

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE –
PPGAA

RODRIGO DE MOURA MANOEL BENTO

**Uso de larvas de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera:
Stratiomyidae) para bioconversão de resíduos agroindustriais e uso do
frass como fertilizante**

Araras - SP

2024

RODRIGO DE MOURA MANOEL BENTO

**Uso de larvas de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera:
Stratiomyidae) para bioconversão de resíduos agroindustriais e uso do
frass como fertilizante**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Agricultura e Ambiente ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar/CCA).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Neves Marques.

Araras - SP

2024

Bento, Rodrigo de Moura Manoel

Uso de larvas de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)
(Diptera: Stratiomyidae) para bioconversão de resíduos
agroindustriais e uso do frass como fertilizante / Rodrigo
de Moura Manoel Bento, Rodrigo Neves Marques --
2024.
45f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São
Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Rodrigo Neves Marques
Banca Examinadora: Rubismar Stolf, Paul Richard
Momsen Miller
Bibliografia

1. Biologia. 2. Processamento mínimo. 3. Resíduo de
cervejaria. I. Bento, Rodrigo de Moura Manoel. II.
Marques, Rodrigo Neves. III. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Rodrigo de Moura Manoel Bento, realizada em 28/05/2024.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Rodrigo Neves Marques (UFSCar)

Prof. Dr. Rubismar Stolf (UFSCar)

Prof. Dr. Paul Richard Momsen Miller (UFSC)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar meu sincero agradecimento ao Professor Doutor Rodrigo Neves Marques, por sua orientação valiosa e por acreditar no meu trabalho, tanto dentro quanto fora da UFSCar. Sua confiança e apoio foram essenciais para o progresso do meu projeto.

À minha mãe, Marlene, pelo carinho, sempre presença e apoio dado em todos os momentos, além de todo esforço e luta que ela fez para contribuir com a minha educação e formação. Se cheguei aqui, neste ponto de sucesso, foi por ela. Minha irmã Flavia, uma mulher que sempre admirei por sua força e determinação. Ela tem sido um exemplo inspirador para mim, incentivando-me a persistir e crescer tanto no meio acadêmico quanto como indivíduo. Além disso, gostaria de agradecer ao meu pai, um homem de simplicidade marcante, que sempre demonstrou preocupação e apoio nos momentos mais desafiadores da vida.

Quero agradecer aos professores do PPGAA por terem dedicado seu tempo para contribuir com o meu aprendizado ao longo dos últimos 2 anos e 3 meses de desenvolvimento e conclusão do projeto. A ajuda intelectual, paciência e interesse no projeto foi muito importante para o sucesso deste trabalho. Também agradecer especialmente os professores Dr. Rubismar Stolf, Dra. Roberta Nocelli e Dr. Paul Richard Miller por aceitarem participar da banca de defesa.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo financiamento desta pesquisa (código de financiamento 001).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVO GERAL	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1. DESCARTE DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL.....	2
3.2. MOSCA SOLDADO NEGRO (<i>Hermetia illucens</i>)	6
3.3. POTENCIAL USO DE FRASS GERADO PELA MOSCA <i>Hermetia illucens</i> COMO FERTILIZANTE DE PLANTAS	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. MANUTENÇÃO DA CRIAÇÃO DE <i>Hermetia illucens</i>	10
4.2. ANÁLISE DO DESEMPENHO BIOLÓGICO DE LARVAS DE <i>Hermetia illucens</i> NOS DIFERENTES COMPOSTOS	13
4.3. EFICIÊNCIA DE BIOCONVERSÃO.....	15
4.4. AVALIAÇÃO DO FRASS COMO FERTILIZANTE DE PLANTAS.....	16
4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	17
5. RESULTADOS	18
5.1. TEMPO DE DESENVOLVIMENTO E PESO DE PRÉ-PUPA.....	18
5.2. RAZÃO SEXUAL.....	20
5.3. EFICIÊNCIA DE BIOCONVERSÃO.....	20
5.4. USO DO FRASS COMO FERTILIZANTE.....	21
6. DISCUSSÃO	30
7. CONCLUSÃO	37
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

RESUMO

Em um mundo onde população, produção e consumo apresentam crescimento constante, o descarte e o tratamento adequado de resíduos torna-se cada vez mais relevantes. A Mosca Soldado Negro [*Hermetia illucens* (L., 1758)] (Diptera : Stratiomyidae). Há mais de 30 anos *H. illucens* tem sido investigada com relação ao seu potencial de auxiliar em sistemas de tratamento e conversão de resíduos, porém a literatura concentra-se principalmente sobre a conversão de esterco e efluentes urbanos e aplicada a contextos internacionais. Considerando o exposto, o presente trabalho visou avaliar a efetividade da utilização de larvas de *H. illucens* na bioconversão de resíduos como alternativa para mitigação dos impactos causados pelo descarte inadequado desses materiais. Larvas foram inicialmente criadas em dieta padrão de 30% farelo de soja, 20% farinha de milho e 50% farelo de trigo, mantidas a umidade de 70%, 25°C e fotoperíodo 12:12h até o estágio adulto. A partir da procriação do grupo inicial, 40 larvas selecionadas ao acaso foram inoculadas a cinco repetições de três tratamentos com diferentes substratos contendo resíduos de cervejaria (bagaço de malte, trub fino e trub grosso), resíduos de processamento mínimo vegetal e a dieta padrão para controle. Os ensaios foram conduzidos a 27°C, umidade 70% e fotoperíodo de 12h. Avaliou-se para cada tratamento o tempo de desenvolvimento das larvas até as fases de pupa e adulto, a conversão do substrato em biomassa dos insetos, o peso seco de material consumido e razão sexual. As análises estatísticas foram conduzidas com auxílio do software R versão 4.1.2, com nível de significância de 5%. Verificou-se que a dieta com resíduos agroindustriais de processamento mínimo retardou o desenvolvimento das larvas até o estágio pré-pupa (28,92 dias, contra 18,68 para o resíduo de cervejaria e 15,27 para dieta padrão), enquanto o peso médio das larvas foi menor entre aquelas alimentadas com resíduo de cervejaria (0,136g contra 0,166g na dieta padrão e 0,172g para resíduo de processamento mínimo). Não foram observadas diferenças com relação à razão sexual. A redução de matéria seca do substrato e incorporação à biomassa das larvas foi maior no tratamento com dieta padrão. Foi possível observar efeito fertilizante do *frass* obtido da alimentação da dieta padrão. O desenvolvimento de larvas em resíduo de processamento mínimo aumentou a duração do período larval, enquanto o peso de pré-pupas foi menor quando alimentadas com resíduo de produção de cerveja. Os melhores índices de bioconversão no resíduo de processamento mínimo, e os *frass* oriundos do desenvolvimento em resíduo de produção de cerveja e dieta padrão são viáveis como fertilizantes. Novos trabalhos são necessários com compostos diferentes para comprovar a efetividade de *H. illucens* como agente de bioconversão para a agricultura.

Palavras-Chave: biologia; processamento mínimo, resíduo de cervejaria

ABSTRACT

Use of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae) larvae for agroindustrial residue bioconversion and use of the frass as fertilizer

In a world where population growth, production and consumption are ever increasing, the proper disposal and treatment of waste raises concern. The Black Soldier Fly [*Hermetia illucens* (L., 1758)] (Diptera : Stratiomyidae) is a neotropical fly which naturally occurs in North and South America, including Brazil, and is now widely spread throughout the world. It has most of its activity during the larval development, in which it can consume large amounts of organic matter, and presents a short life cycle with grown flies unable to cross great distances and barely feeding. For over 30 years *H. illucens* has been studied due to its potential application in waste treatment systems, however the majority of works focus on manure and sewage sludge and are tied to international contexts. This work aimed to evaluate the effectivity of using *H. illucens* larvae to transform agroindustrial waste, presenting an alternative for lessening environmental impacts due to its disposal. *H. illucens* larvae were initially reared in standard diet of 30% soy meal, 20% corn flour and 50% wheat meal under 70% relative humidity and 12:12 h photoperiod, in 25° C, until adulthood. From this first group successful mating 40 larvae were randomly selected and transferred to each of five replication of three different nourishment treatments: brewery solid waste (malt bagasse, fine trub and rough trub), agro-industrial residues from minimal processing system and the standard diet as control. These treatments were kept under 70% relative humidity at 27°C with lightcycle of 12 h. For each, were analyzed the development time from larva to pupae and pupae into adult, the conversion of nourishment into insect biomass, the dry matter of substrate consumed, adult's length and sexual rate within populations. Statistical analyzes were made using R software (v. 4.1.2) with a significance level of $p < 0,05$. We found that the diet based on agro-industrial residues from minimal processing significantly delayed the pupation (mean 29,92 days weighted against 18,68 days for brewery waste diet and 15,27 days for standard diet) whereas the mean larval weight were reduced by the brewery waste food (0,136g against 0,166g for standard diet and 0,172g for minimal processing's). Changes in the sex ratio weren't noticed. The reduction in substrate dry matter and its consequential incorporation to insect biomass were both bigger in larvae under standard diet. The development of larvae in minimal processing residue increased the duration of the larval period, while the weight of pre-pupae was shorter when fed with beer production residue. The best bioconversion index in the minimal processing residue, and the frass coming from the development in beer producing residue and standart diet are viable as fertilizers. New Works are necessary with different compounds to prove the effectiveness of the *H. illucens* as bioconversion agents to agriculture.

Keywords: biology; minimal processing; brewery waste.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que 17% da produção global de alimentos disponíveis aos consumidores em 2019 foram para o lixo das residências, pontos de comercialização, restaurantes e outros serviços alimentares, de acordo com pesquisa realizada pela Organização das Nações Unidas, que visa apoiar os esforços globais para reduzir pela metade o desperdício de alimentos até 2030 (UNITED NATIONS, 2021). Outra problemática do descarte indiscriminado em aterros é a emissão de gases de efeito estufa (WILLIAMS et al., 2015).

Apesar do apelo socioambiental desta temática, obteve-se pouca evolução no cenário das práticas sustentáveis e no gerenciamento de resíduos orgânicos em diversos países, inclusive no Brasil, associado a fatores como o aumento do consumo e uma cultura de descarte, culminando na geração exacerbada de resíduos nos centros urbanos, à falta de recursos, plantas de tratamento não funcionais, carência de formação técnica e informação (NGOC & SCHNITZER, 2009). Contudo, o Brasil destaca-se como grande produtor de matérias-primas vegetais para alimentação humana e animal (CONAB, 2022).

Um dos métodos amplamente adotados para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos, refere-se à compostagem termofílica em leiras. Ademais, outras técnicas podem ser adequadas para o gerenciamento dos resíduos sólidos provindos dos diversos setores agrícolas e agroindustriais (GRUDZIŃSK et al., 2015). É o caso das técnicas de bioconversão que envolvem o uso de organismos vivos, sobretudo insetos, para consumir resíduos orgânicos. A mosca-soldado-negro (Black Soldier Fly – BSF, em inglês) *Hermetia illucens* (L. 1758) (Diptera: Stratiomyidae) vem se destacando como um dos principais organismos utilizados em métodos de biocompostagem (GOLD et al., 2018).

As larvas podem consumir uma ampla variedade de material orgânico, como restos vegetais, resíduos de agroindústria e até mesmo fezes de animais (JUCKER et al., 2017; LALANDER et al., 2019; DA SILVA & HESSELBERG, 2020). Além disso, ao contrário de outros insetos que consomem resíduos, as larvas de *H. illucens* não carregam bactérias ou doenças nocivas ao ser humano e são capazes de inativar bactérias patogênicas ao homem, como *Escherichia*

coli e *Salmonella* spp. (ERICKSON et al., 2004; DORTMANS et al., 2017; LALANDER et al., 2015). Somado a isso, as fezes das larvas de *H. illucens* podem ser utilizadas como biofertilizante devido à alta concentração de nutrientes, como nitrogênio e fósforo (DORTMANS et al., 2017). Logo, o *frass* produzido na bioconversão de resíduos orgânicos por *H. illucens* tem sido apontado como um composto rico em nutrientes para fertilização do solo e nutrição de plantas cultivadas (LALANDER et al., 2015; KAWASAKI et al., 2020).

Posto isso, a utilização de larvas de *H. illucens* oferece uma abordagem promissora para a gestão sustentável de resíduos orgânicos, contribuindo para a redução do desperdício de alimentos, a mitigação de impactos ambientais e com potencial de converter resíduos em substratos ricos em nutrientes e com alto valor comercial agregado, promovendo a ciclagem de nutrientes de forma sustentável e eficaz.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de *Hermetia illucens* para a bioconversão de resíduos de sistemas agroindustriais.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a eficiência de conversão de resíduos de processamento mínimo de vegetais e frutas por larvas de *H. illucens*.
- Determinar a eficiência de conversão de resíduos da produção de cerveja por larvas de *H. illucens*.
- Avaliar os parâmetros biológicos de *H. illucens* nos diferentes substratos avaliados.
- Avaliar o uso do *frass* produzido como fertilizante em plantas de alface.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Descarte de Resíduo Agroindustrial

Aproximadamente 17% da produção global de alimentos disponíveis aos consumidores em 2019 foram para o lixo das residências, pontos de comercialização, restaurantes e outros serviços alimentares (UNITED NATIONS,

2021). Outra problemática do descarte indiscriminado em aterros é a emissão de gases de efeito estufa (WILLIAMS et al., 2015).

De fato, existe um apelo socioambiental inerente a essa temática. Entretanto, tem havido escassa progressão no cenário das práticas sustentáveis e no manejo de resíduos orgânicos em diversas nações, incluindo o Brasil. Isso é atribuído a fatores como o aumento do consumo e uma cultura arraigada de descarte, resultando na amplificação da produção de resíduos nas áreas urbanas. Os desafios persistem, abrangendo desde a carência de recursos até a operação deficiente de instalações de tratamento, juntamente com a falta de formação técnica e informacional (NGOC; SCHNITZER, 2009). Apesar desses obstáculos, é válido ressaltar que o Brasil se destaca como um significativo produtor de matérias-primas vegetais destinadas à alimentação humana e animal (CONAB, 2022).

Um dos métodos amplamente adotados para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos, refere-se à compostagem termofílica em leiras. Ademais, outras técnicas podem ser adequadas para o gerenciamento dos resíduos sólidos provindos dos diversos setores agrícolas e agroindustriais (GRUDZIŃSK et al., 2015). É o caso das técnicas de bioconversão que envolvem o uso de organismos vivos, sobretudo insetos, para consumir resíduos orgânicos. A mosca-soldado-negro (“Black Soldier Fly” – BSF, em inglês) *Hermetia illucens* (L. 1758) (Diptera: Stratiomyidae) vem se destacando como um dos principais organismos utilizados em métodos de biocompostagem (GOLD et al., 2018).

As larvas podem consumir uma ampla variedade de materiais orgânicos, como vegetais, restos de alimentação animal e até mesmo fezes (JUCKER et al., 2017; LALANDER et al., 2019; DA SILVA; HESSELBERG, 2020). Além disso, ao contrário de outros insetos que consomem resíduos, as larvas de *H. illucens* não carregam bactérias ou doenças e são capazes de inativar bactérias patogênicas ao homem, como *Escherichia coli* e *Salmonella* spp. (ERICKSON et al., 2004; DORTMANS et al., 2017; LALANDER et al., 2015). Somado a isso, as fezes das larvas de *H. illucens* podem ser utilizados como biofertilizante, devido à alta concentração de compostos de nitrogênio e fósforo (DORTMANS et al., 2017). Logo, o *frass* produzido na bioconversão de resíduo orgânico por *H. illucens* tem sido apontado como um composto rico em nutrientes para

fertilização do solo e nutrição de plantas cultivadas (LALANDER et al., 2015; KAWASAKI et al., 2020).

Nesse contexto, a adoção de larvas de *H. illucens* emerge como uma perspectiva promissora para a gestão sustentável de resíduos orgânicos. Essa abordagem apresenta a capacidade de atenuar os impactos ambientais derivados do desperdício de alimentos (NGUYEN, 2015; CZEKALA, 2020), oferecendo o potencial de transformar resíduos anteriormente prejudiciais ao meio ambiente em substratos abundantes em nutrientes e de elevado valor comercial. Dessa forma, promove-se a ciclagem de nutrientes de maneira sustentável e eficiente (NGUYEN, 2015).

O aumento populacional e os padrões de consumo cada vez mais intensificados na sociedade moderna têm impulsionado os sistemas agropecuários e agroindustriais a ampliarem sua produção. Esse crescimento tem acarretado a geração significativa de resíduos, criando um desafio que assume dimensões de ordem social, econômica e ambiental (VERAS; POVINELLI, 2004).

A agroindústria é responsável pelo beneficiamento e processamento de matérias-primas provenientes da agropecuária, auxiliando na inclusão do meio rural e pequenos produtores na economia nacional e internacional através da geração de uma cadeia de valor (VIANA; CRUZ, 2016). No entanto, boa parte deste resíduo gerado pelo setor agroindustrial não possui uma destinação sustentável, já que o descarte adequado desses resíduos geralmente implica em procedimentos onerosos para a indústria (SILVA et al., 2018). Além dos custos associados ao tratamento desses materiais, muitos dos métodos utilizados apresentam baixa eficiência, o que pode resultar na continuidade da poluição no ambiente (TIMOFIECSYK; PAWLOWSKY, 2000).

Estima-se que as indústrias de processamento de polpas de frutas geram aproximadamente 40% de lixo orgânico, composto principalmente por cascas, sementes e bagaço (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015). É notável que muitos resíduos provenientes do processamento de frutas pelas agroindústrias continuam sendo descartados devido à escassez de informações sobre a quantidade de nutrientes presentes nesses subprodutos, bem como ao desconhecimento de seu potencial como matéria-prima em outros processos (SILVA et al., 2018). Este descarte feito de forma irregular pode representar

perda de biomassa e de nutrientes aproveitáveis pelo setor, além de aumentar o potencial poluidor associado à disposição inadequada que, além da poluição de solos e de corpos hídricos quando da lixiviação de compostos orgânicos, acarreta problemas de saúde pública (ROSA et al., 2011).

Diante desse cenário, é essencial buscar formas de reutilização desses resíduos, tanto para reduzir a poluição ambiental quanto para obter novos produtos com alto valor agregado (BORGES et al., 2004; FERRARI et al., 2004; ZHANG et al., 2007). Dessa maneira, é possível aliar a preocupação com o meio ambiente à obtenção de soluções sustentáveis para o tratamento desses subprodutos. Portanto, a agricultura sustentável surge como uma alternativa para enfrentar os desafios atuais do setor agrícola, buscando o aproveitamento adequado dos resíduos agrícolas, incluindo a reciclagem como uma das opções viáveis (ALTIERI, 2000; SILVA; MELO; SOUZA, 2005).

O crescente interesse em relação à geração de resíduos, que são classificados em industrial, agrícola, sanitário e sólidos urbanos (DIAZ; BLANDINO; CARO, 2018), impulsiona o desenvolvimento da tecnologia sustentável, que promove a ideia de desperdício zero (NNOLIM; OKOH; NWODO, 2020). Além disso, o Brasil possui grande potencial para desenvolver tecnologias e processos inovadores de tratamento e reaproveitamento de resíduos agroindustriais. Pesquisas na área da agroindústria têm o potencial de melhorar a qualidade dos produtos e analisar formas de reaproveitamento e biotransformação dos resíduos para diversas finalidades, contribuindo para a redução do impacto ambiental e promovendo o desenvolvimento sustentável do setor agrícola e industrial (ALTIERI, 2000).

O reaproveitamento de resíduos agroindustriais é uma importante estratégia para mitigar os impactos ambientais negativos e contribuir para a sustentabilidade do setor. O aproveitamento desses subprodutos não apenas reduz a quantidade de resíduos descartados no meio ambiente, mas também pode gerar receitas adicionais para as indústrias, promovendo uma economia circular e responsável. Estratégias como compostagem e digestão anaeróbica têm sido promovidas como métodos eficazes para desviar resíduos orgânicos de aterros sanitários e reduzir seu impacto ambiental (INÁCIO; MILLER, 2009; GRUDZIŃSK et al., 2015). Estratégias como compostagem e bioconversão, em particular, vem se mostrando capaz não apenas de reduzir o volume de resíduos,

mas também de transformá-los em compostos ricos em nutrientes, que podem melhorar a qualidade do solo e promover uma agricultura sustentável (INÁCIO; MILLER, 2009; DOMÍNGUEZ et al., 2010; GARCIA et al., 2019).

3.2. Mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*)

Existem cerca de 78 espécies de *Hermetia* no mundo, das quais 54 já foram identificadas na região Neotropical, sendo 22 presentes no Brasil (MCFADDEN, 1967; WOODLEY, 2011; FACHIN, 2017).

H. illucens é uma espécie de mosca que, embora seja nativa das regiões tropicais, subtropicais e do norte das Américas, tem seu possível centro de origem no sul dos Estados Unidos (DIENER, 2009), está atualmente presente em diversas áreas tropicais e temperadas ao redor do mundo, incluindo o Brasil, sendo facilmente encontrada entre as latitudes de 40°S e 45°N (ÜSTÜNER, 2003; SILVA, 2019). Alguns autores chegam a sugerir que a espécie esteja presente em até 80% do globo (NYAKERI et al., 2017). Apesar disso, adultos de *H. illucens* não são bons voadores e passam a maior parte do dia descansando em plantas. Sua vida adulta dura aproximadamente duas semanas e eles se alimentam exclusivamente de água. Por essas características, pela ausência de aparelhos picadores ou sugadores, e pelo seu curto período de vida na fase adulta, *H. illucens* é normalmente considerada um inseto alheio à transmissão de patógenos causadores de doenças e demais moléstias (AMRUL et al., 2022). A estrutura e função do aparelho bucal de *H. illucens* tem promovido um debate recente e levantado incertezas, visto que grande parte da comunidade acredita que o adulto não possua um aparelho bucal desenvolvido, tornando-a incapaz de se alimentar (DORTMANS, 2017; AMRUL et al., 2022). Entretanto, um estudo realizado por Bruno et al. (2019) evidenciou a presença de um aparelho bucal rudimentar, além de relatar a presença de alimento no trato digestivo quando oferecido banana e néctar para o inseto adulto, mostrando que a mosca é capaz de se alimentar.

Os adultos de *H. illucens* alcançam cerca de 25 milímetros de comprimento, sendo que os machos possuem um abdômen de cor bronzeada, enquanto as fêmeas são marrom-avermelhadas (KUMAR et al., 2019) e consideravelmente mais robustas, atingindo 150% do peso do macho (DIENER et al., 2009). As fêmeas acasalam e depositam seus ovos apenas uma vez em

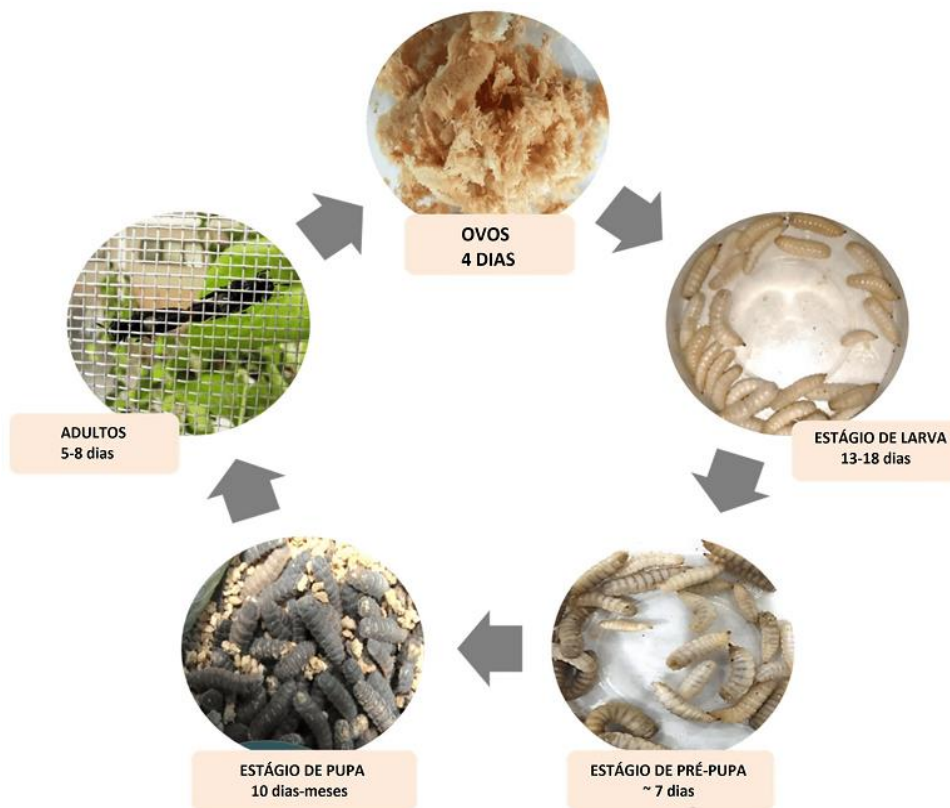
sua vida. Elas preferem se acasalar durante o voo e necessitam de áreas amplas para realizar o voo nupcial (SURENDRA, 2020). O período de oviposição das fêmeas de *H. illucens* varia entre quatro a dez dias, sendo que uma fêmea pode colocar de 550 a 650 ovos (JULITA et al., 2020). A duração da fase de ovo é de três a quatro dias quando em condições ideais de temperatura e umidade (24-28 °C, 65-70% umidade) (SHEPPARD, 2002; NYAKERI et al., 2017; JUCKER et al., 2020; AMRUL et al., 2022), e estes raramente são ovipositados diretamente sobre o material úmido em decomposição (BRADLEY; SHEPPARD, 1984). O macho de *H. illucens* emerge dois dias antes das fêmeas e o acasalamento ocorre dois dias após sua emergência com o voo nupcial. As fêmeas depositam seus ovos em fendas secas próximas ao substrato larval, e as larvas eclodem em aproximadamente quatro dias (TOMBERLIN et al., 2002).

Larvas de *H. illucens* alimentam-se de resíduos orgânicos como esterco, restos de alimentos e material vegetal decomposto (SHEPPARD, 1994; DIENER et al., 2011). Podem ainda consumir a matéria orgânica do lodo de esgotos e restos de animais (SHEPPARD, 1983; NYAKERI, 2017). Durante seu desenvolvimento, as larvas podem atingir até 27 mm de comprimento, com uma largura de até 6 mm e peso de até 220 mg (MAKAR, 2011; AMRUL et al., 2022). No estágio final do desenvolvimento larval (último instar), as larvas atingem seu tamanho máximo e possuem um alto teor de proteína (36% a 48%) e de gordura (33%) (ST-HILAIRE, 2007). O estágio larval, de principal interesse para os sistemas de bioconversão, apresenta duração padrão entre 14 e 16 dias e os adultos emergem entre 10 e 14 dias após a transformação em pupa, podendo variar em função da disponibilidade e qualidade de alimento durante o estágio larval (SHEPPARD, 2002; DIENER et al., 2011). Já na natureza, o ciclo de vida total de *H. illucens*, desde o ovo até o adulto, possui uma duração média de 40 a 47 dias nos trópicos, mas pode se estender para até quatro meses a depender das condições ambientais e disponibilidade de alimento (Figura 1) (FURMAN et al., 1959; TOMBERLIN et al., 2002; AMRUL et al., 2022).

As larvas de *H. illucens* são capazes de consumir grandes quantidades de resíduos orgânicos durante seu estágio larval, interrompendo a alimentação quando se preparam para a pupação. A gordura armazenada em seus corpos é convertida em energia para o acasalamento e a continuidade do ciclo de vida dos adultos (TOMBERLIN et al., 2002). Dessa forma, observa-se que o conteúdo

lipídico de larvas de *H. illucens* é até 3,8 vezes maior que aquele observado para a mosca doméstica (SHEPPARD, 2002). No entanto, condições ambientais como temperatura, luz e umidade desempenham um papel crucial para garantir o sucesso do ciclo de vida de *H. illucens*, especialmente em sistemas de tratamento que visam aproveitar essas moscas para reciclagem de resíduos (TOMBERLIN et al., 2002).

Figura 1. Esquema apresentando o ciclo de vida de *Hermetia illucens* com a duração aproximada de cada estágio do ovo a adulto. É possível notar a mudança de coloração nas larvas para uma tonalidade mais escura no estágio de pré-pupa. Adaptado de Amrul et al. (2022).



Devido ao grande número de larvas presentes no substrato de alimentação e ao apetite voraz das larvas, o material fresco é processado com rapidez e o crescimento bacteriano é anulado em sistemas de bioconversão que utilizam este animal, reduzindo ao mínimo a produção de mau odor característico na decomposição natural de matéria orgânica (BRADLEY; SHEPPARD, 1984).

3.3. Potencial de uso de *frass* gerado por *Hermetia illucens* como fertilizante de plantas

As vantagens do processo de bioconversão utilizando larvas de *H. illucens* não se limitam à sua eficiência na conversão de resíduos. Estima-se que sistemas de bioconversão com larvas de *H. illucens* possam tratar até 200 toneladas de rejeitos por dia, tornando-se uma alternativa promissora para o manejo adequado de resíduos sólidos (AMRUL et al., 2022). Além disso, os subprodutos resultantes do tratamento, como as próprias larvas e seus excrementos, podem ser utilizados como alimento para animais de criação e como adubo, respectivamente.

Outro forte argumento foi o estudo conduzido por Diener (2009) que mostrou que uma área de 930 m² com larvas de *H. illucens* poderia processar cerca de 3 toneladas de resíduos por dia. As larvas são eficazes na decomposição de matéria fecal, como esterco ou efluentes urbanos, mas são necessários mais estudos para explorar seu uso na decomposição de resíduos vegetais. Em média, um sistema com larvas de *H. illucens* pode reduzir mais de 50% do volume de resíduo e incorporar 15-16% do peso líquido da alimentação em sua biomassa (DA SILVA et al., 2019). Contudo, é fundamental considerar o impacto ambiental. Comparado com fertilizantes químicos, o uso de compostos biotransformados, como os produzidos por *H. illucens*, pode apresentar impacto negativo sobre o ambiente, especialmente devido à emissão de gases de efeito estufa na digestão anaeróbia. Esse impacto é reduzido em tratamentos aeróbios (CHIEW et al., 2015). Dessa forma, apesar do potencial transformador das larvas de *H. illucens*, é necessário avaliar cuidadosamente o contexto ambiental e as alternativas para uma abordagem sustentável na reciclagem de resíduos orgânicos.

Amrul et al. (2022) revelaram que larvas de *H. illucens* são altamente eficientes na conversão de diversos tipos de matéria orgânica em biomassa, incluindo restos de alimentos, rejeitos agroindustriais, grãos, esterco e lodo proveniente do sistema sanitário. Através do processo de bioconversão, essas larvas foram capazes de reduzir a massa de resíduos orgânicos 50% mais rápido do que os sistemas tradicionais de compostagem. Além disso, o *frass* produzido revelou-se benéfico para sistemas de criação animal, uma vez que a biomassa incorporada contém proteínas e gorduras que podem ser utilizadas como

alimento para animais (DA SILVA, 2019; AMRUL et al., 2022). Ademais, as larvas têm uma alta capacidade de transformação de resíduos orgânicos em sistemas de lavagem, mesmo em pequena escala. Adicionalmente, o processo de bioconversão por *H. illucens* gera subprodutos que podem ser reintegrados ao mercado ou sistema agropecuário, agregando valor econômico (SHEPPARD, 1983; DIENER, 2009; AMRUL, 2020). Esses produtos referem-se às larvas pré-pupais, que podem ser utilizadas na alimentação de animais de criação, como aves e peixes (DIENER, 2009; 2015) e o *frass*, um misto dos excrementos das larvas e restos não consumidos de matéria orgânica. O *frass*, por sua vez, pode corresponder a até 50% da massa inicial cedida como alimento e apresenta elevado valor de macronutrientes (NPK) e micronutrientes benéficos ao cultivo do solo (DA SILVA, 2019; AMRUL et al., 2022) e há indícios de que sua utilização seja capaz de fortalecer culturas agrícolas contra fatores estressores, como a seca, preocupações crescentes no cenário global das mudanças climáticas (SAWINSKA, 2024).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Manutenção da criação de *Hermetia illucens*

A criação foi iniciada a partir de larvas adquiridas junto à empresa Protin® (Santana do Parnaíba-SP), que comercializa este tipo de material para diversos fins.

As larvas foram inoculadas em dieta padrão para o desenvolvimento da fase larval até a fase de pupa. A dieta utilizada foi adaptada de Scala et al. (2020) e é constituída por: 30% de farelo de soja, 20% de farinha de milho e 50% de farelo de trigo, adicionando água para atingir umidade de 70%. Para evitar problemas com contaminação com pesticidas, optou-se pela aquisição de matéria-prima com certificação de produção orgânicas. A dieta foi mantida em bandejas de 30 x 45 x 15 cm (Figura 2). As larvas permaneceram se alimentando neste recipiente contendo a dieta até atingirem a fase de pré-pupa. Foram mantidas condições ambientais controladas, com 25°C de temperatura, umidade de 70% e fotoperíodo de 12h:12h.

Figura 2. Larvas de *Hermetia illucens* se alimentando sobre dieta padrão em bandejas de 30 x 45 x 15 cm.



Posteriormente, as pré-pupas foram peneiradas do substrato e transferidas para caixas plásticas de pupação (30 x 45 x 15 cm). As pupas foram mantidas nas mesmas condições controladas de temperatura e umidade até a emergência dos adultos. Os recipientes de pupação foram colocados em estantes e envolvidos em saco de tecido *voil* até a emergência dos primeiros adultos. O saco de *voil* impede que os adultos escapem do recipiente de pupação antes de serem transferidos para as gaiolas de adultos.

Após 12 dias, aproximadamente, os recipientes plásticos envolvidos com o saco *voil* foram transferidos para o interior das gaiolas, com dimensões de 100 x 100 x 100 cm (Figura 3) para emergência dos adultos.

Os adultos emergidos foram mantidos em gaiolas em sala climatizada a 27°C, umidade relativa de 70% e fotofase de 12h, contendo placas de papelão corrugado em forma de rolos, formando camadas de papelão para a realização de posturas, por cinco dias (Figura 4). Foi fornecido água com açúcar mascavo como fonte de carboidrato para os adultos em algodão umedecido, seguindo as observações sugeridas por Bruno et al. (2019), colocados próximo aos rolos de papelão. Junto dos rolos, também foi oferecido pedaços de banana em estágio avançado de maturação, servindo de estímulo para a oviposição das fêmeas. Com isso, diariamente os rolos eram verificados e os que continham posturas eram retirados da gaiola (DORTMANS et al., 2017; BERTINETII et al., 2019).

Figura 3. Gaiola de voil (100 x 100 x 100 cm) para emergência de adultos de *Hermetia illucens*.



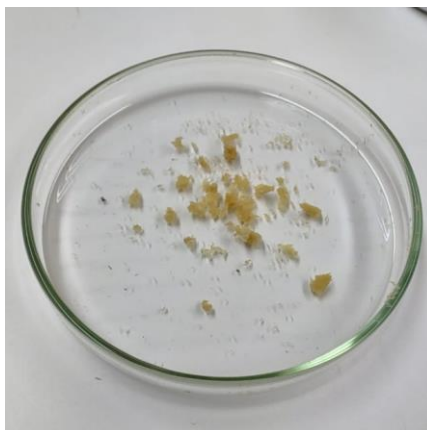
Figura 4. Rolo de papelão corrugado com postura de *Hermetia illucens*.



Posteriormente, os rolos de papelão corrugado com postura foram colocados em caixas plásticas (17 x 13 x 7 cm) junto de uma porção de 10 g de dieta padrão (SCALA et al., 2020) para eclosão das larvas, alimentação e manutenção da criação.

Para a contagem de ovos de *H. illucens*, foram separados porções de 30 mg, 60 mg e 150 mg de ovos com um dia de maturação, que foram distribuídos em placas de Petri. Para realizar a contagem dos ovos, utilizou-se um estereomicroscópio binocular com aumento de 10 vezes. Com essa contagem, foi possível estabelecer a quantidade aproximada de ovos por mg de postura.

Figura 5. Placa de petri com 150 mg de ovos de *Hermetia illucens*.



4.2. Avaliação do desempenho biológico de larvas *Hermetia illucens* nos diferentes compostos

Para a criação das larvas, foram utilizados dois tipos de resíduos: i) resíduos de cervejaria e; ii) resíduos de processamento mínimo de vegetais e frutas. Para o controle, foi utilizada uma dieta padrão adaptada de Scala et al (2020): 30% de farelo de soja, 20% de farinha de milho e 50% de farelo de trigo, com 70% de umidade. Ao total, foram analisados três tratamentos sobre o desempenho biológico de *H. illucens*.

Os resíduos de cervejaria foram obtidos junto a cervejaria Hausen Bier localizada no município de Araras (SP), contendo bagaço de malte, trub fino e trub grosso.

Os resíduos de processamento mínimo de vegetais e frutas foram obtidos junto à agroindústria da Cooperativa de Apicultores e Agricultores Familiares de Araras e Região (COAAF). Os resíduos sólidos (em sua maioria tomate e banana em estágio avançado de maturação) provenientes do processamento mínimo foram coletados para avaliação da bioconversão por larvas de *H. illucens*.

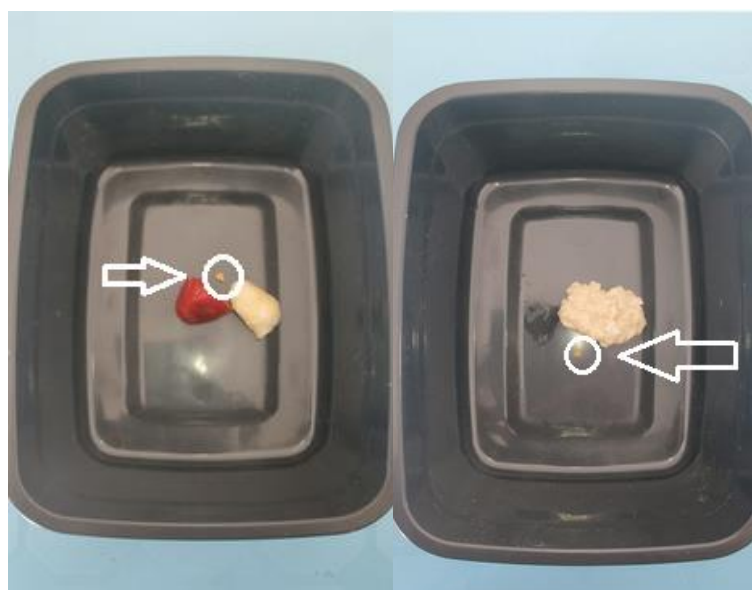
Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, com quatro blocos ao longo do tempo, sendo cada bloco composto por cinco repetições, resultando em um total de 15 repetições. A unidade experimental consistiu em um recipiente plástico de tamanho 17 x 13 x 7 cm (figura 6) que continha o resíduo a ser bioconvertido. Foram adicionados 20 mg de ovos de *H. illucens* (aproximadamente 200 ovos), para que, após a eclosão das larvas, estas se alimentassem e realizassem a bioconversão do substrato.

Figura 6. Potes plásticos (17 x 13 x 7 cm) com resíduo orgânico sendo bioconvertido por larvas de *Hermetia illucens*.



Para que as larvas eclodissem próximas dos substratos, porções de 50 g para cada parcela experimental/tratamento foram colocadas próximas aos ovos (figura 7). Os tratamentos foram mantidos em condições controladas, com 27°C de temperatura, umidade relativa de 70% e fotoperíodo de 12h:12h.

Figura 7. Ovos de *Hermetia illucens* (indicados pela seta) posicionados próximo dos substratos em pote plástico (17 x 13 x 7 cm).



Após o desenvolvimento das larvas até a fase de pupas, as pupas eram peneiradas e separadas do substrato bioconvertido, transferidas posteriormente para gaiolas *voil* (50 x 40x 40 cm) para emergência dos adultos e sua reprodução. As gaiolas foram mantidas em condições ambientais controladas, com 27°C de temperatura, umidade de 70% e fotoperíodo de 12h:12h.

A partir do quinto dia após a eclosão das larvas, de cada unidade experimental, foram selecionados ao acaso 40 larvas para o acompanhamento do tempo de desenvolvimento e do peso no estágio de pré-pupa destes indivíduos, totalizando 600 larvas acompanhadas por bloco (200 na dieta padrão, 200 no resíduo de processamento mínimo e 200 no resíduo de produção cervejeira).

As larvas selecionadas ao acaso foram colocadas em potes plásticos pretos (17 x 13 x 7 cm) e alimentadas com resíduo orgânico de cada tratamento e acompanhadas diariamente, tabulando individualmente o tempo de desenvolvimento. Como parâmetro, foram utilizados três estágios de desenvolvimento da *H. illucens*: 1º instar até pré-pupa, pré-pupa até pupa e pupa até emergência dos adultos. No estágio de pré-pupas, as larvas selecionadas ao acaso foram pesadas em balança semi-analítica e os dados tabulados para comparação do peso entre os diferentes resíduos testados.

Ao término do desenvolvimento das larvas e com a morte dos adultos, para comparação do tamanho dos adultos entre os diferentes substratos bioconvertidos, os 40 indivíduos acompanhados foram medidos com régua e os dados tabulados. Posteriormente, foram identificados o número de fêmeas e machos das moscas adultas para o cálculo da razão sexual nos diferentes tratamentos, uma vez que essa variável é determinante para a manutenção e ganho de escala de sistemas de bioconversão baseados em animais.

Para o cálculo da razão sexual foi utilizado a fórmula abaixo:

$$\text{Razão sexual} = n^{\circ} \text{ de fêmeas} / (n^{\circ} \text{ de machos} + n^{\circ} \text{ de fêmeas})$$

4.3. Eficiência de bioconversão

As proporções de matéria seca residual que foram reduzidas, convertidas em biomassa de insetos ou metabolizadas foram calculadas para cada unidade experimental usando as equações 1, 2 e 3 abaixo:

$$(1) \text{ Relação de matéria seca residual reduzida (\%)} = (W - R) / W \times 100$$

$$(2) \text{ Proporção de matéria seca residual convertida (\%)} = G / W \times 100$$

$$(3) \text{ Proporção de matéria seca residual metabolizada (\%)} = (R - G) / W \times$$

Onde W foi o peso seco total do material residual orgânico fornecido durante o experimento, R foi o peso total do resíduo após o experimento e G foi a diferença entre o peso pré-pupal e inicial da larva. O peso inicial das larvas foi estimado usando o peso fresco dos ovos de 2 dias.

A eficiência de conversão de resíduos mede a porcentagem de perda de matéria seca da dieta que foi convertida em biomassa de insetos. Este parâmetro foi calculado para cada dieta usando a equação 4 (adaptado de DIENER et al., 2009).

$$(4) \text{ Eficiência de conversão de resíduos (\%)} = G / (W - R) \times 100$$

Posteriormente, o material bioconvertido foi enviado para laboratório de análise de nutrientes para análise de macro e micronutrientes dos substratos obtidos para determinação dos seguintes parâmetros: pH, Matéria Orgânica (M.O.), P, K, Ca, Mg, Al, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

4.4. Avaliação do *frass* como fertilizante de plantas

O *frass* obtido foi avaliado quanto ao seu potencial como fertilizante, utilizando alface como planta modelo.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 5 repetições e oito tratamentos, totalizando 40 amostragens. Cada parcela foi composta por 1 vaso (3,6 L) contendo uma planta de alface. As mudas foram obtidas de viveirista com produção comercial de mudas, sendo utilizadas com 28 dias após a semeadura. O cultivar utilizado foi “Jade” (Sakata Seeds), material tipo crespa. Foram utilizados os seguintes tratamentos: 10 e 20 g de cada *frass* (dieta padrão, produção cervejeira e processamento mínimo) em vaso; 4,5 g de fertilizante formulado NPK (10-10-10) como tratamento convencional de fertilização e somente substrato sem adição de fertilizantes/*frass*. Como substrato de cultivo, foi utilizado o produto Lupatec®, que possui baixa fertilidade natural, com pouca contribuição para o desenvolvimento das plantas. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação (Figura 8), nas dependências do Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal (DBPVA-Ar), da UFSCar, *campus* Araras.

Figura 8. Plantas de alface *Lactuca sativa* var. *crispa* mantidas em casa de vegetação.



Aproximadamente 40 dias após o transplante, as plantas foram retiradas dos vasos e os seguintes parâmetros foram avaliados: peso seco, altura e diâmetro de cabeça de alface; tamanho de raiz; incidência de pragas e doenças.

4.5. Análises estatísticas

Para as análises do desempenho biológico de *H. illucens* nos diferentes compostos, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para determinação da homocedasticidade dos dados. Os dados foram submetidos ao teste de Friedman (dados sem distribuição normal) com o nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando o software R na versão 4.1.2 (R Core Team, 2021).

Para as análises da razão sexual de *H. illucens* nos diferentes compostos, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para determinação da normalidade dos dados. Os dados foram submetidos à Análise de Variância (dados com distribuição normal) com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando o software R na versão 4.1.2.

Para as análises da avaliação do *frass* como fertilizante de plantas nos diferentes compostos, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk e o teste de homogeneidade de variância para determinação da normalidade dos dados. Os dados foram submetidos à Análise de Variância (dados com distribuição normal)

e ao teste de Kruskal Wallis, ambos com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando o software R na versão 4.1.2

Foram aplicadas as fórmulas para a análise da eficiência de bioconversão, conforme item 4.3.

Para os dados de desempenho de plantas de alface, foram utilizados os mesmos testes para determinação da normalidade da distribuição dos dados e aplicação do respectivo teste após este resultado.

5. RESULTADOS

5.1. Tempo de desenvolvimento e peso da pré-pupa

Os resultados do teste de Shapiro-Wilk indicaram que os dados referentes ao tempo de desenvolvimento das três fases larvais de *H. illucens* não seguem uma distribuição normal, evidenciando valores-p inferiores ao nível de significância para todas as fases. Ao aplicar o teste de Friedman para as distintas fases de desenvolvimento, foram observadas diferenças estatisticamente significativas nas médias, abrangendo desde a fase de 1º instar até pré-pupa, entre os tratamentos.

Ao comparar os três tratamentos, notou-se que as larvas submetidas ao processamento mínimo apresentaram um tempo de desenvolvimento significativamente maior na fase de 1º instar até pré-pupa, registrando uma média de 28,92 dias. Em contraste, os tratamentos com resíduo de produção cervejeira e dieta padrão, embora estatisticamente semelhantes entre si, exibiram tempos de desenvolvimento menores quando comparados com o tratamento de processamento mínimo (tabela 1).

Tabela 1 – Teste de Friedman para as diferentes fases de desenvolvimento das larvas de *Hermetia illucens* nos diferentes tratamentos.

	Fase 1º ínstar até pré-pupa	Fase pré-pupa até pupa	Fase pupa até adultos
Dieta Padrão	15,27 b	6,8 a	13,35 a
Resíduo da produção de cerveja	18,68 b	7,95 a	16,84 a
Resíduo Processamento Mínimo	28,92 a	6,7 a	14,14 a

*médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si.

Nas fases de pré-pupa até pupa e pupa até adultos as médias não apresentaram diferenças significativas.

Para os dados de peso das pré-pupas, não foi observada distribuição normal, sendo aplicado o teste não-paramétrico de Friedman (tabela 2). As médias dos pesos das pré-pupas apresentaram diferenças significativas entre si. Quando a média do peso das pré-pupas em resíduo de produção cervejeira é comparada entre as médias do tratamento com dieta padrão e com resíduo de processamento mínimo obtidas no presente estudo, observa-se diferença significativa, tendo as larvas criadas em resíduo de produção de cerveja com menor massa corpórea (0,136g) enquanto os demais tratamentos apresentaram pesos médios acima de 0,166g (Tabela 2).

Tabela 2 – Média de peso (g) das pré-pupas de *Hermetia illucens* nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Média de Peso (g)
Dieta padrão	0,166 a*
Resíduo da produção de cerveja	0,136 b
Resíduo Processamento mínimo	0,172 a

* Shapiro-Wilk= 3,45 x 10⁻¹⁶; p-value: 2,51 x 10⁻⁶ (teste de Friedman).

*médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem.

Quanto ao peso das pré-pupas, o teste de Friedman indicou a falta de uma distribuição normal. Embora não tenham sido encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, o peso médio das pré-pupas desenvolvidas no resíduo de processamento mínimo foi comparável a estudos anteriores em substratos de frutas.

5.2. Razão sexual

Os dados da razão sexual dos adultos de *H. illucens* apresentaram distribuição normal, e a análise de variância não revelou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (tabela 3). Esses resultados contrastam com estudos anteriores que observaram variações na razão sexual em função da dieta (JUCKER et al. 2020). Os dados de razão sexual dos adultos de *H. illucens* apresentam distribuição normal. A análise de variância aplicada nas médias de razão sexual dos adultos, mostrou que não houve diferenças estatísticas sobre a razão sexual nos diferentes tratamentos (tabela 3).

Tabela 3 – Médias da razão sexual dos adultos de *Hermetia illucens* nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Razão sexual
Dieta padrão	0,491*
Resíduo da produção de cerveja	0,483
Resíduo Processamento mínimo	0,416

* Shapiro-Wilk= 0,616; p-value: 0,432 (Anova).

5.3 Eficiência de bioconversão

Os dados referentes à relação de proporção de matéria seca residual reduzida, convertida e metabolizada revelaram distribuição não normal, conforme indicado pelo teste de Shapiro-Wilk, levando à aplicação do teste não-paramétrico de Friedman (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise da eficiência de bioconversão de resíduos transformados por larvas de *Hermetia illucens*.

Tratamentos	Índices			
	Redução	Conversão	Metabolização	Eficiência de conversão
Dieta Padrão	35,2% c	2,3% c	61,8% a	8,3% b
Resíduo da produção de cerveja	44,6% b	2,9% b	52,2% b	5,1% c
Resíduo Processamento Mínimo	89,7% a	7,7% a	2,6% c	8,5% a

*médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (p<0,05).

A proporção de matéria seca residual reduzida demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. A redução foi mais expressiva nos tratamentos com processamento mínimo, atingindo 89,65%,

enquanto o tratamento que utilizava dieta padrão para alimentação das larvas apresentou uma redução menor, registrando 35,2%. O resíduo de cerveja mostrou uma redução intermediária, totalizando 44,55%.

Ao analisar a proporção de matéria seca residual convertida em biomassa, observamos diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. O grupo submetido ao resíduo de processamento mínimo apresentou a maior taxa de conversão de matéria seca, atingindo 7,64%. Em contraste, os grupos alimentados com dieta padrão e resíduo de produção cervejeira mostraram taxas de conversão menores, registrando 2,27% e 2,86%, respectivamente.

No que diz respeito à proporção de matéria seca residual metabolizada, o teste de Friedman indicou diferenças estatisticamente significativas entre as proporções analisadas. O tratamento com dieta padrão destacou-se ao metabolizar 61,79% da matéria residual, enquanto o tratamento com processamento mínimo apresentou a menor taxa de metabolização, com apenas 2,64% de matéria residual sendo metabolizada.

Os dados referentes à eficiência de bioconversão apresentaram uma distribuição não normal, conforme indicado também pelo teste de Shapiro-Wilk, levando à aplicação do teste não-paramétrico de Friedman (Tabela 4). Com isso, a eficiência de bioconversão demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. O tratamento com processamento mínimo apresentou uma maior eficiência de bioconversão (8,52%) quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 4). A dieta com resíduo de produção cervejeira mostrou ser a menos eficiente, com 5,13%.

5.4. Uso do *frass* como fertilizante para plantas de alface

Os resultados da altura das plantas de alface mostraram que as variâncias não podem ser consideradas homogêneas (p -valor = 0,002). Portanto, através da análise estatística utilizando o teste de Kruskal Wallis e o teste pos-hoc Nemenyi ($p < 0,05$), os tratamentos com dose de fertilizante convencional e tratamentos com doses de 10 e 20 g de dieta padrão mostraram maiores alturas quando comparados aos tratamentos que utilizaram resíduo de cervejaria e processamento mínimo, diferindo estatisticamente apenas dos tratamentos que utilizaram processamento mínimo. Entretanto, o tratamento com fertilizante

convencional não diferiu estaticamente dos tratamentos que utilizaram doses de dieta padrão e resíduo de cervejaria como adubo. Os tratamentos que utilizaram processamento mínimo obtiveram menores alturas de plantas de alface (tabela 5).

Tabela 5 – Altura média de plantas de alface fertilizadas com diferentes *frass*.

Tratamento	Altura (cm)
Fertilizante Convencional	15,5 a*
Dieta Padrão 10g	12,8 a
Dieta Padrão 20g	14,3 a
Resíduo da produção de cerveja 10g	9,3 ab
Resíduo da produção de cerveja 20g	11,8 ab
Resíduo Processamento Mínimo 10g	3,3 b
Resíduo Processamento Mínimo 20g	4,8 b
Controle	2,6 b

*médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Nemenyi ($p < 0,05$).

Os resultados do peso seco da cabeça de alface mostraram que as variâncias não podem ser consideradas homogêneas (p -valor = $2,997602 \times 10^{-14}$) e também não apresentam distribuição normal (p -valor = 0,0003). Portanto, através da análise estatística utilizando o teste de Kruskal Wallis e o teste pos-hoc Nemenyi ($p < 0,05$), observou-se os tratamentos diferiram estatisticamente entre si e aqueles tratados com fertilizante convencional apresentaram maior massa seca dentre todos os tratamentos, seguidos por dieta padrão com doses de 10 g e 20 g. Plantas tratadas com *frass* oriundo da produção de mosca em resíduo de processamento mínimo apresentaram menor peso entre os resultados obtidos (tabela 6).

Tabela 6 – Peso seco médio obtido após aplicação de *frass* como fertilizante.

Tratamento	Peso Seco (g)
Fertilizante Convencional	8,7 a*
Dieta Padrão 10g	3,8 ab
Dieta Padrão 20g	5,8 ab
Resíduo da produção de cerveja 10g	3,7 abc
Resíduo da produção de cerveja 20g	5,8 abc
Resíduo Processamento Mínimo 10g	0,2 bc
Resíduo Processamento Mínimo 20g	0,3 bc
Controle	0,1 c

*médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Nemenyi ($p < 0,05$).

Os resultados do tamanho de raiz de plantas de alface mostraram que as variâncias podem ser consideradas homogêneas (p -valor = 0,106) e também apresentam distribuição normal (p -valor = 0,155). Portanto, através da análise estatística utilizando o teste de Análise de Variância (ANOVA) e o teste Tukey ($p < 0,05$), os tratamentos que utilizaram dieta padrão em ambas as doses (10 g e 20 g) e resíduo de produção cervejeira também em ambas as doses (10 g e 20 g), apresentaram crescimento de raiz semelhantes ao tratamento que utilizou fertilizante convencional. Entretanto, os tratamentos que utilizaram processamento mínimo (10 e 20 gramas) diferiram estatisticamente, sendo estes com menor crescimento de raiz (tabela 7).

Tabela 7 – Comprimento de raiz médio obtido após aplicação de *frass* como fertilizante.

Tratamento	Comprimento de Raiz (cm)
Fertilizante Convencional	25,1 a*
Dieta Padrão 10g	20,3 ab
Dieta Padrão 20g	23,4 a
Resíduo da produção de cerveja 10g	24,4 a
Resíduo da produção de cerveja 20g	25,4 a
Processamento Mínimo 10g	14,0 bc
Processamento Mínimo 20g	15,4 bc
Controle	11,6 c

*médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Por fim, os resultados do diâmetro da cabeça de alface mostraram que as variâncias não podem ser consideradas homogêneas (p -valor = $7,69 \times 10^{-6}$) e

também não apresentam distribuição normal (p -valor = 0,0003). Portanto, através da análise estatística utilizando o teste de Kruskal Wallis e o teste pos-hoc Nemenyi ($p < 0,05$), os tratamentos diferiram estatisticamente entre si e os que utilizaram dose de fertilizante convencional e aplicação com 20 g do tratamento dieta padrão, obtiveram maior crescimento do diâmetro da cabeça de alface em relação aos tratamentos que utilizaram processamento mínimo como fertilizante, tanto nas doses com 10 g quanto na de 20 g (tabela 8).

Tabela 8 - Diâmetro da cabeça médio obtido após aplicação de *frass* como fertilizante.

Tratamento	Diâmetro (cm)
Fertilizante Convencional	23,5 a*
Dieta Padrão 10g	17,8 ab
Dieta Padrão 20g	20,9 a
Resíduo da produção de cerveja 10g	17,0 abc
Resíduo da produção de cerveja 20g	18,8 ab
Processamento Mínimo 10g	6,7 bc
Processamento Mínimo 20g	6,4 bc
Controle	5,02 c

*médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Nemenyi ($p < 0,05$).

Ao analisarmos o perfil mineral dos *frass* resultantes de cada tratamento com larvas de *Hermetia illucens*, observamos que o tratamento de resíduo de produção de cerveja teve a maior concentração de nitrogênio (N), quando comparada aos demais tratamentos (tabela 9). Entretanto, essa maior concentração de macro e micronutriente só é encontrada no nitrogênio. O tratamento utilizando processamento mínimo apresentou uma maior presença de potássio em sua composição, sendo até 10 vezes superior a concentração encontrada no perfil mineral da dieta padrão (tabela 9). Já a análise do perfil mineral da dieta padrão apresentou maiores concentrações de fósforo (P), cálcio (Ca), enxofre (S), boro (B), alumínio (Al), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) em sua composição (tabela 9).

Tabela 9 – Resultados das análises do perfil mineral dos *frass* resultantes de cada tratamento com larvas de *Hermetia illucens* e fertilizante convencional, em g*100g⁻¹.

Elementos	Resíduo da produção de cerveja	Dieta Padrão	Processamento Mínimo*
N	3,87	3,03	2,64
P	1,36	2,26	1,02
K	1,9	0,72	7,16
Ca	0,094	0,18	0,036
Mg	0,25	0,43	0,61
S	0,41	0,57	0,15
B	0,0031	0,005	0,0038
Al	0,0062	0,012	0,0037
Fe	0,033	0,049	0,034
Mn	0,0024	0,0063	0,0052
Cu	0,0019	0,0034	0,0019
Zn	0,0072	0,018	0,0025
Co	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Mo	<0,0001	0,0004	<0,0001

*Diferença significativa no desenvolvimento de plantas de alface cultivadas;

Ao compararmos as concentrações de macro e micronutrientes nos diferentes *frass* utilizados para adubação, é possível notar um valor elevado de potássio (K) nos *frass* oriundos da alimentação de larvas de *H. illucens* com processamento mínimo, condizente com a fonte primária de alimento (bananas), acompanhado por baixas concentrações de cálcio e zinco. Um valor elevado de ferro está presente no *frass* originado da dieta padrão, enquanto a presença deste elemento permanece idêntica entre o resíduo de produção cervejeira e o processamento mínimo (Tabela 10). O mesmo ocorre com o cobre. As concentrações de cobalto e molibdênio, assimilados pelos vegetais como componentes enzimáticos e utilizados como auxiliares ao processo de fixação de Nitrogênio (BLOOM, 2017) foram irrisórias, porém estes são os micronutrientes naturalmente menos abundantes e encontrados em menor concentração nos vegetais.

Tabela 10 - Quantidade de macro e micronutrientes em gramas (g) oferecida para cada tratamento.

Elementos	Resíduo da produção de cerveja 10g	Resíduo da produção de cerveja 20g	Dieta Padrão 10g	Dieta Padrão 20g	Processamento Mínimo 10g	Processamento Mínimo 20g	Fertilizante Convencional 4,5g
N	0,387	0,774	0,303	0,606	0,264	0,528	0,45
P	0,136	0,272	0,226	0,452	0,102	0,204	0,20
K	0,19	0,38	0,072	0,144	0,716	1,432	0,37
Ca	0,0094	0,0188	0,018	0,036	0,0036	0,0072	0,225
Mg	0,025	0,05	0,043	0,086	0,061	0,122	0,09
S	0,041	0,082	0,057	0,114	0,015	0,03	0,27
B	0,00031	0,00062	0,0005	0,001	0,00038	0,00076	**
Al	0,00062	0,00124	0,0012	0,0024	0,00037	0,00074	**
Fe	0,0033	0,0066	0,0049	0,0098	0,0034	0,0068	**
Mn	0,00024	0,00048	0,00063	0,00126	0,00052	0,00104	**
Cu	0,00019	0,00038	0,00034	0,00068	0,00019	0,00038	**
Zn	0,00072	0,00144	0,0018	0,0036	0,00025	0,0005	**
Co	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	**
Mo	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	**

**Valores não informados pelo fabricante

O fertilizante convencional apresentou valores mais elevados para todos os macronutrientes, exceto potássio quando comparado ao processamento mínimo, além de maiores concentrações de cálcio, enxofre e magnésio (Tabela 10), porém não foi possível obter os valores para os demais micronutrientes. Esse resultado foi considerado dentro do esperado, mas é possível que não foram observadas diferenças significativas no desenvolvimento dos alfaces cultivados com o fertilizante e com os *frass* originados da dieta padrão e do resíduo de produção de cerveja, permitindo assumir que as concentrações apresentadas por estes compostos seja suficiente para suprir as necessidades vegetais da cultura para o seu desenvolvimento (Figura 9, 10 e 11). Esses resultados são amparados por experimentos similares, ainda que a literatura sobre o assunto seja reduzida (DZEPE, 2015; ROSMIATI, 2017; SAWINSKA, 2024).

Observa-se, no entanto, que os exemplares cultivados em solo enriquecido com o *frass* derivado de processamento mínimo tiveram desempenho inferior, semelhante àqueles do grupo controle, cultivados em solo

empobrecido (Figuras 9, 10 e 11). Os melhores desenvolvimentos de raiz, massa seca e porção aérea dos pés de alface foram obtidos com o uso de fertilizante químico convencional, ficando evidente a formação de dois grupos: I) Fertilizante Tradicional, *frass* de Dieta Padrão, *frass* de Resíduo de Produção Cervejeira; II) *frass* de Processamento Mínimo, Controle. Os exemplares pertencentes ao grupo I tiveram desenvolvimento similar, considerado bom para os parâmetros analisados, enquanto os exemplares do grupo II apresentaram subdesenvolvimento para os mesmos indicadores.

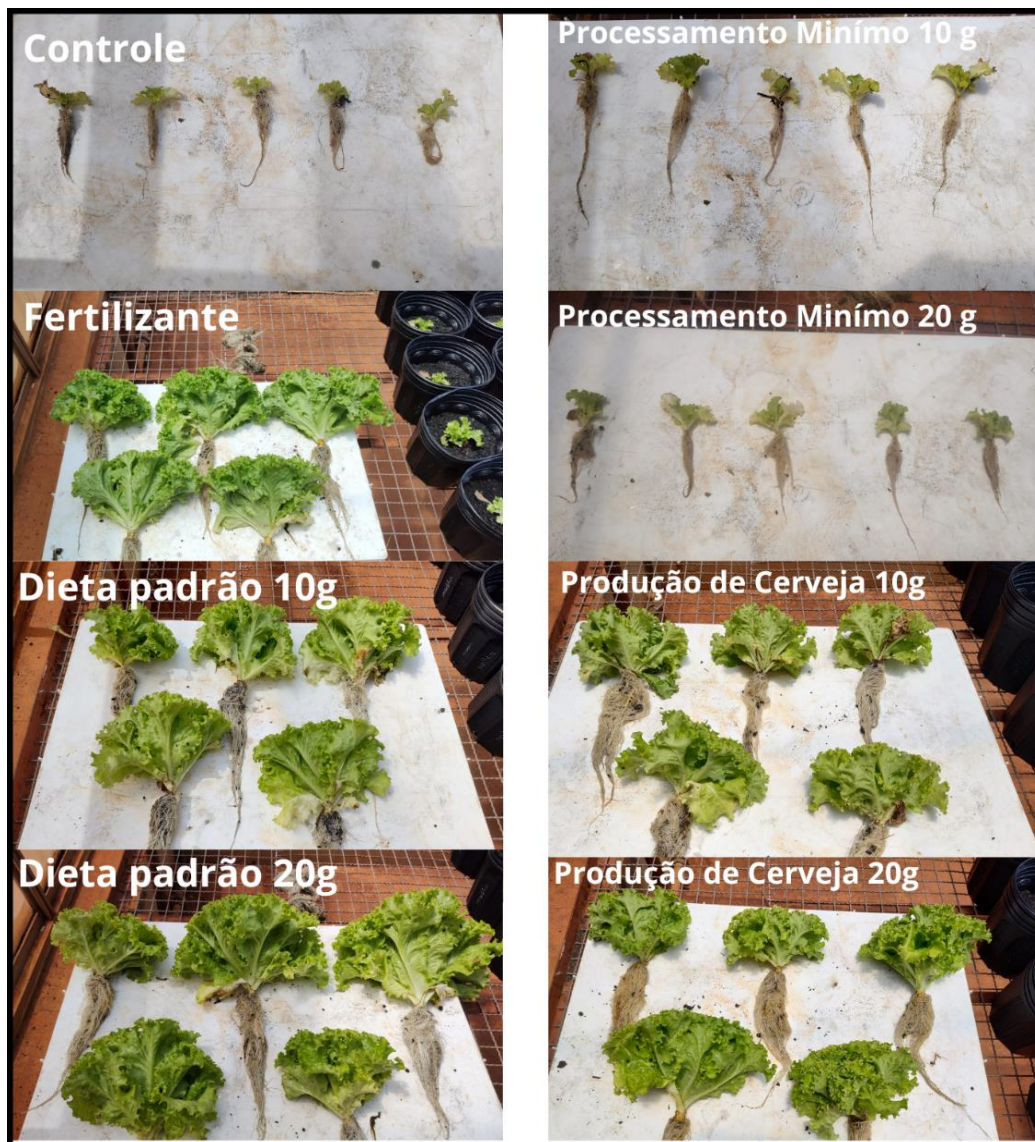
Figura 9. Plantas de *Lactuca sativa* var. *crispa* (cultivar Jade) 7 dias após a aplicação de fertilizantes e substratos.



Figura 10. Plantas de *Lactuca sativa* var. *crispa* (cultivar Jade) 30 após a aplicação de fertilizantes e substratos.



Figura 11. Perfil de raiz de plantas de *Lactuca sativa* var. *crispa* (cultivar Jade) 45 dias após a aplicação de fertilizantes e substratos.



6. DISCUSSÃO

Com relação ao ganho de biomassa por larvas de *H. illucens* na comparação dos tratamentos com diferentes substratos, o menor valor médio é representado pelas culturas alimentadas com resíduo de produção cervejeira (0,136g) e a hipótese de que estes insetos encontrem dificuldade para a ingestão e assimilação de alimentos ricos em lignina. Em contrapartida, o melhor desempenho foi apresentado pelas larvas alimentadas com banana descascada, ainda que o resultado não tenha diferido significativamente daquelas cultivadas

sob dieta padrão. Esses dados, aliados ao consumo do substrato elevado para o tratamento com processamento mínimo e a elevada taxa de conversão apresentada por essas larvas, permitem assumir grande eficiência no uso de *H. illucens* como alternativa ao tratamento de resíduos orgânicos não lignizados, provendo uma alternativa sustentável aos tratamentos convencionais e capaz de gerar um produto (larvas de *H. illucens*) aproveitável para nutrição animal, estimulando uma economia circular (LALANDER et al. 2019).

Em comparação com a literatura, os resultados do tempo de desenvolvimento médio em processamento mínimo mostram diferenças com os observados quando larvas de *H. illucens* foram mantidas em outros tipos de substratos vegetais (NGUYEN et al., 2013; JUCKER et al., 2017; TINDER et al., 2017; BARRAGAN-FONSECA et al., 2018).

Pré-pupas que se desenvolveram em resíduo de processamento mínimo apresentaram semelhança de peso das larvas criadas em substrato de frutas (maçã, pêra e laranja), onde o peso médio foi de 0,174g (JUCKER et al., 2017). O peso obtido com pré-pupas mantidas em resíduo de produção cervejeira é comparável com os estudos anteriores em substratos similares, que relataram um peso de pré-pupa de 0,08-0,18 g (CHIA et al., 2018; NYAKERI et al., 2017; MENEGUZ et al., 2018; BAVA et al., 2019; JUCKER et al., 2020).

Comparando os pesos de pré-pupa obtidos por Nyakeri et al. (2017) nos tratamentos de resíduo de comida de restaurante (0,101 g), resíduo de produção cervejeira (0,78 g) e casca de banana (0,055 g), é possível notar semelhanças nos padrões dos resultados obtidos. As larvas se alimentaram das dietas que apresentavam maior teor de lignina, como as cascas de banana e resíduos de produção de cerveja que contém cascas de malte e lúpulo, tiveram um menor ganho de peso durante sua fase larval. A casca de banana possui alto teor de lignina na sua composição, com teores de hemicelulose, celulose e lignina sendo de 41,38%, 9,90% e 8,90%, respectivamente (KABENGE et al., 2018). Já no presente trabalho, as larvas foram alimentadas com bananas sem casca, o que pode ter contribuído para o maior ganho de massa corporal pelas pré-pupas alimentadas com este tratamento. Entretanto, as que se alimentaram em resíduo de produção cervejeira tiveram o menor ganho de massa dentre os três tratamentos, o que reforça a hipótese da dificuldade de processamento de matéria vegetal rica em lignina.

Adicionalmente, deve-se ponderar também sobre o tempo de desenvolvimento das larvas da mosca soldado negro submetidas à dieta com processamento mínimo em comparação àquelas criadas em substrato contendo resíduo de cerveja ou dieta padrão. Nota-se que o primeiro grupo citado apresentou um desenvolvimento consideravelmente tardio, com prolongamento significativo do estágio larval (cerca de 29 dias). Enquanto esse atraso na maturação pode alterar a renovação do sistema de bioconversão, retardando o recrutamento de novas larvas, a manutenção dos organismos no estágio de interesse pode ser favorável, uma vez que as larvas são responsáveis pela transformação do resíduo. Esses fatores devem ser considerados dentro dos custos e benefícios da implantação deste tipo de sistema e para projeções de ganho de escala.

Seguindo a mesma lógica de aplicação comercial de sistemas de bioconversão com *H. illucens*, Hoc (2019) e Jucker (2020) indicam que a dieta oferecida às larvas, condições ambientais (temperatura, fotoperíodo, disponibilidade de alimento) e densidade populacional sejam fatores incidentes sobre a fertilidade e razão sexual das populações de *H. illucens*. Essas variáveis tornam-se, portanto, relevantes para a efetividade dos sistemas.

Entretanto, devemos ressaltar que os resultados encontrados no presente estudo diferem com o tempo de desenvolvimento mais curto relatado em outras pesquisas nos quais foram testados resíduos da indústria de cervejaria (CHIA et al., 2018; LIU et al., 2018; MENEGUZ et al., 2018), tendo as médias de tempo de desenvolvimento sem diferenças estatisticamente significativas aos demais tratamentos comparados de cada estudo. Isto é, tais estudos podem inferir que o tipo de alimentação das larvas não influenciou no tempo de desenvolvimento larval de *H. illucens*.

O presente estudo não encontrou diferenças significativas na razão sexual das moscas soldado negro em função da dieta oferecida a cada plantel, no entanto é possível notar que o menor valor (0,416) foi obtido para as populações alimentadas com as bananas descascadas, enquanto os demais tratamentos apresentaram dados de razão sexual próximas de 0,5. Essa indicação pode denotar uma leve tendência ao aumento de machos neste tratamento. Ainda que os dados coletados não apontem para uma relação causal, é recomendada atenção a este ponto em investigações futuras envolvendo a criação de *H.*

illucens, uma vez que a literatura aponta que a otimização dos sistemas que utilizam larvas de *Hermetia illucens* se dê em populações com densidade discretamente maior de fêmeas do que de machos (F>M). Ao comparar os resultados obtidos com os da literatura, a razão sexual encontrada no presente estudo diferem com a obtida no estudo de Jucker et al. (2020), onde os autores observaram que, na dieta padrão (50% de farinha trigo, 30% de alfafa e 20% de farinha de milho), os adultos de *H. illucens* apresentaram a razão sexual de 0,50, aproximadamente, enquanto entre as larvas alimentadas com resíduo de grãos de cervejaria (Brewer's spent grain) encontrou-se um maior número de fêmeas em relação ao de machos. Ademais, estudos anteriores relataram que a proporção de gêneros em adultos pode ser influenciada por vários fatores, como a qualidade física do substrato (GOBBI et al., 2013) e a acidez do substrato (MA et al., 2018).

A eficiência de redução de resíduos e bioconversão é a preocupação primária para o desenvolvimento de um sistema de bioconversão utilizando o ciclo de vida da *H. illucens*. No presente estudo, até 89,65% da matéria seca de processamento mínimo foi reduzida durante a alimentação larval, o que é relativamente maior do que os valores relatados na literatura. Por exemplo, Myers et al. (2008) observaram que as larvas poderiam reduzir mais de 50% da matéria seca (esterco). Já Liu et al. (2018) observaram que 38,7% de matéria seca do resíduo de produção de cerveja foi reduzida, enquanto que nos estudos de Nyakeri (2017), os valores encontrados para um substrato similar foram de 44,7 para redução de matéria. Entretanto, no presente estudo, os tratamentos que utilizaram resíduo de produção de cerveja e dieta padrão, apresentaram valores similares aos encontrados na literatura 44,55%. Em contrapartida, quando observamos a taxa de metabolização nos tratamentos que utilizaram processamento mínimo, notamos uma baixa capacidade de metabolização comparado aos valores encontrados na literatura, principalmente quando comparado aos compostos que utilizaram resíduo de produção cervejeira e dieta padrão (Liu et al., 2018), dado pelo baixo peso do *frass* obtido ao final do experimento e alta taxa de conversão.

Por mais que a dieta utilizando resíduo de processamento mínimo fosse composta majoritariamente de banana sem casca, a proporção de matéria seca reduzida obtida na dieta de processamento mínimo se aproximou da proporção

obtida por Nyakeri (2017) apenas quando utilizado resíduo de restaurantes como dieta na alimentação das larvas de *H. illucens*, diferente de quando o mesmo autor utilizou casca de banana na dieta, tendo uma redução de apenas 52,4%. Isso pode ser explicado pela presença de lignina na casca de banana. Já as proporções de redução em dieta utilizando resíduo de produção cervejeira, tanto no presente trabalho (44,55%), quanto no de Nyakeri (2017) com 44,7%, ambos apresentaram proporções de redução aproximadas. Entretanto, quando os dados são comparados com a proporção obtida no estudo de Liu et al. (2018), nota-se que este dado é inferior aos obtidos nos estudos comentados anteriormente, com 38,69% e com o experimento possuindo umidade relativa de 40%. A umidade relativa é um fator ambiental importante para o desenvolvimento e comportamento de insetos, incluindo a mosca soldado negro, o que pode ter influenciado nos resultados de matéria seca residual reduzida do trabalho de Liu et al. (2018).

De maneira semelhante aos resultados obtidos no presente trabalho, Kalová e Borkovcová (2013) também constataram que a melhor redução de substrato ocorreu em materiais vegetais em comparação com outras fontes de substrato. As reduções mais significativas observadas em materiais vegetais podem ser atribuídas à capacidade das larvas de *H. illucens* de secretar enzimas e abrigar microrganismos capazes de degradar plantas (Bava et al., 2019). Entretanto, as maiores reduções ocorreram em material vegetal que não possuíam lignina na sua composição. Um comparativo pode ser observado entre os tratamentos que tiveram bananas descascadas ou grãos de lúpulo como substrato no presente trabalho. Observou-se, nesse caso, uma redução de biomassa cerca de duas vezes maior (89,65% vs. 44,55% %) no substrato do tratamento com bananas, indicando uma possível preferência ou facilidade das larvas de *H. illucens* em nutrir-se deste recurso. No caso dos grãos de lúpulo, a baixa redução e também o menor crescimento das larvas alimentadas com resíduo de produção de cerveja pode ser atribuído a uma possível presença de lignina nas cascas dos grãos de malte e lúpulo presentes no processo final de produção de cerveja (MASSARDI et al., 2020), já que estudos anteriores mostraram que a lignina é pouco degradável pelo sistema de bioconversão da *H. illucens* (ZHENG et al., 2012), enquanto as larvas alimentadas com banana sem casca de processamento mínimo obtiveram uma maior redução de resíduo

e uma maior massa corpórea. Projeta-se, portanto, que o uso integrado de microrganismos digestores de lignina para auxiliar os sistemas de bioconversão por BSF pode auxiliar na degradação de substratos ricos em lignina, aumentando as taxas de redução por parte das larvas (MANURUNG et al., 2016).

Comparando com a taxa de conversão relatada por Liu et al. (2018) para resíduos de produção cervejeira, que foi de 5,13%, observa-se que o presente estudo alcançou índices inferiores (2,9%). Em relação a metabolização, quando são comparados os resultados obtidos em resíduos de produção cervejeira, no presente trabalho foram metabolizados 52,17% enquanto que no estudo de Liu et al. (2018), a taxa de metabolização foi menor, com 33,56%. Novamente, a umidade pode ser um fator limitante para um melhor processo de metabolização e conversão da dieta oferecida à larva (PALMA et al., 2018).

Já no trabalho de Bava et al. (2019), podemos ver uma taxa de eficiência de conversão muito maior nos tratamentos de resíduo de produção cervejeira, com 25% de eficiência de bioconversão.

Para a segunda etapa deste estudo, buscou-se comparar a eficiência do uso do *frass* resultante dos cultivos das larvas de *H. illucens* como fertilizante para cultura de hortaliças, tendo a alface crespa (*Lactuca sativa* var. *crispa*) como modelo. Os resultados obtidos indicam que, para todos os parâmetros avaliados, o *frass* resultante do tratamento com processamento mínimo não apresentou bom desempenho.

Ao verificarmos o perfil químico de cada *frass*, chama a atenção o valor elevado de Potássio (K) e a baixa disponibilidade de Cálcio (Ca) no *frass* derivado da alimentação de larvas de *H. illucens* com resíduos de processamento mínimo. Esse fator pode ser explicado pelo recurso utilizado, uma vez que a banana é um alimento rico em potássio.

As diferenças entre as concentrações de potássio e cálcio no tratamento com *frass* de processamento mínimo, justificadas pela riqueza de K nas bananas, permite pressupor um efeito inibitório. Cecílio Filho (2015) e Intichack (2012) apresentaram evidências de que a demasia de potássio no solo pode levar a uma inibição competitiva de magnésio e cálcio em culturas de hortaliças, enquanto Dzepe et al. (2022) identificaram, de forma similar ao observado no presente estudo para o *frass* de processamento mínimo, índices elevados de K e baixos de Mg e Ca nas fezes de larvas de *Hermetia illucens*, mas não indicou

impactos negativos no desenvolvimento de culturas de alface. Contudo, alguns destes trabalhos foram realizados em escala consideravelmente maior do que a aqui apresentada, tendo como unidade $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, o que impõe dificuldade à comparação (CECILIO FILHO, 2015; DZEPE, 2022).

Marcas escuras no limite distal das folhas de alface no cultivo com 10g do *frass* derivado de processamento mínimo podem ser sinais indicativos de uma necrose típica da deficiência de Cálcio (BLOOM, 2017), porém as mesmas não foram observadas para a dosagem de 20g do mesmo composto. Assim, uma investigação mais aprofundada sobre essas interações, com maior N amostral e análise do perfil mineral dos tecidos dos cultivares seria necessária para determinar uma possível relação de causa e efeito.

Sugere-se que presença elevada de potássio no solo possa ter sido, ao menos parcialmente, responsável pelo subdesenvolvimento dos cultivares neste tratamento. Sabe-se que em culturas agrícolas o excesso de K pode antagonizar o Ca e Mg, já pouco disponíveis no sistema em questão.

Estudando o efeito do acúmulo de potássio em cultivos agrícolas, Zhang et al (2017) e Inthichack (2012) identificaram que concentrações tão elevadas quanto 0,5g/100g deste nutriente promoviam desenvolvimento significativo de pés de alface, no entanto o *frass* resultante do processamento mínimo com bananas apresentou uma concentração quase 3 vezes superior a este limiar (1,432g/100g). No entanto, permanece incerta a causa do subdesenvolvimento, sendo recomendado que novos estudos nesta área aprofundem-se no perfil mineral dos cultivares, a fim de avaliar a absorção dos nutrientes disponíveis às plantas, e busquem avaliar os impactos fisiológicos do excesso de nutrientes e possíveis correções, como a incorporação de cálcio ao sistema.

Ainda que estudos nessa área sejam escassos, os resultados apresentados pelos *frass* de resíduo de cerveja e de dieta padrão corroboram a eficiência do uso do *frass* de *H. illucens* como alternativa a fertilizantes químicos. As diferenças observadas na literatura e o baixo desenvolvimento de alfaces cultivadas sobre o *frass* do tratamento de processamento mínimo sugerem que a dieta do estágio larval de *H. illucens* tenha impacto significativo sobre a aplicabilidade de suas fezes em culturas agrícolas.

A maior parte da literatura consultada, ao estudar a aplicabilidade do *frass* para adubação, não considera a origem do material fornecido como alimento para as larvas de *H. illucens*. Essa abordagem diferencial do presente estudo permite reconhecer como os diferentes substratos incluídos na dieta das larvas podem influenciar a destinação final do *frass* para utilização agrícola, permitindo aliar alternativas de tratamento de resíduos orgânicos na entrada do sistema à transição para uma agricultura mais sustentável, como produto final do mesmo processo.

Sugere-se que próximos estudos busquem avaliar o desempenho de *H. illucens* com relação ao consumo, conversão e assimilação de outros resíduos agroindustriais, tais como o bagaço de cana, cascas de grãos e restos de capina, bem como a possível aplicação dos resíduos da bioconversão em cultivos agrícolas, atentando ao perfil mineral das cultivares para acessar dados sobre o aproveitamento relativo dos nutrientes disponibilizados.

7. CONCLUSÕES

- O desenvolvimento de larvas em resíduo de processamento mínimo aumentou a duração do período larval de *H. illucens*;
- O peso de pré-pupas de *H. illucens* é menor quando as larvas se alimentam do resíduo de produção de cerveja;
- Os diferentes substratos de desenvolvimento não afetam a razão sexual de *H. illucens*;
- Larvas de *H. illucens* apresentaram melhores índices de bioconversão do resíduo de processamento mínimo;
- *Frass* oriundos do desenvolvimento de larvas de *H. illucens* em resíduo de produção de cerveja e em dieta padrão são viáveis para uso como fertilizantes de plantas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMRUL, N. F. *et al.* A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Sustainability**, 14, 4565. 15p. 2022. DOI: 10.3390/su14084565.

BAVA, L. *et al.* Rearing of *Hermetia Illucens* on Different Organic By-Products: Influence on Growth, Waste Reduction, and Environmental Impact. **Animals**, [S.I.], v. 9, n. 6, p.289, 2019. DOI: 10.3390/ani9060289.

BRADLEY, S.W; SHEPPARD, D.C. Housefly Oviposition Inhibition by Larvae of *Hermetia illucens*, the Black Soldier Fly. **Journal of Chemical Ecology**, v. 10, p. 853-859, 1984. DOI: 10.1007/BF00987968.

BRUNO, D; *et al.* An In-depth Description of Head Morphology and Mouthparts in Larvae of the Black Soldier Fly *Hermetia illucens*. **Arthropod Structure & Development**, v. 58, 10p. 2020. DOI: 10.1016/j.asd.2020.100969

CECILIO FILHO, A. B. *et al.* Potassium fertilization of lettuce in potassium-rich Eutrudox soil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 4, o. 194-199. 2015. DOI: 10.5897/AJAR2014.8791

CHIA, S. Y; *et al.* Effects of Waste Stream Combinations from Brewing Industry on Performance of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **PeerJ**, v. 6, 17p. 2018. DOI: 10.7717/peerj.5885

CHIEW, Y. L. *et al.* Environmental Impact of Recycling Digested Food Waste as a Fertilizer in Agriculture - A Case Study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 95, p. 1-14, 2015. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de safra brasileira – safra 2022/2023. Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>. Acesso em: 13 jun, 2023.

CZEKALA, W. *et al.* Food Waste Management Using the *Hermetia illucens* Insect. **Journal of Ecological Engineering**, 21(4), p. 212-216, 2020. DOI: 10.12911/22998993/119977.

DA SILVA, G. D. P; HESSELBERG, T. A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions. **Neotropical Entomology**, 49(2), p.151-162. 2019. DOI: 10.1007/s13744-019-00719-z.

DIENER, S; ZURBRÜGG, C; TOCKNER K. Bioaccumulation of Heavy Metals in the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* and Effects. **Journal of Insects as Food and Feed**, 1(4), 261-270, 2015. DOI: 10.3920/JIFF2015.0030.

DIENER, S; ZURBRÜGG, C; TOCKNER K. Conversion of Organic Material by Black Soldier Fly Larvae: Establishing Optimal Feeding Rates. **Waste Management and Research**, v. 27, p. 603-610. 2009. DOI: 10.1177/0734242X09103838.

DORTMANS, B. M. A.; DIENER, S; VERSTAPPEN, B. M; ZURBRÜGG, C. **Black Soldier Fly Biowaste Processing: a step-by-step guide**. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Dübendorf, Switzerland. 100p. 2017.

DZEPE, D. *et al.* Application of Black Soldier Fly frass, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) as sustainable organic fertilizer for lettuce, *Lactuca sativa* production. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 12, p. 1632-1648. 2022. DOI: 10.4236/ojapps.2022.1210111

BARRAGAN-FONSECA, K. B; GORT, G; DICKE, M; VAN LOON, J. J. Effects of Dietary Protein and Carbohydrate on Life History Traits and Body Protein and Fat Contents of the Black Soldier Fly *Hermetia illucens*. **Physiological Entomology**, v. 44, p. 148-159. 2019. DOI: 10.1111/phen.12285.

GOBBI, P; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A; ROJO, S. The Effects of Larval Diet on Adult Life-History Traits of the Black-Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **European Journal of Entomology**, v. 110, n. 3, p. 461-468, 2013. DOI: 10.14411/eje.2013.061.

GOLD, M; *et al.* Decomposition of Biowaste Macronutrients, Microbes, and Chemicals in Black Soldier Fly Larval Treatment: A Review. **Waste Management**, v. 82, p. 302-318, 2018. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.10.022.

GRUDZIŃSK, M; PIETRUSZKA, A; SAWICKI, W. Anaerobic Digestion in Sanitization of Pig Slurry and Biomass in Agricultural Biogas Plant. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 4, p. 524-526, 2015. DOI: 10.15414/jmbfs.2015.4.6.524-526.

HARNDEN L. M; TOMBERLIN J. K. Effects of Temperature and Diet on Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), Development. **Forensic Science International**, v. 266, p. 109 - 116, 2016. DOI: 10.1016/j.forsciint.2016.05.007.

HOC, B. *et al.* Optimization of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. **Plos One**, v. 14, n. 4, 13p. 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0216160

HOORNWEG, D; BHADA-TATA, P. What a Waste: a global review of solid waste management. *In*: WORLD BANK. **Urban Development Series - knowledge papers**, n. 15. Washington DC, EUA, 116p. 2012.

INÁCIO, C. T; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1 ed. 156p. 2009. ISBN: 85-85864-31-6. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/663578>. Acesso em 03 de mar, 2024.

INTHICHACK, P; NISHIMURA, Y; FUKUMOTO, Y. Effect of Potassium sources and rates on plant growth, mineral absorption, and the incidence of tip burn in cabbage, celery and lettuce. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 53, p. 135-142. 2012. DOI: 10.1007/s13580-012-0126-z

JUCKER, C. *et al.* Brewery's Waste Streams as a Valuable Substrate for Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **Journal of Entomological and Agricultural Research**, v. 51, n. 8876, p.87-94. 2020. DOI: 10.4081/year.2019.8876.

JUCKER, C; *et al.* Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae.

Environmental Entomology, v. 46, p. 1415-1423. 2017. DOI: 10.1093/ee/nvx154

JULITA, U; FITRI L. L; PUTRA R. E; PERMANA A. D. Mating Success and Reproductive Behavior of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* L. (Diptera, Stratiomyidae). **Journal of Tropical Entomology**, v. 17, 117-127, 2020.

KABENGE, I; *et al.* Characterization of Banana Peels Wastes as Potential Slow Pyrolysis Feedstock. **Journal of Sustainable Development**, [S.I.], v. 11, n. 2, p. 14, 2018. DOI: 10.5539/jsd.v11n2p14.

KALOVÁ, M; BORKOVCOVÁ, M. Voracious larvae *Hermetia illucens* and treatment of selected types of biodegradable waste. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, [S.I.], v. 61, p. 77-83, 2013. DOI: 10.11118/actaun201361010077.

LALANDER, C; DIENER, D; 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**, v. 208, 211–219, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.017.

LALANDER, C. H; FIDJELAND, J; DIENER, S. High Waste-to-Biomass Conversion and Efficient *Salmonella* spp. Reduction Using Black Soldier Fly for Waste Recycling. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 261–271, 2015. DOI: 10.1007/s13593-014-0235-4.

LIM, S. L; LEE, L. H; WU, T. Y. Sustainability of Using Composting and Vermicomposting Technologies for Organic Solid Waste Biotransformation: Recent Overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262-278, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.083.

LIU, Z; MINOR, M; MOREL, P. C. H; RODRIGUEZ A. J. N. Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. **Environmental Entomology**, v. 47, p. 1609–1617, 2018. DOI: 10.1093/ee/nvy141

MA, J; *et al.* Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). **Environmental Entomology**, v. 47, n. 1, p. 159-165, 2018. DOI: 10.1093/ee/nvx186.

MANURUNG, R; SUPRIATNA, A; PUTRA, R. E. Bioconversion of Rice straw waste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.): Optimal feed rate for biomass production. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 4, i. 4, p. 1036-1041. 2016.

MASSARDI, M. M; MASSINI, R. M. M; SILVA, D. de J. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v.6, n.1, p.83–91. 2020.

MATHIAS, T. R. S; DE MELLO, P. P. M, SERVULO, E. F. C. "Caracterização de Resíduos Cervejeiros ". Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, Santa Catarina, de 19 a 22 de Outubro, 2014.

MENEGUZ, M; *et al.* Effect of Rearing Substrate on Growth Performance, Waste Reduction Efficiency and Chemical Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p.5776-5784, 2018. DOI: 10.1002/jsfa.9127.

NGOC, U. N; SCHNITZER, H. Sustainable Solutions for Solid Waste Management in Southeast Asian Countries. **Waste Management**, v. 29, p. 1982-1995, 2009. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.08.031.

NGUYEN, T. T. X; TOMBERLIN, J. K; VANLAERHOVEN, S. Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. **Environmental Entomology**, v. 44, n. 2, p. 406-410, 2015. DOI: 10.1093/ee/nvv002.

NGUYEN, T. T. X; TOMBERLIN, J. K; VANLAERHOVEN, S. Influence of Resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, p. 898-906, 2013. DOI: 10.1603/ME12260.

NNOLIM, N. E; OKOH, A. I; NWODO, U. U. Proteolytic Bacteria Isolated from Agro-Waste Dumpsites Produced Keratinolytic Enzymes. **Biotechnology Reports**, 27, Article No. e00483, 2020. DOI: 10.1016/j.btre.2020.e00483.

NYAKERI, E. M; OGOLA, H. J. O; AYIEKO, M. A; AMIMO, F. A Valorisation of Organic Waste Material: Growth Performance of Wild Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) reared on Different Organic Wastes. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 3, n.3, p.193-202. 2017. DOI: 10.3920/JIFF2017.0004.

PALMA, L; *et al.* Cultivation of black soldier fly larvae on almond byproducts: impacts of aeration and moisture on larvae growth and composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 15, p. 5893-5900. 2018. DOI: 10.1002/jsfa.9252.

PARK, H. H. **Black Soldier Fly Larvae Manual**. University of Massachusetts - Student Showcase. Paper 14. Amherst, Massachusetts, USA. 14p. 2016.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>, 2021.

ROSMIATI, M; NURJANAH, K; SUANTIKA, G; PUTRA, R. Application of compost produced by bioconversion of Coffe Husk by Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) as solid fertilizer to Lettuce (*Lactuca sativa* ver. *crispa*) - impact on growth. **Proceeding of International Conference on Green Technology**, v. 8, n. 1, p. 38-44. 2017. e-ISSN: 2580-7099.

SAWINSKA, Z. *et al.* *Hermetia illucens* frass fertilizaion - a novel approach for enhancing lettuce resilience and photosynthetic efficiency under drought stress conditions. **Applied Sciences**, v. 14, 2386, 15p. DOI: 10.3390/app14062386.

SCALA, A; *et al.* Rearing Substrate Impacts Growth and Macronutrient Composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Produced

at an Industrial Scale. **Nature - scientific reports**, v. 10, 19448, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-76571-8.

SHEPPARD, D. C. House Fly and Lesser Fly Control Utilizing Black Soldier Fly in Manure Management Systems for Caged Laying Hens. **Environmental Entomology**, 12, p. 1439-1442, 1983.

SILVEIRA NETO, S; NAKANO, O; BARBIN, D; VILLA NOVA, N. D. **Manual de Ecologia dos Insetos**. São Paulo: Ceres, 1 ed. 419p. 1976.

ST-HILAIRE, S; *et al.* Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, p. 59-67. 2007.

BLOOM, A. J. Nutrição Mineral. *In*: TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p.119-141.

TIMOFIECSYK, F. R; PAWLOWSKY, U. **Minimização de Resíduos na Indústria de Alimentos: Revisão**. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v. 18, n. 2, p. 221-236. 2000. DOI: 10.5380/cep.v18i2.1212.

TINDER, A. C; *et al.* Bioconversion of Sorghum and Cowpea by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.) Larvae for Alternative Protein Production. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 3, n. 2, p.121-130. 2017. DOI: 10.3920/JIFF2016.0048.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Food Waste Index Report 2021. **ONU**. Nairobi, 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>. Acesso em 13 jun, 2023.

UNITED NATIONS (ONU). General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. **Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. 35p. 2015. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em 13 jun, 2023.

ÜSTÜNER, T; HASBENLI, A; ROZKOSNY, R. The First Record of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae) from the Near East. **Studia dipterologica**, v. 10, p. 181-185, 2003.

VERAS, L. R. V; POVINELLI, J. A Vermicompostagem do Lodo de Lagoas de Tratamento de Efluentes Industriais Consorciada com Composto de Lixo Urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 218-224, 2004. DOI: 10.1590/S1413-41522004000300008.

WILLIAMS, I. D; SCHNEIDER, F; SYVERSEN, F. The "Food Waste Challenge" Can Be Solved. **Waste Management**, v. 41, p. 1-2. 2015. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.03.034

ZHAND, G. *et al.* Plant growth and photosynthesis response to Low Potassium conditions in three lettuce (*Lactuca sativa*) types. **The Horticulture Journal**, v. 86, n. 2, p. 229-237. 2017. DOI: 10.2503/hortj.OKD-008.