

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**DESENVOLVIMENTO LARVAL DE *HERMETIA ILLUCENS* ALIMENTADA COM
SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS**

HERALD MARTINHO DOS SANTOS LINO

Rio Verde, GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

L758 Lino, Herald Martinho dos Santos
DESENVOLVIMENTO LARVAL DE HERMETIA ILLUCENS
ALIMENTADA COM SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS
/ Herald Martinho dos Santos Lino. Rio Verde 2026.
33f. il.
Orientadora: Prof^a. Dra. Mariana Buranelo Egea.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220034 -
Bacharelado em Engenharia de Alimentos - Integral - Rio Verde
(Campus Rio Verde).
I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO
PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS
NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☒ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Herald Martinho dos Santos Lino

Matrícula:

2020102200340074

Título do trabalho:

DESENVOLVIMENTO LARVAL DE HERMETIA ILLUCENS ALIMENTADA COM SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

--

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 21 / 08 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, GO

Local

20 / 08 / 2026

Data

 Assinado eletronicamente por
Herald M. dos S. Lino
Data: 20/08/2026 01:34
445548330950115181846301030364071

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

 *Mariana E* **SIGNATÁRIO**
Assinado eletronicamente por
Mariana Buranelo Egea

Ciente e de acordo:



Assinado com Assinatura Eletrônica (Lei 14.063/2020 | Regulamento 910/2014/EC)

Hash SHA256 do original: 3860bf091a722f18ab19a42d3288703c420bec6b391bb13be6c9910449155a19

Link de validação: <https://valida.ae/cc21253344749450f88dd7c2f5b35c5a92ff1a8e45839858c>





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano – Campus Rio Verde

ANEXO V – ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 18 dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e seis, às 15 horas, reuniu-se na sala do Bloco de Engenharia de Alimentos, a Banca Examinadora composta por: Profa. Dra. Mariana Buranelo Egea (orientador), Profa. Dra. Tainara Leal de Sousa (membro externo) e Profa. Ma. Adrielle Borges de Almeida (membro externo), para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado “DESENVOLVIMENTO LARVAL DE HERMETIA ILLUCENS ALIMENTADA COM SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS”, de Herald Martinho dos Santos Lino, estudante do curso de Engenharia de Alimentos do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob a Matrícula nº 2020102200340074. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC; em seguida, houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após essa etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa, foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo Mediador de TC.

Rio Verde, 18 de maio de 2026.

Profa. Dra. Mariana Buranelo Egea
Membro 1 da Banca Examinadora
(assinada eletronicamente)



Assinado com Assinatura Eletrônica (Lei 14.063/2020 | Regulamento 910/2014/EC)
Hash SHA256 do original: e905d8e9aa9837b3268a5049dd124fb2bae21a74a70e0b04d116c0a18e737595
Link de validação: <https://valida.ae/6a238085c17a52a041573c73e861b9baca7c9783d4df70118>

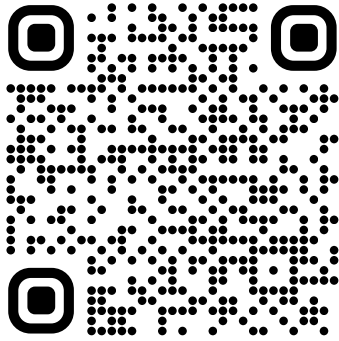


Profa. Dra. Tainara Leal de Sousa
Membro 2 da Banca Examinadora
(assinada eletronicamente)

Profa. Ma. Adrielle Borges de Almeida
Membro 3 da Banca Examinadora
(assinada eletronicamente)



Relatório de auditoria e validação de assinaturas eletrônicas



URL pública de verificação de integridade e autenticidade
<https://valida.ae/6a238085c17a52a041573c73e861b9baca7c9783d4df70118>

Assinaturas concluídas: 3 de 3

Assinaturas eletrônicas realizadas em conformidade com a Lei nº 14.063/2020 e Regulamento (UE) nº 910/2014 (eIDAS)



Como auditar e validar este documento

Você está visualizando uma via para impressão do documento, ela possui os dados de auditoria, porém ela pode ser alterada. Para conferir a integridade do documento e das assinaturas, **acesse a URL pública de validação ou escaneie o QRCode ao lado.**

e905d8e9aa9837b3268a5049dd1
24fb2bae21a74a70e0b04d116c0
a18e737595 Hash SHA256 do original

Assinaturas presentes no documento



Mariana E

Assinado eletronicamente por
Mariana Buranelo Egea
Data: 18/08/2026 16:45
#57ca0ce69b3d11f1818d42010a2b6021

SIGNATÁRIO



Assinado eletronicamente por
Tainara Leal Sousa
Data: 18/08/2026 18:04
#57cf7eb49b3d11f1818d42010a2b6021

SIGNATÁRIO



Adrielle Almeida

Assinado eletronicamente por
Adrielle Borges De Almeida
Data: 18/08/2026 17:33
#57d46f819b3d11f1818d42010a2b6021

SIGNATÁRIO

Trilha de auditoria

- 18/08/2026 16:45 **Mariana Buranelo Egea** (mariana.egea@ifgoiano.edu.br, CPF 073.793.496-43) criou o documento
Hash SHA256 do arquivo: e905d8e9aa9837b3268a5049dd124fb2bae21a74a70e0b04d116c0a18e737595
- 18/08/2026 16:45 **Mariana Buranelo Egea** (mariana.egea@ifgoiano.edu.br, CPF 073.793.496-43) visualizou o documento
Endereço de IP: 200.137.236.31 Porta: 40688
- 18/08/2026 16:45 **Mariana Buranelo Egea** (mariana.egea@ifgoiano.edu.br, CPF 073.793.496-43) assinou o documento
Endereço de IP: 200.137.236.31 Porta: 40688 SO: Windows 10.0
Navegador: Edge/151.0.0.0 Arquitetura: x64 Render engine: Gecko
Tipo de geolocalização: IP Precisão: 5km+ Latitude e longitude: -16.6391, -49.2622
- 18/08/2026 17:32 **Adrielle Borges De Almeida** (drlica.engal@gmail.com, CPF 029.003.041-21) visualizou o documento
Endereço de IP: 45.175.90.61 Porta: 17082
- 18/08/2026 17:33 **Adrielle Borges De Almeida** (drlica.engal@gmail.com, CPF 029.003.041-21) assinou o documento
Endereço de IP: 45.175.90.61 Porta: 17082 SO: iOS 18_7
Navegador: Safari/18.7.5 Arquitetura: ARM64 Render engine: Gecko
Tipo de geolocalização: IP Precisão: 5km+ Latitude e longitude: -17.7176, -51.0386
- 18/08/2026 18:03 **Tainara Leal Sousa** (thaynaraleal2@hotmail.com, CPF 046.412.001-22) visualizou o documento
Endereço de IP: 200.137.236.52 Porta: 28163
- 18/08/2026 18:04 **Tainara Leal Sousa** (thaynaraleal2@hotmail.com, CPF 046.412.001-22) assinou o documento
Endereço de IP: 200.137.236.52 Porta: 28163 SO: Windows 10.0
Navegador: Chrome/151.0.0.0 Arquitetura: x64 Render engine: Gecko
Tipo de geolocalização: IP Precisão: 5km+ Latitude e longitude: -16.6391, -49.2622

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CÂMPUS RIO VERDE
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**DESENVOLVIMENTO LARVAL DE *HERMETIA ILLUCENS* ALIMENTADA COM
SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS**

HERALD MARTINHO DOS SANTOS LINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Prof (a). Dra. Mariana Buranelo Egea
Coorientador(a): Ms. Samuel Viana Ferreira

Rio Verde, GO

2026

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu pai, Maurício Martinho, à minha mãe, Lucilene Regina, ao meu irmão, Maurício Junior, à minha irmã, Lize Nickelly, e à minha noiva, Larissa Filgueira, pelo amor, incentivo e apoio incondicional durante toda a minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as conquistas alcançadas até aqui. Durante esta caminhada, enfrentei momentos difíceis em que pensei em desistir, mas encontrei forças para continuar e concluir esta importante etapa da minha vida.

Aos meus pais, Maurício Martinho e Lucilene Regina, agradeço por todo o amor, dedicação, ensinamentos e apoio, inclusive financeiro, que tornaram possível a realização deste sonho. Ao meu irmão, Maurício Junior, por sempre ter sido minha inspiração e por me motivar a buscar uma formação acadêmica e ingressar em uma faculdade. Vocês foram fundamentais para esta conquista.

À minha noiva, Larissa Filgueira, agradeço por estar ao meu lado desde o início da graduação. Mesmo diante da distância, seu amor, incentivo e compreensão me deram forças para continuar. Sou imensamente grato por ter você em minha vida.

Aos meus amigos, agradeço pela amizade e pelo apoio durante essa trajetória. Em especial, ao meu amigo Tarses Barbaresco, com quem compartilhei a casa durante os anos de faculdade e construí uma amizade que certamente levarei para toda a vida.

Aos colegas de trabalho e do laboratório, agradeço pela convivência, colaboração e pelos conhecimentos compartilhados. Foi uma honra aprender e trabalhar com vocês.

À minha orientadora, Prof.^a Dra. Mariana Buranelo Egea, agradeço pela confiança, orientação e oportunidades proporcionadas. Em especial, pela oportunidade da minha primeira bolsa de Iniciação Científica, fundamental para minha permanência na faculdade e continuidade dos estudos. Seus ensinamentos foram essenciais para minha formação.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, agradeço pela qualidade do ensino e pelas oportunidades proporcionadas durante minha graduação.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte desta trajetória e contribuíram para a realização deste sonho. Levarei comigo os ensinamentos, as experiências e as amizades construídas ao longo desses anos.

RESUMO

LINO, Herald Martinho dos Santos. **Desenvolvimento larval de *Hermetia illucens* alimentada com subprodutos agroindustriais** (Curso Engenharia de Alimentos). Instituto Federal Goiano, Engenharia de Alimentos – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2026.

A mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) tem se destacado como uma alternativa sustentável para a valorização de subprodutos agroindustriais, devido à sua capacidade de converter matéria orgânica em biomassa rica em proteínas e lipídios. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de diferentes subprodutos agroindustriais como substratos para o desenvolvimento larval de *H. illucens*, considerando sua composição físico-química, o crescimento, a sobrevivência e a produção de biomassa. Foram avaliados três tratamentos: cevada (Ce), farelo de arroz (Fa) e a mistura de cevada e farelo de arroz (Ce+Fa). Os substratos foram caracterizados quanto aos teores de umidade, cinzas, lipídios e proteínas. O desempenho larval foi avaliado por meio do tempo de desenvolvimento, morfometria, sobrevivência, ganho de massa e produção de biomassa. Os resultados demonstraram que a composição dos substratos influenciou o desenvolvimento larval. As larvas cultivadas nos tratamentos Ce+Fa e Fa atingiram o estágio de pré-pupa aos 15 dias, enquanto aquelas alimentadas com Ce necessitaram de 21 dias. Na avaliação morfométrica, Ce+Fa apresentou comprimento, largura e espessura de $19,22 \pm 0,78$ mm, $5,28 \pm 0,27$ mm e $2,90 \pm 0,30$ mm, respectivamente, enquanto Fa apresentou $18,78 \pm 1,26$ mm, $4,90 \pm 0,28$ mm e $2,65 \pm 0,16$ mm, não diferindo estatisticamente entre si. As larvas cultivadas em Ce apresentaram menores dimensões, com $12,15 \pm 0,69$ mm de comprimento, $3,17 \pm 0,25$ mm de largura e $2,34 \pm 0,15$ mm de espessura ($p < 0,05$). A sobrevivência larval não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Quanto à produção de biomassa, foram obtidos 47,90 g em Ce+Fa, 27,70 g em Fa e 15,10 g em Ce, evidenciando maior produção no tratamento Ce+Fa. De modo geral, a combinação de cevada e farelo de arroz mostrou-se o substrato mais promissor para a produção de biomassa de *H. illucens* nas condições avaliadas, demonstrando potencial para a valorização de subprodutos agroindustriais e contribuindo para alternativas mais sustentáveis no contexto da bioeconomia circular.

Palavras-chave: *Hermetia illucens*; bioconversão; subprodutos agroindustriais; biomassa larval; bioeconomia circular.

ABSTRACT

LINO, Herald Martinho dos Santos. **Desenvolvimento larval de *Hermetia illucens* alimentada com subprodutos agroindustriais** (Curso Engenharia de Alimentos). Instituto Federal Goiano, Engenharia de Alimentos – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2026.

The black soldier fly (*Hermetia illucens*) has emerged as a sustainable alternative for the valorization of agro-industrial by-products due to its ability to convert organic matter into biomass rich in proteins and lipids. This study aimed to evaluate the potential of different agro-industrial by-products as substrates for the larval development of *H. illucens*, considering their physicochemical composition, larval growth, survival, and biomass production. Three treatments were evaluated: barley (Ce), rice bran (Fa), and a mixture of barley and rice bran (Ce+Fa). The substrates were characterized for moisture, ash, lipid, and protein contents. Larval performance was evaluated based on development time, morphometry, survival, mass gain, and biomass production. The results demonstrated that substrate composition influenced larval development. Larvae reared on Ce+Fa and Fa reached the prepupal stage after 15 days, whereas those fed Ce required 21 days. In the morphometric evaluation, Ce+Fa resulted in a length, width, and thickness of 19.22 ± 0.78 mm, 5.28 ± 0.27 mm, and 2.90 ± 0.30 mm, respectively, while Fa resulted in 18.78 ± 1.26 mm, 4.90 ± 0.28 mm, and 2.65 ± 0.16 mm, with no significant difference between these treatments. Larvae reared on Ce showed smaller dimensions, with a length of 12.15 ± 0.69 mm, width of 3.17 ± 0.25 mm, and thickness of 2.34 ± 0.15 mm ($p < 0.05$). Larval survival did not differ significantly among treatments. Biomass production was 47.90 g for Ce+Fa, 27.70 g for Fa, and 15.10 g for Ce, indicating higher biomass production in the Ce+Fa treatment. Overall, the combination of barley and rice bran was the most promising substrate for *H. illucens* biomass production under the evaluated conditions, demonstrating potential for the valorization of agro-industrial by-products and contributing to more sustainable alternatives within the context of the circular bioeconomy.

Keywords: *Hermetia illucens*; bioconversion; agro-industrial by-products; larval biomass; circular bioeconomy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo de vida da <i>Hermetia illucens</i>	16
Figura 2 – Ilustração eixos ortogonais.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição proximal dos substratos de cevada (Ce), farelo de arroz (Fa) e da mistura (Ce+Fa) utilizados no crescimento e desenvolvimento de larvas de BSF.....	24
Tabela 2 - Medição dos eixos ortogonais das larvas.....	26
Tabela 3 - Parâmetros de sobrevivência larval da BSF desenvolvida nos substratos de cevada (Ce), cevada e farelo de arroz (Ce+Fa) e farelo de arroz (Fa).....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

BSF – Black Soldier Fly

b.s. – Base seca

b.u. – Base úmida

Ce – Cevada

Ce+Fa – Cevada + Farelo de arroz

Fa – Farelo de arroz

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivo Geral	12
1.2	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Mosca Soldado Negro (<i>Hermetia Illucens</i>).....	12
2.2	Ciclo de vida.....	14
2.3	Condições ambientes	16
2.4	Cultivo em diferentes substratos.....	17
3	METODOLOGIA.....	18
3.1	Obtenção de substratos	18
3.2	Produção de larvas.....	19
3.3	Composição proximal dos substratos	20
3.4	Avaliação do crescimento e desenvolvimento larval	21
3.5	Percentual de sobrevivência larval	21
3.6	Crescimento morfológico	22
3.7	Ganho de massa	22
3.8	Análise estatística	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	Composição proximal dos substratos	23
4.2	Crescimento e desenvolvimento das larvas de BSF	25
5.	CONCLUSÃO.....	28
6	REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

As perdas e o desperdício de alimentos constituem um desafio relevante para a sustentabilidade dos sistemas agroalimentares. Estima-se que mais de 13% dos alimentos sejam perdidos globalmente entre as etapas de pós-colheita e o varejo. Além disso, em 2022, aproximadamente 1,05 bilhão de toneladas de alimentos foram desperdiçadas nos domicílios, serviços de alimentação e varejo, correspondendo a cerca de 19% dos alimentos disponíveis aos consumidores (FAO, 2024; UNEP, 2024). As perdas e o desperdício de alimentos também apresentam importantes impactos ambientais, sendo responsáveis por aproximadamente 8 a 10% das emissões globais de gases de efeito estufa (FAO, 2024).

Diante dos impactos ambientais associados à produção de fontes convencionais de proteína destinadas à alimentação animal, como o farelo de soja e a farinha de peixe, tem aumentado o interesse por fontes alternativas capazes de contribuir para sistemas produtivos mais sustentáveis (Van Huis, 2013). Nesse contexto, a mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) destaca-se por sua capacidade de utilizar diferentes materiais orgânicos durante a fase larval, convertendo os nutrientes presentes nesses substratos em biomassa. Essa característica favorece sua utilização na valorização de resíduos e subprodutos agroindustriais e sua inserção em estratégias de bioeconomia circular (Amrul et al., 2022).

A eficácia biotecnológica da *H. illucens* é fundamentada em adaptações fisiológicas únicas, que permitem a redução da massa de resíduos orgânicos em até 80% em intervalos significativamente curtos (Amrul et al., 2022). Uma característica biológica distintiva é que o adulto da espécie possui peças bucais atrofiadas e se alimenta apenas de substâncias líquidas, dependendo das reservas acumuladas no estágio larval (Caruso et al., 2014; Oliveira et al., 2015). Na fase larval, o inseto apresenta uma plasticidade nutricional notável, sendo capaz de converter substratos variados, como restos de alimentos e subprodutos agroindustriais, em uma biomassa densa em nutrientes (Ferreira, 2021).

A biomassa de *H. illucens* apresenta potencial de aproveitamento devido à presença de proteínas e lipídios em sua composição, podendo apresentar aplicações em diferentes setores (Makkar et al., 2014). Entretanto, a composição da biomassa larval pode variar em função de fatores como a dieta e as condições de criação, reforçando a importância da escolha adequada do substrato utilizado no desenvolvimento das larvas. A composição e a qualidade nutricional do substrato constituem fatores importantes para o desenvolvimento de *H. illucens*, podendo influenciar parâmetros como crescimento, tempo de desenvolvimento e produção de biomassa (Tschirner; Simon, 2015). Substratos com diferentes características nutricionais podem resultar

em respostas distintas no desempenho larval, demonstrando a importância da escolha do material utilizado na alimentação das larvas.

Diante do exposto, torna-se relevante compreender como diferentes subprodutos agroindustriais utilizados como substratos podem influenciar o desenvolvimento das larvas de *H. illucens*. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento larval de *H. illucens* alimentada com diferentes subprodutos agroindustriais, considerando parâmetros de crescimento, sobrevivência e produção de biomassa.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de utilização de subprodutos agroindustriais como substratos para a criação de larvas de *H. illucens*, analisando a composição proximal dos substratos e seus efeitos sobre o crescimento, a sobrevivência e a produção de biomassa larval.

1.2 Objetivos específicos

Caracterizar a composição proximal dos subprodutos agroindustriais utilizados como substratos para o desenvolvimento das larvas de *Hermetia illucens*.

Avaliar o efeito dos diferentes substratos sobre o crescimento, a sobrevivência, o ganho de biomassa e o desenvolvimento das larvas.

Identificar o melhor substrato para a produção de biomassa de *Hermetia illucens* com potencial de aplicação na valorização de subprodutos agroindustriais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mosca Soldado Negro (*Hermetia Illucens*)

A mosca-soldado-negra (*H. illucens*) é uma espécie de inseto pertencente à ordem Diptera e à família Stratiomyidae, originária das regiões tropical, subtropical e temperada das Américas, que já se encontra disseminada em diversos países ao redor do mundo. Passa por metamorfose completa ovo, larva, pupa e adulto e possui dois pares de asas: um par membranoso e funcional e outro transformado em halteres, que auxiliam no equilíbrio durante o voo (Caruso et al., 2014).

Por ser um inseto holometábolo, a *H. illucens* passa por diferentes fases de desenvolvimento, nas quais larvas e adultos apresentam morfologias e hábitos de vida bastante distintos. As larvas são saprófagas e fotofóbicas, ou seja, alimentam-se de matéria orgânica em decomposição, como restos de alimentos e resíduos vegetais, e evitam a luz, preferindo ambientes escuros e úmidos para seu desenvolvimento (Caruso et al., 2014).

As larvas da mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) são polifágicas, ou seja, alimentam-se de uma ampla variedade de matéria orgânica. Essa capacidade está relacionada à presença de peças bucais robustas e à elevada atividade enzimática do sistema digestivo, que favorece a degradação eficiente de resíduos orgânicos (Kim et al., 2011).

As larvas da mosca-soldado-negra destacam-se pela elevada eficiência na conversão de diferentes tipos de resíduos orgânicos em biomassa com alto valor nutricional, caracterizada por teores expressivos de proteína e lipídios. Essa espécie apresenta ampla plasticidade alimentar, sendo capaz de se desenvolver em substratos variados, como resíduos agroindustriais, restos alimentares e esterco animal, sem representar riscos sanitários, uma vez que não atua como vetor de patógenos (Raman et al., 2022).

A disponibilidade de proteína nos substratos utilizados na alimentação exerce influência direta sobre o desenvolvimento das larvas da mosca-soldado-negra, favorecendo seu crescimento adequado e possibilitando a progressão normal ao longo de todo o ciclo de vida (Gold et al., 2020).

As larvas apresentam elevado consumo de resíduos orgânicos durante a fase larval, acumulando reservas energéticas essenciais para as etapas subsequentes do desenvolvimento. A ingestão de alimento é interrompida com o início da pupação e permanece ausente na fase adulta, período em que o inseto passa a depender exclusivamente das reservas formadas anteriormente (Amrul et al., 2022).

Antes de completar sua metamorfose, a larva em estágio final, denominada pré-pupa, abandona voluntariamente o substrato alimentar. Esse comportamento instintivo a leva a procurar ativamente um local mais seco e abrigado, condições essenciais para a fase seguinte. A transformação para a forma adulta, conhecida como pupação, ocorre no interior do próprio exoesqueleto larval, que se endurece, formando um casulo protetor. Após um período de desenvolvimento que dura aproximadamente duas semanas neste estágio de pupa, o inseto adulto finalmente emerge (Gutiérrez et al., 2011).

Os lipídios acumulados nas pré-pupas da mosca-soldado-negra originam-se, majoritariamente, do conteúdo lipídico disponível no substrato de criação, podendo também ser

sintetizados a partir de outros nutrientes, especialmente carboidratos, por meio de processos metabólicos endógenos (Spranghers et al., 2017).

As pré-pupas da mosca-soldado-negra apresentam cerca de 44% de matéria seca e possuem uma composição predominante de proteína, em torno de 42%, além de aproximadamente 35% de lipídios. Estudos que analisaram a composição e o valor nutricional desse inseto indicam que suas larvas podem servir como uma fonte alimentar relevante para diversas espécies animais, especialmente devido ao seu perfil nutricional equilibrado e de alta qualidade (Sheppard et al., 2002).

A qualidade do alimento fornecido às larvas da mosca-soldado-negra, especialmente a proporção de proteínas e carboidratos presentes no substrato, exerce forte influência sobre o seu desenvolvimento. Variações nesses componentes podem alterar o ganho de peso, o tamanho corporal das pré-pupas e a composição nutricional final da biomassa produzida, evidenciando a importância do substrato na eficiência do crescimento larval (Fu *et al.*, 2022).

Os adultos de *Hermetia illucens* apresentam comprimento entre 13 e 20 mm, corpo alongado e um único par de asas funcionais, que ficam sobrepostas quando em repouso, enquanto o segundo par é reduzido a halteres, possuem duas antenas longas e três pares de pernas, com o tarso de coloração esbranquiçada ou amarelada. Em geral, os machos são menores que as fêmeas e podem ser diferenciados por detalhes no último segmento abdominal: as fêmeas possuem um ovipositor retrátil, e os machos, um edeago e ganchos que auxiliam na cópula (Tomberlin et al., 2002).

As moscas em seu estágio adulto não necessitam de alimentação ativa, pois sobrevivem principalmente das reservas energéticas acumuladas durante a fase larval (Newton et al., 2005). Em alguns casos, podem suplementar essas reservas com néctar ou líquidos açucarados disponíveis no ambiente. Diferentemente do período larval, em que as larvas preferem locais úmidos, ricos em matéria orgânica e protegidos da luz, os adultos — sobretudo os machos — procuram áreas ensolaradas e com vegetação, onde realizam atividades de acasalamento. Nesta fase, sua função biológica principal é a reprodução, possuindo um tempo de vida reduzido (Caruso et al., 2014).

2.2 Ciclo de vida

O ciclo de vida da *H. illucens* é relativamente curto. Pouco tempo após a emergência do estágio pupal, os adultos atingem a maturidade sexual e iniciam o processo reprodutivo. O

acasalamento ocorre em voo, quando o macho intercepta a fêmea e ambos descem acoplados para a cópula. Em seguida, a fêmea realiza a oviposição em locais secos e protegidos, geralmente próximos a fendas ou bordas adjacentes à matéria orgânica em decomposição, depositando centenas de ovos. Esses ovos apresentam coloração branco-creme e medem aproximadamente 1 mm de comprimento (Diclaro II; Kaufman, 2009).

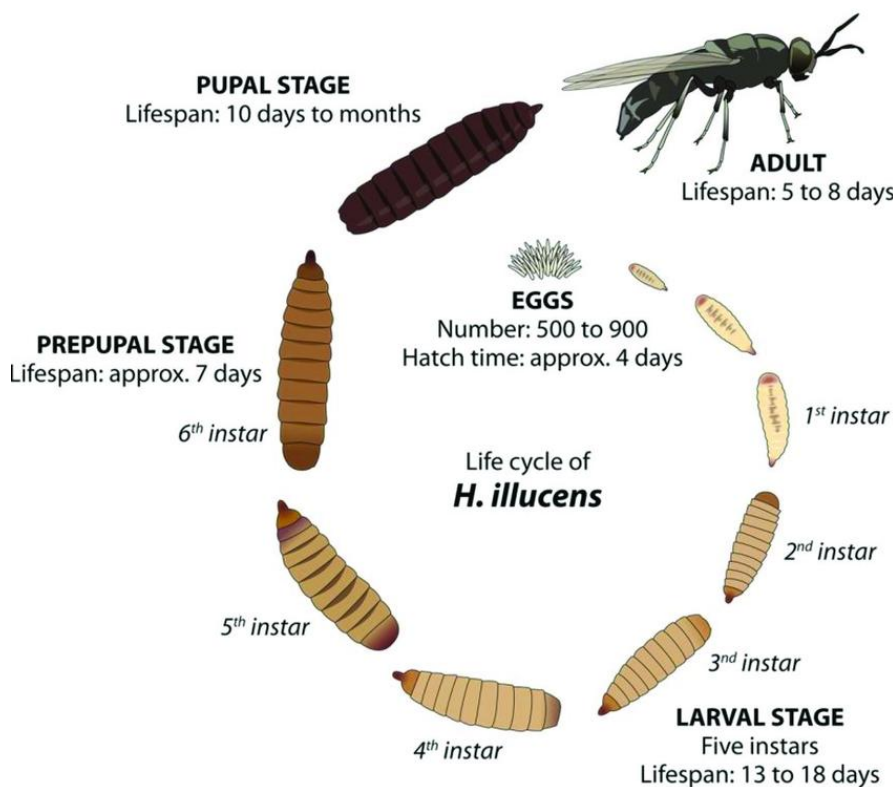


Figura 1 - Ciclo de vida da *Hermetia illucens*

Fonte: De Smet et al., (2018).

Em condições naturais, as fêmeas da mosca-soldado-negra realizam a oviposição em locais secos e protegidos, geralmente em fendas ou pequenas aberturas localizadas acima ou ao redor de matéria orgânica em decomposição. Esse comportamento também é observado em sistemas de criação controlados, nos quais as fêmeas demonstram preferência por depositar os ovos em ranhuras ou pequenas aberturas artificiais posicionadas próximas a substratos atrativos para o desenvolvimento larval (Sheppard *et al.*, 2002).

No estágio adulto, a mosca não possui ferrão nem estruturas bucais ou sistema digestório funcional, o que a impede de se alimentar de resíduos orgânicos ou de picar, não representando, portanto, risco direto à saúde humana (Park, 2016).

Indivíduos adultos saudáveis da mosca-soldado-negra apresentam comprimento corporal em torno de 2,2 cm. Observa-se dimorfismo sexual na coloração do abdômen, sendo este mais avermelhado nas fêmeas e com tonalidade bronzeada nos machos. As pernas são predominantemente negras, com as patas anteriores exibindo coloração amarelo-clara. As antenas são alongadas, retas e de coloração preta, projetando-se anteriormente a partir da cabeça e caracterizando-se pela ausência de arista, estrutura comum em outros dípteros (Hawkinson, 2005).

2.3 Condições ambientes

A mosca-soldado-negra apresenta elevada sensibilidade às condições ambientais, o que torna essencial o acompanhamento rigoroso dos parâmetros de criação para maximizar o rendimento produtivo. Por se tratar de uma espécie originária de regiões equatoriais e adaptada a climas quentes, a duração de sua vida está diretamente relacionada à temperatura do ambiente, fator determinante para seu desenvolvimento e sobrevivência (Park, 2016).

Um estudo experimental conduzido por Tomberlin (2009) avaliou a influência da temperatura no desenvolvimento da mosca-soldado-negra, demonstrando que 27 °C representa uma condição térmica próxima do ideal para a espécie. Nessa temperatura, tanto machos quanto fêmeas apresentaram maior longevidade nas fases larval, pré-pupa, pupa e adulta, além de maiores taxas de sobrevivência até a fase adulta quando comparadas a temperaturas mais elevadas. Em contraste, o aumento térmico foi associado à redução do tamanho corporal e da expectativa de vida dos adultos, resultado atribuído ao aumento das taxas metabólicas.

O autor também observou que temperaturas entre 30 e 36 °C comprometem significativamente o desenvolvimento da espécie, reduzindo a eficiência biológica ao longo do ciclo de vida. Embora o desenvolvimento larval a 27 °C seja mais lento, os adultos formados nessa condição apresentaram maior peso e maior longevidade em relação aos criados a 30 °C. Além disso, como os adultos não se alimentam, o aporte nutricional durante a fase larval e o controle ambiental é determinante para o sucesso reprodutivo e a aptidão dos indivíduos (Tomberlin et al., 2009).

Um estudo conduzido por Bekker (2021) investigou a influência do teor de umidade do substrato na alimentação das larvas de mosca-soldado-negra, avaliando níveis que variaram entre 45% e 85%. Os resultados indicaram que, em função da elevada taxa de crescimento e do curto período de desenvolvimento larval, a eficiência líquida de crescimento foi superior nos

substratos com 45% de umidade quando comparados àqueles com maior teor hídrico. De maneira geral, o metabolismo larval mostrou-se pouco sensível às variações diretas de umidade; entretanto, o desempenho das larvas foi indiretamente influenciado pelas mudanças nos processos microbianos do substrato, reforçando que níveis próximos a 45% favorecem maior eficiência no desenvolvimento.

Segundo Barragán-Fonseca et al. (2018), a disponibilidade de nutrientes exerce influência direta sobre a taxa de sobrevivência das larvas, especialmente em função da densidade de indivíduos no sistema de criação. Além disso, parâmetros como duração do desenvolvimento, peso individual e rendimento larval, com base na matéria seca, variam conforme a concentração nutricional do substrato, a densidade de criação e a interação entre esses fatores. Dessa forma, a análise de diferentes substratos utilizados na alimentação das larvas torna-se necessária para garantir um desenvolvimento adequado da fase pupal, refletindo diretamente na eficiência do ciclo biológico da espécie.

2.4 Cultivo em diferentes substratos

A literatura aponta que a composição do substrato utilizado na alimentação das larvas de mosca-soldado-negra exerce influência direta sobre o rendimento produtivo e o desempenho biológico. Nesse contexto, Tschirner (2015) demonstrou que substratos com perfil nutricional mais equilibrado favorecem a produção de biomassa e a qualidade nutricional das larvas, destacando a importância da dieta no aproveitamento zootécnico da espécie e no seu potencial de uso como alternativa à farinha de peixe na nutrição animal.

No mesmo estudo, o autor observou que substratos formulados à base de farelo de milho ou misturas com composição balanceada apresentaram resultados superiores em relação à produção total de larvas, ao peso individual e à eficiência no consumo de substrato por quilograma de biomassa produzida. Em contrapartida, dietas predominantemente proteicas ou fibrosas resultaram em desempenho inferior para esses parâmetros, evidenciando que a escolha do substrato é determinante para a eficiência do sistema de criação (Tschirner, 2015).

Hosseindoust et al. (2023) avaliaram o efeito de três tipos de substratos, subprodutos de tofu, resíduos alimentares e materiais vegetais na produção da mosca-soldado-negra. Os resultados indicaram que os subprodutos de tofu proporcionaram melhor desempenho de crescimento, maiores teores de proteína e lipídios, além de maior eficiência de conversão alimentar e perfil favorável de ácidos graxos essenciais para a nutrição animal. Em

contrapartida, os substratos vegetais apresentaram desempenho produtivo inferior quando comparados aos resíduos alimentares, embora tenham contribuído positivamente para a composição lipídica. Apesar das vantagens nutricionais, os subprodutos de tofu resultaram na menor taxa de sobrevivência das larvas, possivelmente em razão do elevado teor proteico do substrato, o qual pode intensificar a liberação de compostos nitrogenados, como a amônia, afetando negativamente a viabilidade das BSF.

Meneguz et al. (2018) investigaram a produção da mosca-soldado-negra utilizando quatro tipos de substratos: mistura de vegetais e frutas, frutas isoladas, subproduto da indústria cervejeira e resíduo da indústria vinícola. Os autores observaram que larvas alimentadas com mistura de vegetais e frutas e com subproduto de cervejaria atingiram o estágio de pré-pupa em menor tempo quando comparadas àquelas alimentadas exclusivamente com frutas ou com resíduos vinícolas. Além disso, esses substratos resultaram em maiores teores de proteína na biomassa larval.

O índice de redução de resíduos variou conforme o tipo de substrato, sendo mais elevado no subproduto de cervejaria. Quanto ao perfil lipídico, as larvas cultivadas nesse substrato apresentaram menor proporção de ácidos graxos saturados e maior concentração de ácidos graxos poli-insaturados, evidenciando o potencial desse resíduo para otimizar tanto a eficiência produtiva quanto a qualidade nutricional das larvas (Meneguz et al., 2018).

Um estudo conduzido por Laganaro et al. (2021) avaliou a influência da qualidade do substrato sobre o metabolismo e o crescimento das larvas de mosca-soldado-negra, utilizando misturas de um substrato de baixa qualidade (lodo desgaseificado) e um substrato de alta qualidade (ração para frangos). Os autores observaram que o aumento da proporção do substrato de maior qualidade resultou em crescimento mais rápido e maior tamanho larval, enquanto substratos com maior fração de material de baixa qualidade elevaram os custos metabólicos, incluindo o metabolismo de manutenção e o gasto respiratório. Apesar de taxas semelhantes de assimilação alimentar, a eficiência líquida de crescimento diminuiu à medida que aumentava a proporção do substrato de menor qualidade, indicando que a qualidade do alimento influencia diretamente a conversão da energia assimilada em biomassa larval e, consequentemente, o desempenho produtivo dos sistemas de criação de mosca-soldado-negra.

3 METODOLOGIA

3.1 Obtenção de substratos

Para o desenvolvimento experimental, foram utilizados como substratos a cevada residual oriunda da produção cervejeira e o farelo de arroz, ambos selecionados para a condução dos ensaios de desenvolvimento larval de *Hermetia illucens*.

A cevada proveniente do processo cervejeiro foi recebida com elevado teor de umidade devido à presença de líquido residual. Assim, realizou-se a remoção do excesso de umidade por meio de drenagem e secagem, de forma a obter um material adequado para as análises proximais e para sua utilização como substrato experimental.

O farelo de arroz teve sua umidade ajustada por meio da adição controlada de água, com o objetivo de proporcionar condições físicas adequadas ao desenvolvimento das larvas de *Hermetia illucens*.

As unidades experimentais foram mantidas em ambiente com temperatura controlada de 27 °C e fotoperíodo de aproximadamente 10 horas de luz por dia, garantindo condições padronizadas para o desenvolvimento larval durante todo o período experimental.

3.2 Produção de larvas

Foram recebidos aproximadamente 20 g de ovos de BSF adquiridos comercialmente, destinados à condução de um ensaio experimental com diferentes substratos de alimentação.

Para os ensaios de desenvolvimento larval, foram avaliados três tratamentos: (i) farelo de arroz, ajustado na proporção 1:1 (farelo de arroz:água, m/m); (ii) mistura de farelo de arroz e cevada, na proporção de 40% de cada substrato e 20% de água; e (iii) cevada.

Para todos os tratamentos, a altura do substrato foi mantida em aproximadamente 5 cm, visando favorecer condições adequadas de oxigenação, conforme recomendado para sistemas de criação de larvas de *H. illucens* (Joly; Nikiema, 2019). Dessa forma, foram estabelecidas três bandejas experimentais, contendo, respectivamente, 5 kg de farelo de arroz (Fa), 4 kg da mistura de farelo de arroz e cevada (Ce+Fa) e 3 kg de cevada (Ce), correspondendo às proporções de 0,009, 0,011 e 0,015 g de larvas/kg de substrato, respectivamente. Em cada bandeja foram inoculados 0,045 g de larvas. Adicionalmente, para cada tratamento, foram preparados cinco recipientes de menor volume, com o objetivo de reproduzir, em escala reduzida, as condições adotadas nas bandejas e proporcionar maior controle experimental. Assim, essas unidades continham, respectivamente, 500 g de Fa, 400 g de Ce+Fa e 300 g de Ce, sendo inoculadas com 0,0045 g de larvas, mantendo-se as mesmas proporções larva/substrato adotadas nas respectivas bandejas.

A determinação dessa massa baseou-se em contagem manual de larvas com auxílio de lupa, realizada em triplicata, considerando amostras de 250 indivíduos, as quais apresentaram massa média de 0,0045 g. Esse procedimento permitiu estimar a relação entre a massa e o número de indivíduos, viabilizando a padronização da densidade larval entre as unidades experimentais.

Uma inoculação adicional com as larvas remanescentes foi distribuída em recipientes (bacias), contendo 12 kg de substrato para 1,39 g de larvas, correspondendo a 0,116 g de larvas/kg de substrato. Como a massa disponível não permitiu manter a proporção previamente estabelecida nas demais unidades experimentais, essas unidades foram conduzidas separadamente, com o objetivo de produzir maior quantidade de biomassa larval sob os diferentes tratamentos.

3.3 Composição proximal dos substratos

Para determinação do teor de água, as larvas foram submetidas a secagem em estufa com circulação de ar forçado a 105 ± 1 °C, durante 24 horas, em três repetições, conforme estabelecido pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

A quantificação do resíduo mineral fixo foi realizada em mufla a 550 °C, utilizando-se as mesmas amostras previamente secas para a determinação do teor de água. O método seguiu os protocolos descritos pela AOAC (2005), sendo os resultados expressos como percentual de cinzas em relação à massa seca da amostra (Equação 1).

$$\text{Cinzas} = (\text{cinzas (g)})/(\text{amostra úmida (g)}) \times 100 \quad (1)$$

O teor de lipídios foi determinado por extração utilizando o aparelho Soxhlet, conforme a metodologia da AOAC (2005). A extração foi realizada por aproximadamente 8 horas, em ciclo contínuo com uso do solvente hexano. Ao final, o solvente foi rotoevaporado e o extrato foi levado à estufa para a remoção de resíduos voláteis. O teor de lipídico foi quantificado por diferença de massa utilizando a Equação 2.

$$\text{Lipídios} = M/(P) \times 100 \quad (2)$$

Em que: M é a massa de lipídios (g) e P é a massa total da amostra (g).

O teor de proteínas ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) será determinado pelo método micro Kjeldhal (nº 99120, AOAC, 2000). Na digestão, serão usados 0,6 g da amostra sólida, adicionado de 2,5 gramas da mistura catalítica (100 g de K_2SO_4 , 10 g de CuSO_4 e 0,8 g de selênio metálico em pó) e 7 mL de ácido sulfúrico. A digestão a quente será realizada a 400°C até destruição completa da matéria orgânica e obtenção de uma solução com coloração verde e translúcida. Após o resfriamento até temperatura ambiente, serão adicionados 10 mL de água destilada em cada tubo e os mesmos foram levemente agitados até atingirem coloração azul clara. Na destilação, serão adicionados 20 mL de solução de NaOH 40% ao destilador e acoplado para recolhimento de 125 mL do destilado, um Erlenmeyer com 20 mL de ácido bórico com indicador misto, e realizada a titulação com HCl 0,1 N padronizado, com o teor obtido pela equação (4)

$$\text{Proteínas} = [(\text{mL}(\text{HCl}) \times F \times N \times 0,014 \times f \times 100)] / P \quad (4)$$

Em que: mL(HCl) corresponde ao volume de ácido clorídrico gasto na titulação (mL); F é o fator de correção da solução de HCl; N é a normalidade da solução de HCl; 0,014 corresponde ao miliequivalente-grama do nitrogênio; f é o fator de conversão do nitrogênio em proteína; e P corresponde à massa da amostra utilizada na análise (g).

Os resultados da composição proximal foram inicialmente determinados em base úmida (b.u.) e posteriormente convertidos para base seca (b.s.), utilizando-se o teor de água determinado para cada amostra permitindo comparações mais precisas entre diferentes tratamentos e com resultados reportados na literatura.

3.4 Avaliação do crescimento e desenvolvimento larval

O crescimento e o desenvolvimento das larvas de BSF foram avaliados ao longo do período experimental por meio do acompanhamento da sobrevivência, das características morfológicas e do ganho de biomassa sob os diferentes substratos.

As avaliações foram realizadas por meio de coletas sequenciais ao longo do período experimental, contemplando os seguintes parâmetros:

3.5 Percentual de sobrevivência larval

Determinado com base na relação entre o número de larvas desenvolvidas e a quantidade inoculada nas unidades experimentais, realizado manualmente por meio da contagem dessas unidades.

3.6 Crescimento morfológico

Avaliado por meio da mensuração dos eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura) das larvas, utilizando paquímetro digital, com o objetivo de acompanhar a variação dimensional ao longo do desenvolvimento, em 10 unidades por repetição dos tratamentos, conforme a Figura 2.

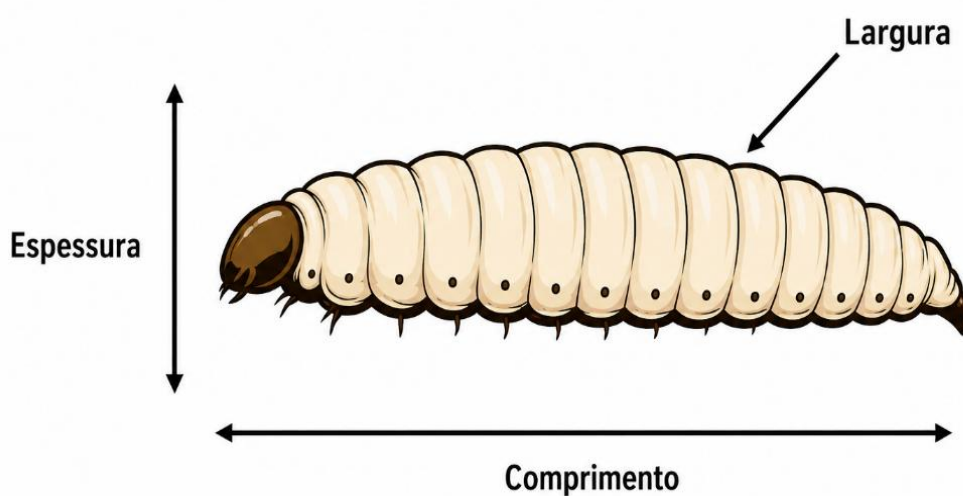


Figura 2. Ilustração eixos ortogonais

Fonte: Elaboração própria (2026).

3.7 Ganho de massa

O ganho de massa foi determinado a partir da relação entre a massa inicial de larvas inoculada em cada unidade experimental e a massa larval obtida ao final do período de desenvolvimento.

3.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando observada diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição proximal dos substratos

A composição proximal dos substratos utilizados é apresentada na Tabela 1. Foram observadas diferenças entre a cevada (Ce), o farelo de arroz (Fa) e a mistura de cevada e farelo de arroz (Ce+Fa), permitindo comparar as características físico-químicas dos materiais utilizados no desenvolvimento larval.

Tabela 1. Composição proximal dos substratos de cevada (Ce), farelo de arroz (Fa) e da mistura (Ce+Fa) utilizados no crescimento e desenvolvimento de larvas de BSF.

Composição proximal	Substratos (g/100g)		
	Cevada	Fa	Ce + Fa
Teor de Água	54,41±1,33 ^c	64,90±0,83 ^b	80,79±0,87 ^a
Cinzas*	2,27±0,24 ^c	14,18±0,08 ^a	7,16±0,59 ^b
Lipídios*	35,45±2,44 ^b	42,06±0,74 ^a	41,87±1,87 ^a
Proteína*	12,69±1,08 ^c	15,78±1,57 ^b	22,62±1,60 ^a

Resultados expressos como média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

*resultados expressos em base seca para comparação.

A composição proximal dos substratos utilizados para o desenvolvimento de *H. illucens* apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$), no entanto para o valor lipídios entre Fa e Ce+Fa não houve diferença significativa, evidenciando que cada material possui características nutricionais próprias, capazes de influenciar a disponibilidade de nutrientes para as larvas.

O teor de água diferiu estatisticamente entre todos os tratamentos, sendo observado o maior valor na mistura Ce+Fa ($80,79 \pm 0,87$ g/100 g), seguida pelo farelo de arroz ($64,90 \pm 0,83$ g/100 g) e pela cevada ($54,41 \pm 1,33$ g/100 g). Ressalta-se que o teor de água do farelo de arroz corresponde ao substrato previamente hidratado para utilização nos experimentos, não

representando a composição do farelo *in natura*. A elevada umidade observada na mistura resulta da associação entre a água naturalmente presente na cevada residual e aquela adicionada ao farelo de arroz durante seu preparo. A disponibilidade de água é considerada um dos principais fatores para o desenvolvimento de larvas de *H. illucens*, influenciando a atividade microbiana do substrato, a degradação da matéria orgânica e a eficiência de conversão alimentar (Bekker et al., 2021). Segundo esses autores, condições inadequadas de umidade podem reduzir o desempenho metabólico das larvas, mesmo quando o substrato apresenta elevado valor nutricional.

Em relação ao teor de cinzas, o farelo de arroz apresentou o maior valor ($14,18 \pm 0,08$ g/100 g), diferindo significativamente da mistura Ce+Fa ($7,16 \pm 0,59$ g/100 g) e da cevada ($2,27 \pm 0,24$ g/100 g). Esses resultados demonstram maior concentração de minerais no farelo de arroz, característica atribuída à composição desse subproduto, formado principalmente pelo pericarpo, camada de aleurona e gérmen do grão, estruturas naturalmente ricas em fósforo, potássio, magnésio e outros minerais (Juliano, 1985; Saunders, 1990). A mistura apresentou valores intermediários, indicando que a incorporação da cevada promoveu redução da concentração mineral em relação ao farelo isolado, sem, contudo, atingir os baixos valores observados para a cevada.

Os teores de lipídios, expressos em base seca, também diferiram entre os substratos onde a cevada apresentou o menor teor ($35,45 \pm 2,44$ g/100 g), enquanto o farelo de arroz ($42,06 \pm 0,74$ g/100 g) e a mistura Ce+Fa ($41,87 \pm 1,87$ g/100 g) não diferiram estatisticamente entre si, apresentando concentrações significativamente superiores. O elevado teor lipídico do farelo de arroz é amplamente descrito na literatura e está associado à presença do gérmen e da camada de aleurona, regiões responsáveis pelo armazenamento de óleos no grão (Orthoefer, 2005). A manutenção desse elevado teor na mistura demonstra que a inclusão do farelo foi suficiente para aumentar a disponibilidade energética do substrato, característica importante para o desenvolvimento larval. Segundo Makkar et al. (2014), os lipídios constituem uma das principais fontes de energia para *H. illucens*, sendo fundamentais para o crescimento, acúmulo de reservas corporais e posterior desenvolvimento até a fase adulta.

Quanto ao teor de proteína, observou-se comportamento semelhante ao encontrado para os lipídios. A mistura Ce+Fa apresentou o maior valor ($22,62 \pm 1,60$ g/100 g), diferindo significativamente da cevada ($12,69 \pm 1,08$ g/100 g) e do farelo de arroz ($15,78 \pm 1,57$ g/100 g). Embora o farelo de arroz apresente naturalmente maior concentração proteica que a cevada, a combinação dos dois substratos resultou em incremento adicional desse nutriente, sugerindo

efeito complementar entre suas composições químicas. Tschirner e Simon (2015) demonstraram que a combinação de diferentes substratos pode modificar significativamente a composição nutricional disponível às larvas, refletindo diretamente sobre o crescimento, rendimento de biomassa e composição química final dos insetos. Resultados semelhantes foram observados por Hosseindoust et al. (2023), que verificaram melhor desempenho produtivo das larvas alimentadas com substratos de maior qualidade nutricional, principalmente aqueles com maior disponibilidade de proteínas e lipídios.

De maneira geral, os resultados evidenciam que os três substratos apresentam perfis nutricionais distintos. A cevada caracterizou-se pelo menor teor de minerais, proteínas e lipídios, enquanto o farelo de arroz destacou-se pelo elevado conteúdo de cinzas. Entretanto, a mistura de cevada e farelo de arroz reuniu características favoráveis de ambos os ingredientes, apresentando elevada disponibilidade hídrica, altos teores de lipídios e o maior teor proteico entre os tratamentos avaliados. Essa combinação pode representar uma alternativa nutricionalmente mais equilibrada para a criação de *H. illucens*, uma vez que a composição do substrato exerce influência direta sobre o crescimento larval, a eficiência de bioconversão e a composição química da biomassa produzida (Barragán-Fonseca et al., 2017; Tschirner; Simon, 2015; Laganaro et al., 2021).

4.2 Crescimento e desenvolvimento das larvas de BSF

O crescimento e o desenvolvimento das larvas de *H. illucens* variaram em função do substrato utilizado. As larvas cultivadas em farelo de arroz (Fa) e na mistura de cevada e farelo de arroz (Ce+Fa) apresentaram desenvolvimento mais rápido, atingindo o estágio de pré-pupa aos 15 dias de cultivo. Em contrapartida, as larvas alimentadas exclusivamente com cevada (Ce) apresentaram desenvolvimento mais lento, sendo necessário prolongar o período de criação até 21 dias após a inoculação para que atingissem o mesmo estágio de desenvolvimento.

Após atingirem o estágio larval desejado (estágio 6, Figura 1), foram realizadas as mensurações dos eixos ortogonais, considerando comprimento, largura e espessura, com o objetivo de avaliar o desenvolvimento morfológico das larvas em função dos diferentes substratos, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Medição dos eixos ortogonais das larvas de *Hermetia illucens* cultivadas em diferentes substratos.

Substratos	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Cevada	12,15±0,69 ^b	3,17±0,25 ^b	2,34±0,15 ^b
Ce+Fa	19,22±0,78 ^a	5,28±0,27 ^a	2,90±0,30 ^a
Farelo	18,78±1,26 ^a	4,90±0,28 ^a	2,65±0,16 ^a

Resultados expressos como média ± desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que o tipo de substrato influenciou significativamente o desenvolvimento morfológico das larvas de *H. illucens*. A mistura Ce+Fa apresentou as maiores médias numéricas de comprimento ($19,22 \pm 0,78$ mm), largura ($5,28 \pm 0,27$ mm) e espessura ($2,90 \pm 0,30$ mm). Entretanto, esses valores não diferiram estatisticamente daqueles obtidos para o Fa, que apresentou $18,78 \pm 1,26$ mm de comprimento, $4,90 \pm 0,28$ mm de largura e $2,65 \pm 0,16$ mm de espessura. Portanto, apesar das médias numericamente superiores da mistura Ce+Fa, os resultados indicam desempenho morfológico semelhante entre Fa e Ce+Fa.

Em contrapartida, as larvas cultivadas exclusivamente em Ce apresentaram as menores dimensões corporais, com $12,15 \pm 0,69$ mm de comprimento, $3,17 \pm 0,25$ mm de largura e $2,34 \pm 0,15$ mm de espessura, diferindo significativamente dos tratamentos Fa e Ce+Fa ($p < 0,05$). Esse comportamento também foi acompanhado por maior tempo de desenvolvimento, uma vez que as larvas cultivadas em Ce necessitaram de 21 dias para atingir o estágio de pré-pupa, enquanto aquelas mantidas em Fa e Ce+Fa atingiram esse estágio aos 15 dias. Dessa forma, nas condições avaliadas neste estudo, a cevada utilizada isoladamente proporcionou desenvolvimento mais lento e menores dimensões corporais.

As diferenças observadas não podem ser atribuídas exclusivamente ao teor de umidade, visto que os substratos foram utilizados nas condições de hidratação estabelecidas para o cultivo. Assim, o desempenho larval pode estar relacionado ao conjunto das características físico-químicas e nutricionais de cada substrato e à disponibilidade dos nutrientes para as larvas. Barragán-Fonseca et al. (2018) demonstraram que a qualidade nutricional da dieta influencia parâmetros como crescimento, desenvolvimento e desempenho de *H. illucens*. De forma semelhante, Laganaro et al. (2021) verificaram que a qualidade do substrato pode modificar a eficiência com que o alimento assimilado é convertido em nova biomassa, em razão de alterações no metabolismo larval.

De modo geral, Fa e Ce+Fa proporcionaram desenvolvimento morfológico semelhante entre si e significativamente superior ao observado na Ce, considerando comprimento, largura e espessura. Associado ao menor período necessário para atingir o estágio de pré-pupa, esse resultado demonstra que, nas condições experimentais avaliadas, o farelo de arroz isolado e sua combinação com a cevada apresentaram maior potencial para o desenvolvimento das larvas de *H. illucens* em comparação à utilização exclusiva da cevada.

Na Tabela 3, apresenta-se a relação do percentual de sobrevivência larval considerando os diferentes substratos avaliados. As médias obtidas das unidades de larvas em estágio final de desenvolvimento se apresentaram próximas ao esperado (≈ 250 larvas), considerando a massa inicial inoculada de 0,0045 g de larvas, correspondente a aproximadamente 250 indivíduos.

Tabela 3. Parâmetros de sobrevivência larval da BSF desenvolvida nos substratos de cevada (Ce), cevada e farelo de arroz (Ce+Fa) e farelo de arroz (Fa)

Substratos	Unidades de larvas ao final	% de sobrevivência larval	Massa (g)	Massa estimada* (g)	Ganho de massa*
Cevada	201 $\pm$ 26,37 ^a	80,48 $\pm$ 10,55 ^a	15,10 $\pm$ 2,29 ^c	18,73 $\pm$ 0,72 ^c	99,97 $\pm$ 0,00 ^a
Ce+Fa	236 $\pm$ 6,11 ^a	94,24 $\pm$ 2,44 ^a	47,90 $\pm$ 4,50 ^a	50,87 $\pm$ 5,20 ^a	99,99 $\pm$ 0,00 ^a
Farelo	225 $\pm$ 24,40 ^a	90,16 $\pm$ 9,76 ^a	27,70 $\pm$ 8,78 ^b	30,55 $\pm$ 7,91 ^b	99,99 $\pm$ 0,00 ^a

Resultados expressos como média $\pm$ desvio-padrão. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

*baseada em 250 unidades

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de sobrevivência e produção de biomassa das larvas de *Hermetia illucens* em função dos diferentes substratos avaliados. O número médio de larvas ao final do desenvolvimento variou entre 201 $\pm$ 26,37 na Ce, 225 $\pm$ 24,40 no Fa e 236 $\pm$ 6,11 na mistura Ce+Fa, correspondendo a percentuais de sobrevivência de 80,48 $\pm$ 10,55%, 90,16 $\pm$ 9,76% e 94,24 $\pm$ 2,44%, respectivamente. Apesar das diferenças numéricas, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os substratos para o número final de larvas e o percentual de sobrevivência ($p > 0,05$).

Em relação à produção de biomassa, foram verificadas diferenças significativas entre os substratos. A mistura Ce+Fa apresentou a maior massa larval, com 47,90 $\pm$ 4,50 g, diferindo significativamente dos demais tratamentos. O Fa apresentou valor intermediário de 27,70 $\pm$

8,78 g, enquanto a Ce apresentou a menor massa, com $15,10 \pm 2,29$ g. O mesmo comportamento foi observado para a massa estimada em 250 indivíduos, com valores de $50,87 \pm 5,20$ g para Ce+Fa, $30,55 \pm 7,91$ g para Fa e $18,73 \pm 0,72$ g para Ce. Esses resultados demonstram que, mesmo considerando uma quantidade padronizada de indivíduos, permaneceram as diferenças de biomassa entre os três substratos.

Quanto ao ganho de massa, foram obtidos valores de $99,97 \pm 0,00\%$ para Ce e $99,99 \pm 0,00\%$ para Ce+Fa e Fa, não sendo observada diferença significativa entre os substratos ($p > 0,05$). Dessa forma, embora tenham sido verificadas diferenças significativas na massa final e na massa estimada, o ganho de massa percentual apresentou comportamento estatisticamente semelhante entre os tratamentos.

A influência do substrato sobre o desempenho de *H. illucens* também é relatada na literatura. Scala et al. (2020) verificaram que diferentes substratos de criação podem alterar o crescimento das larvas, enquanto Eggink et al. (2022) demonstraram que resíduos e subprodutos utilizados na alimentação podem resultar em diferenças no desempenho e na composição corporal das larvas. Singh et al. (2022) também observaram que diferentes substratos orgânicos influenciaram características como peso, sobrevivência e tempo de desenvolvimento de *H. illucens*.

De modo geral, os resultados demonstram que, embora Ce, Fa e Ce+Fa não tenham diferido significativamente quanto à sobrevivência e ao ganho de massa percentual, houve diferença significativa na quantidade de biomassa produzida. A mistura Ce+Fa apresentou o maior valor de biomassa, seguida pelo Fa e pela Ce, demonstrando que o tipo de substrato utilizado influenciou o desempenho produtivo das larvas nas condições avaliadas.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o tipo de substrato utilizado influenciou o desenvolvimento e a produção de biomassa das larvas de *Hermetia illucens*. A caracterização proximal evidenciou diferenças na composição físico-química da cevada, do farelo de arroz e da mistura Ce+Fa, reforçando a importância da caracterização das matérias-primas empregadas na criação das larvas.

As larvas cultivadas em farelo de arroz (Fa) e na mistura de cevada e farelo de arroz (Ce+Fa) apresentaram desenvolvimento mais rápido, atingindo o estágio de pré-pupa aos 15 dias, enquanto aquelas cultivadas exclusivamente em cevada (Ce) necessitaram de 21 dias. Os

resultados morfométricos também demonstraram desempenho superior de Fa e Ce+Fa em relação à Ce, com maiores valores de comprimento, largura e espessura.

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas no percentual de sobrevivência e no ganho de massa percentual entre os substratos, houve diferença significativa na produção de biomassa. A mistura Ce+Fa apresentou a maior massa larval e massa estimada para 250 indivíduos, seguida pelo Fa e pela Ce, demonstrando que a combinação dos substratos proporcionou maior produção de biomassa nas condições avaliadas.

Dessa forma, entre os substratos estudados, a utilização do farelo de arroz, isoladamente ou em associação com a cevada, mostrou-se mais favorável ao desenvolvimento de *H. illucens* quando comparada à cevada utilizada isoladamente. A mistura Ce+Fa destacou-se principalmente pela maior produção de biomassa, evidenciando o potencial da combinação de subprodutos agroindustriais na criação das larvas.

Por fim, os resultados reforçam o potencial de utilização de subprodutos agroindustriais como substratos para a produção de biomassa de *H. illucens*, contribuindo para a valorização desses materiais. Estudos futuros podem avaliar a composição química da biomassa larval obtida, especialmente os teores e a qualidade das frações lipídica e proteica, além de investigar diferentes proporções entre os substratos, visando otimizar o desenvolvimento larval e o aproveitamento da biomassa produzida.

6 REFERÊNCIAS

- AMRUL, Nur Fardilla et al. Uma revisão do tratamento de resíduos orgânicos utilizando a mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*). *Sustentabilidade*, v. 14, n. 8, p. 4565, 2022.
- BARRAGÁN-FONSECA, K. B.; DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 3, n. 2, p. 105–120, 2017.
- BATAGLIA, L. et al. Recent Developments, Challenges, and Environmental Benefits of Using *Hermetia illucens* for Bioenergy Production. *Energies*, v. 18, 2025.
- BEKKER, N. S. et al. Substrate moisture content influences growth and metabolism of black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2021.
- BUSS, E. Bioconversão e qualidade nutricional de larvas de *Hermetia illucens* alimentadas com açafraão da terra. TCC (Zootecnia) – UFSC, 2022.

- CALIGIANI, Augusta et al. Influência do método de eliminação da mosca-soldado-negra em sua composição lipídica. *Food Research International* , v. 116, p. 276-282, 2019.
- CARUSO, D. et al. Bioconversion of organic residues by the black soldier fly (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) for animal feed and organic fertilizer. Montpellier: IRD, 2014. 54 p. Disponível em: <<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010063336>>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- CARUSO, D. et al. Bioconversion of organic residues by the black soldier fly. Montpellier: IRD, 2014.
- De Smet, J., Wynants, E., Cos, P., & Van Campenhout, L. (2018). Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential. *Applied and environmental microbiology*, 84(9), e02722-17.
- DECLARADO II, Joseph W.; KAUFMAN, Phillip E. A mosca soldado negro *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae): EENY 461/IN830, 6/2009. *Edis* , v. 7, 2009.
- DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; ROA GUTIÉRREZ, F.; NGUYEN, D. H.; MOREL, A.; KOOTTATEP, T.; TOCKNER, K. Black soldier fly larvae for organic waste treatment – Prospects and constraints. In: WASTESAFE 2011 – 2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries, 13–15 Feb. 2011, Khulna, Bangladesh. *Proceedings...* Khulna: WasteSafe, 2011.
- EGGINK, K. M.; LUND, I.; PEDERSEN, P. B.; HANSEN, B. W.; DALSGAARD, J. Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. *PLOS ONE*, v. 17, n. 9, e0275213, 2022.
- FERREIRA, P. F. Substituição de farinha de peixe por farinha de MSN em dietas de tilápia. Dissertação (Mestrado) – USP, 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Tackling food loss and waste from the farm to the table and beyond. Rome, 27 set. 2024. Disponível em: FAO – Tackling food loss and waste. Acesso em: 19 ago. 2026.
- FU, Shan-Fei et al. Producing insect protein from food waste digestate via black soldier fly larvae cultivation: A promising choice for digestate disposal. *Science of the Total Environment*, v. 830, p. 154654, 2022.

- GOLD, Moritz et al. Tratamento de biorresíduos com larvas de mosca-soldado-negra: aumento do desempenho por meio da formulação de biorresíduos à base de proteínas e carboidratos. *Waste Management*, v. 102, p. 319-329, 2020.
- Hawkinson, Candice. "Insetos benéficos na paisagem: Mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*).". Texas A&M AgriLife Extension Service, Galveston County, 2005.
- HOSSEINDOUST, A. et al. Effects of different substrates on growth performance and nutritional composition of black soldier fly larvae. *Animals*, v. 13, 2023.
- JOLY, G.; NIKIEMA, J. *Global experiences on waste processing with black soldier fly (Hermetia illucens): from technology to business*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI), 2019. 62 p. (Resource Recovery and Reuse Series, 16). DOI: 10.5337/2019.214.
- JULIANO, B. O. *Rice: Chemistry and Technology*. 2. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985.
- KIM, W. et al. Effect of temperature on the development of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) and its potential for use as a food resource. *Journal of Entomological Science*, v. 46, n. 4, p. 315–324, 2011.
- LAGANARO, Marcello; BAHRNDORFF, Simon; ERIKSEN, Niels Thomas. Growth and metabolic performance of black soldier fly larvae grown on low and high-quality substrates. *Waste Management*, v. 121, p. 198-205, 2021.
- MAKKAR, H. P. S. et al. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, v. 197, p. 1–33, 2014.
- MANGINDAAN, D. et al. BSF Larvae for Biodiesel and/or Animal Feed as a Solution for Waste-Food-Energy Nexus. *Sustainability*, 2022.
- MENEGUZ, Marco 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, n. 15, p. 5776-5784, 2018.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL; SUBCOMMITTEE ON POULTRY NUTRITION. *Nutrient requirements of poultry: 1994*. National Academies Press, 1994.
- NEWTON, LARRY et al. Utilizando a mosca-soldado-negra, *Hermetia illucens*, como ferramenta de valor agregado para o manejo de dejetos suínos. *Centro de Gestão de Resíduos Animais e Avícolas, Universidade Estadual da Carolina do Norte, Raleigh, NC*, v. 17, n. 2005, p. 18, 2005.

- OLIVEIRA, F. et al. Assessment of Diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* using electron microscopy. *J. Entomology and Zoology Studies*, 2015.
- ORTHOEFER, F. T. Rice bran oil. In: SHAHIDI, F. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 6. ed. New Jersey: Wiley, 2005.
- PARK, Haeree H. Manual de larvas da mosca-soldado-negra. 2016.
- RAMAN, Sharvini Siva et al. Oportunidades, desafios e soluções para a produção de ração animal à base de larvas de mosca-soldado-negra. *Journal of Cleaner Production* , v. 373, p. 133802, 2022.
- RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, M. et al. The Effects of Slaughter Methods and Drying Temperatures on the Protein Hydrolysis of BSFL Meal. *Animals*, v. 14, 2024.
- SAUNDERS, R. M. The properties of rice bran as a foodstuff. *Cereal Foods World*, v. 35, n. 7, p. 632–636, 1990.
- SAUVANT, Daniel et al. Nutritional values for ruminants. In: *Tables of composition and nutritional value of feed materials*. Wageningen Academic, 2004. p. 43-51.
- SCALA, A. et al. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. *Scientific Reports*, v. 10, 19448, 2020.
- SHEPPARD, D. C.; TOMBERLIN, J. K.; JOYCE, J. A.; KISER, B. C.; SUMNER, S. M. Métodos de criação da mosca-soldado-negra (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology*, v. 39, n. 4, p. 695–698, 2002. DOI: 10.1603/0022-2585-39.4.695.
- SINGH, A.; MARATHE, D.; RAGHUNATHAN, K.; KUMARI, K. Effect of different organic substrates on selected life history traits and nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Environmental Entomology*, v. 51, n. 1, p. 182–189, 2022.
- SPRANGHERS, Thomas et al. Composição nutricional de pré-pupas da mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) criadas em diferentes substratos de resíduos orgânicos. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , v. 97, n. 8, p. 2594-2600, 2017.
- TOMBERLIN, J. K.; SHEPPARD, D. C.; JOYCE, J. A. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*, v. 95, n. 3, p. 379–386, 2002. Disponível em: <<https://academic.oup.com/aesa/article-abstract/95/3/379/82524>>. Acesso em: 4 nov. 2025.
- TOMBERLIN, Jeffery K.; ADLER, Peter H.; MYERS, Heidi M. Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental entomology*, v. 38, n. 3, p. 930-934, 2009.

TSCHIRNER, M.; SIMON, A. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 1, n. 4, p. 249–259, 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Food Waste Index Report 2024: Think Eat Save: Tracking Progress to Halve Global Food Waste. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2024. Disponível em: UNEP – Food Waste Index Report 2024. Acesso em: 19 ago. 2026.

VAN HUIS, A. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 2013.

YABIKU, A. B. Composição nutricional e caracterização do óleo obtido da biomassa da MSN. TCC – UFSC, 2023.

ZHEN, Yongkang et al. Impacts of killing process on the nutrient content, product stability and in vitro digestibility of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meals. *Applied sciences*, v. 10, n. 17, p. 6099, 2020.