P. H.; WIENDL, V. B. Otimização de processo biotecnológico utilizando resíduo da indústria cervejeira na produção da enzima tanase. **Revista Univap**, 26, n. 52, p. 1-15, 2020. Doi: <https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v26i52.2471>
- AMRUL, N. F.; KABIR AHMAD, I.; AHMAD BASRI, N. E.; SUJA, F. A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Sustainability**, 14, n. 8, p. 4565, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/su14084565>
- BANKS, I. J.; GIBSON, W. T.; CAMERON, M. M. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Tropical medicine & international health*, 19(1), 14-22, 2014. <https://doi.org/10.1111/tmi.12228>
- BOUDABBOUS, K.; HAMMAMI, S. B.; TOUKABRI, W.; BOUHAOUËL, I.; AYED, S.; FRAIHI, W.; LABIDI, S. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass organic fertilizer improves soil quality and the productivity of durum wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(18), 2491-2507, 2023. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2227208>
- BORTOLINI, S.; MACAVEI, L. I.; SAADOUN, J. H.; FOCA, G. *Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy. **Journal of Cleaner Production**, 262, p. 121289, 2020/07/20/ 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121289>
- BORZOUÏ, E.; NASERI, B.; MOHAMMADZADEH-BIDARANI, M. Adaptation of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) to rearing on *Ephesia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of insect science**, 16, n. 1, p. 12, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iew001>
- CABALLERO, A. S.; ROMERO-GARCÍA, J. M.; CASTRO, E.; CARDONA, C. A. Supercritical fluid extraction for enhancing polyphenolic compounds production from olive waste extracts. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, 95, n. 2, p. 356-362, 2020. Article. Doi: <https://doi.org/10.1002/jctb.5907>
- CAIMI, C.; BIASATO, I.; CHEMELLO, G.; ODDON, S. B. Dietary inclusion of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larva meal in low fishmeal-based

diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 12, n. 1, 2021. Article. Doi: <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00575-1>.

CARUSO, D.; DEVIC, E.; SUBAMIA, I.; TALAMOND, P. Technical handbook of domestication and production of Diptera black soldier fly (BSF), *Hermetia illucens*, Stratiomyidae. **IRD editions, Bogor**, 2014.

CARDOSO, H. H. L.; NETO, SOUZA, I. V.; FAÇANHA, A. C. M.; SANTOS, A. V. A.; SILVA, A. G.; PEREIRA, C. E. R.; SILVESTRE, R. C.M.; JEAN, R. N. P. A disposição final de caroço de açaí no distrito administrativo de Icoaraci, Pará. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, 14 (1), 221-236,2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.31072>

CHIAM, Z.; LEE, J. T. E.; TAN, J. K. N.; SONG, S. Evaluating the potential of okara-derived black soldier fly larval frass as a soil amendment. **Journal of Environmental Management**, 286, p. 112163, 2021/05/15/ 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112163>

DE SOUZA, M. P.; HOELTZ, M.; BRITTES BENITEZ, L.; MACHADO, Ê. L. Microalgae and clean technologies: A review. **CLEAN–Soil, Air, Water**, 47, n. 11, p. 1800380, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1002/clen.201800380>

DEVESA-REY, R.; VECINO, X.; VARELA-ALENDE, J. L.; BARRAL, M. T. Valorization of winery waste vs. the costs of not recycling. **Waste Management**, 31, n. 11, p. 2327-2335, 2011/11/01/ 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.06.001>

DICLARO II, J. W.; KAUFMAN, P. E. Black soldier fly *Hermetia illucens* linnaeus (insecta: Diptera: Stratiomyidae). **EDIS**, 2009, n. 7, 2009.

DIENER, S. Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, in low and middle-income countries **ETH Zurich**, 2014. Doi: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-6559779>

DIENER, S.; SOLANO, N. M. S.; GUTIÉRREZ, F. R.; ZURBRÜGG, C. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. **Waste and Biomass Valorization**, 2, n. 4, p. 357-363, 2011. Doi: 10.1007/s12649-011-9079-1

DORTMANS, B.; DIENER, S.; BART, V.; ZURBRÜGG, C. Black soldier fly biowaste processing: a step-by-step guide. **eawag**, 2017. Doi:

EBENEEZAR, S.; D, L. P.; C.S, T.; N. S, J. Nutritional evaluation, bioconversion performance and phylogenetic assessment of black soldier fly (*Hermetia illucens*, Linn. 1758) larvae valorised from food waste. **Environmental Technology & Innovation**, p. 101783, 2021/07/10/ 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101783>

ERICKSON, M. C.; ISLAM, M.; SHEPPARD, C.; LIAO, J.; DOYLE, M. P. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *Journal of food protection*, 67(4), 685-690, 2004. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.4.685>

ERTL, P.; KNAUS, W.; ZOLLITSCH, W. An approach to including protein quality when assessing the net contribution of livestock to human food supply. **Animal**, 10, n. 11, p. 1883-1889, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731116000902>

FAO, F. The future of food and agriculture—Trends and challenges. **Annual Report**, 296, 2017.

FARAG, M. A.; ABIB, B.; AYAD, L.; KHATTAB, A. R. Sweet and bitter oranges: An updated comparative review of their bioactives, nutrition, food quality, therapeutic merits and biowaste valorization practices. **Food Chemistry**, 331, 2020. Review. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127306>

FERRARI, A. C.; SOARES, A. T. C.; AMORIM, D. S.; THYSSEN, P. J. Comparison of attraction patterns of hermetia illucens (diptera, stratiomyidae) associated to buried rattus norvegicus carcasses with steroid hormones treatment. **Revista Brasileira de Entomologia**, 53, n. 4, p. 565-569, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0085-56262009000400006>

FREITAS, L. C.; BARBOSA, J. R.; DA COSTA, A. L. C.; BEZERRA, F. W. F. From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products? **Resources, Conservation and Recycling**, 169, p. 105466, 2021/06/01/ 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105466>

FROEHLICH, H. E.; JACOBSEN, N. S.; ESSINGTON, T. E.; CLAVELLE, T. Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. **Nature Sustainability**, 1, n. 6, p. 298-303, 2018.

GABLER, F.; VINNERÅS, B. Using black soldier fly for waste recycling and effective Salmonella spp. reduction. **Theses. Swedish University of Agricultural Sciences, Swedish**, 2014.

GAO, Z.; WANG, W.; LU, X.; ZHU, F. Bioconversion performance and life table of black soldier fly (Hermetia illucens) on fermented maize straw. **Journal of Cleaner Production**, 230, p. 974-980, 2019/09/01/ 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.074>

GARCÍA PRIETO, C. V.; RAMOS, F. D.; ESTRADA, V.; VILLAR, M. A. Optimization of an integrated algae-based biorefinery for the production of biodiesel, astaxanthin and PHB. **Energy**, 2017/08/11/ 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.036>

GERBER, P. J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013. 925107920X.

GOLD, M.; CASSAR, C. M.; ZURBRÜGG, C.; KREUZER, M. Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. **Waste Management**, 102, p. 319-329, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>

GULLÓN, B.; GULLÓN, P.; EIBES, G.; CARA, C. Valorisation of olive agro-industrial by-products as a source of bioactive compounds. **Science of The Total Environment**, 645, p. 533-542, 2018/12/15/ 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.155>

HELENO, V.; SILVA, J. Técnicas De Tratamento De Resíduos Sólidos Urbanos E Suas Características Socioambientais. *Agrarian Academy*, 9(17), 2022. Doi: 10.18677/Agrarian_Academy_2022A6

HODAR, A.; VASAVA, R.; MAHAVADIYA, D.; JOSHI, N. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. **J. Exp. Zool. India**, 23, n. 1, p. 13-21, 2020.

IBGE. (2020). *Censo Demográfico 2020: Resultados preliminares*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>

KOMAKECH, A. J.; ZURBRÜGG, C.; MIITO, G. J.; WANYAMA, J. Environmental impact from vermicomposting of organic waste in Kampala, Uganda. **Journal of Environmental Management**, 181, p. 395-402, 2016/10/01/ 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.028>

LALANDER, C.; DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; VINNERÅS, B. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Journal of Cleaner Production**, 208, p. 211-219, 2019/01/20/ 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>

LIU, X.; CHEN, X.; WANG, H.; YANG, Q. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. **PLoS ONE**, 12, n. 8, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>

MAHATO, N.; SHARMA, K.; SINHA, M.; BARAL, E. R. Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review. **Journal of Advanced Research**, 23, p. 61-82, 2020/05/01/ 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.01.007>

MAKKAR, H. P.; TRAN, G.; HEUZÉ, V.; ANKERS, P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

MINTAH, B. K.; HE, R.; AGYEKUM, A. A.; DABBOUR, M. Edible insect protein for food applications: Extraction, composition, and functional properties. **Journal of Food Process Engineering**, 43, n. 4, p. e13362, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13362>

MMA. (2010). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.mma.gov.br>

NCUBE, A.; FIORENTINO, G.; COLELLA, M.; ULGIATI, S. Upgrading wineries to biorefineries within a Circular Economy perspective: An Italian case study. **Science of The Total Environment**, 775, p. 145809, 2021/06/25/ 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145809>

NGUYEN, T. T. X.; TOMBERLIN, J. K.; VAN, H. V.; TRAN, X. D.; UDAYANGA, N. W. B. A. L.; NCHU, F. Bioconversion of organic waste using black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: A review. **Science of The Total Environment**, 807, 150718, 2022. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150718.

NG, H. S.; KEE, P. E.; YIM, H. S.; CHEN, P.-T. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. **Bioresource Technology**, 302, p. 122889, 2020/04/01/ 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122889>

OONINCX, D. G. A. B.; VAN BROEKHOVEN, S.; VAN HUIS, A.; VAN LOON, J. J. A. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. **PLOS ONE**, 14(12), e0225159, 2019. Doi: 10.1371/journal.pone.0225159. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>

PATHAK, R.; RAJENDRA, S. S. P. Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste. **International Journal of Research in Biosciences**, 4, n. 4, p. 38-45, 2015.

QUEIROZ, L. S.; REGNARD, M.; JESSEN, F.; MOHAMMADIFAR, M. A. Physico-chemical and colloidal properties of protein extracted from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **International Journal of Biological Macromolecules**, 186, p. 714-723, 2021/09/01/ 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.081>

RAFIQ, S.; KAUL, R.; SOFI, S. A.; BASHIR, N. Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 17, n. 4, p. 351-358, 2018. Review. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>

RUIZ, E.; ROMERO-GARCÍA, J. M.; ROMERO, I.; MANZANARES, P. Olive-derived biomass as a source of energy and chemicals. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, 11, n. 6, p. 1077-1094, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1002/bbb.1812>

SCHONE, R. A.; ZAMBOM, M. A.; NUNES, R. V.; FERNANDES, T. Secagem de resíduo de cervejaria em camadas de diferentes espessuras. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 127-131, 2016. Doi: <https://doi.org/10.18188/sap.v15i2.10872>

SILVA, A. D. S. E.; MORAIS, N. W. S.; PEREIRA, E. L.; SANTOS, A. B. D. Fatores que influenciam a produção de ácidos carboxílicos a partir de resíduos agroindustriais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 25(5), 655-666, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020190174>

SILVA, M. O.; SOARES, C. A.; MOTA, P. K. A.; DA SILVA, E. A.; DE ALMEIDA MELO, S.; SARAIVA, E. S. S.; FONSECA, Á. I. A. Avaliação do comportamento térmico de compostagem de resíduos agroindustriais e agrofloretais. **Research, Society and Development**, 11(6), e8211628857-e8211628857, 2022. Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28857>

SINGH, A.; KUMARI, K. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. **Journal of Environmental**

Management, 251, p. 109569, 2019/12/01/ 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>

SCHMITT, E.; DE VRIES, W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 25, 100335, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.005>

SOMROO, A. A.; UR REHMAN, K.; ZHENG, L.; CAI, M. Influence of *Lactobacillus buchneri* on soybean curd residue co-conversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for food and feedstock production. **Waste Management**, 86, p. 114-122, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.022>

STEINFELD, H. Livestock's long shadow: environmental issues and options. **Food & Agriculture Org.**, 2006. 9251055718.

SURENDRA, K.; TOMBERLIN, J. K.; VAN HUIS, A.; CAMMACK, J. A. Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.))(Diptera: Stratiomyidae)(BSF). **Waste Management**, 117, p. 58-80, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>

TACON, A. G.; METIAN, M. Food matters: fish, income, and food supply—a comparative analysis. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, 26, n. 1, p. 15-28, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1328659>

TAGUAS, E. V.; MARÍN-MORENO, V.; DÍEZ, C. M.; MATEOS, L. Opportunities of super high-density olive orchard to improve soil quality: Management guidelines for application of pruning residues. **Journal of Environmental Management**, 293, p. 112785, 2021/09/01/ 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112785>

TEIXEIRA, T. A.; MENDES, F. B. Valorização dos resíduos da agroindústria de beneficiamento do açaí: Uma revisão. *Research, Society and Development*, 12(11), e126121143799-e126121143799, 2023. Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i11.43799>

THORNTON, P. K. Livestock production: recent trends, future prospects. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, 365, n. 1554, p. 2853-2867, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0134>

TOMBERLIN, J. K.; ADLER, P. H.; MYERS, H. M. Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. **Environmental entomology**, 38, n. 3, p. 930-934, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>

TOMBERLIN, J. K.; SHEPPARD, D. C. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). **Florida Entomologist**, p. 729-729, 2001. Doi:

VENKATESWAR REDDY, M.; MAWATARI, Y.; YAJIMA, Y.; SEKI, C. Poly-3-hydroxybutyrate (PHB) production from alkylphenols, mono and poly-aromatic hydrocarbons using *Bacillus* sp. CYR1: A new strategy for wealth from waste. **Bioresource Technology**, 192, p. 711-717, 2015/09/01/ 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.043>

YU, G.; CHEN, Y.; YU, Z.; CHENG, P. Research progress on the larvae and prepupae of black soldier fly *Hermetia illucens* used as animal feedstuff. **Chinese bulletin of entomology**, 46, n. 1, p. 41-45, 2009.

ZABANIOTOU, A.; KAMATEROU, P.; PAVLOU, A.; PANAYIOTOU, C. Sustainable bioeconomy transitions: Targeting value capture by integrating pyrolysis in a winery waste biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, 172, p. 3387-3397, 2018/01/20/2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.077>

ZACHAROF, M. P. Grape Winery Waste as Feedstock for Bioconversions: Applying the Biorefinery Concept. **Waste and Biomass Valorization**, 8, n. 4, p. 1011-1025, 2017. Doi: 10.1007/s12649-016-9674-2

ZARANTONIELLO, M.; ZIMBELLI, A.; RANDAZZO, B.; COMPAGNI, M. D. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) reared on roasted coffee by-product and *Schizochytrium* sp. as a sustainable terrestrial ingredient for aquafeeds production. **Aquaculture**, 518, p. 734659, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734659>

ZHENG, L.; HOU, Y.; LI, W.; YANG, S.; LI, Q.; YU, Z. Biodegradation and bioconversion of organic wastes by black soldier fly larvae: A review. **Waste Management**, 102, 32-46, 2020. Doi: 10.1016/j.wasman.2019.10.030.

ZHOU, F.; TOMBERLIN, J. K.; ZHENG, L.; YU, Z. Developmental and waste reduction plasticity of three black soldier fly strains (Diptera: Stratiomyidae) raised on different livestock manures. **Journal of medical entomology**, 50, n. 6, p. 1224-1230, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1603/ME13021>

ÜSTÜNER, T.; HASBENLÍ, A.; ROZKOŠNÝ, R. The first record of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)(Diptera, Stratiomyidae) from the Near East. **Studia dipterologica**, n. 1, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1603/ME13021>



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO E
DOUTORADO

**TECNOLOGIA
AMBIENTAL**



Av. Independência, 2293 - Universitário
Santa Cruz do Sul - RS
CEP 96815-900

(51) 3717-7300
www.unisc.br