



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



Clézio Santana Almeida

Aspectos nutricionais e bioecológicos associados ao desenvolvimento de
Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) (L., 1758): uma revisão bibliográfica

Araras -SP
2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



Aspectos nutricionais e bioecológicos associados ao desenvolvimento de
Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) (L., 1758): uma revisão bibliográfica

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso
de Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar
para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Neves Marques

Araras – 2021

Almeida, Clézio Santana

Aspectos nutricionais e bioecológicos associados ao desenvolvimento de *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) (L., 1758): uma revisão bibliográfica / Clézio Santana Almeida -- 2021. 53f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Rodrigo Neves Marques

Banca Examinadora: Rodrigo Neves Marques, Flavia de Moura Manoel Bento, Eliane Grisoto

Bibliografia

1. Bioecologia. 2. Mosca Soldado Negra. 3. Bioconversão. I. Almeida, Clézio Santana. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e minha querida mãe pelo fôlego de vida e amor que só quem dá à luz pode compreender.

Juntamente, recebem meus agradecimentos toda minha família, em especial, minha pequena irmã, Heloísa, que, desde seu nascimento, só trouxe-nos alegria; aos meus amigos, que se mantiveram leais durante toda minha jornada na graduação e que certamente compreendem a ausência de suas citações diretas em respeito aos meus ideais de liberdade e privacidade em tempos de Distopia Orwelliana.

Não posso deixar de ressaltar o quanto agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Neves Marques, que sempre mostrou-se solícito, profissional, extremamente paciente e um ótimo professor.

Ademais, agradeço a todos os professores que participaram, de alguma forma, na minha jornada universitária afim de obter o título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Citação: “Ato de repetir de maneira errada as palavras alheias.”

Dicionário do Diabo - Ambrose Bierce

RESUMO

Este trabalho objetivou-se a apontar problemas bioecológicos gerais e específicos associados ao desenvolvimento de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *H. illucens* ou mosca-soldado-negra (MSN) é uma espécie polífaga, sinantrópica e amplamente distribuída pelo mundo. Durante seu desenvolvimento, apresenta seis instares larvais. Em condições ótimas, atinge o quinto instar em intervalos de 13 a 18 dias, produzindo uma rica biomassa a partir de resíduos de baixo valor comercial. Temperaturas constantes entre 24 e 33 C associadas a dietas com teores de Proteína+Carboidrato (50% matéria seca), relação P:C igual a 1:2, umidade de 60 a 90%, quantidades pequenas de metais pesados, contaminantes biológicos e metabólicos secundários foram apontados, pela literatura consultada, como fatores importantíssimos para o desenvolvimento, viabilidade comercial e biossegurança do produto final. Nos critérios gerais deste trabalho, foram compilados conceitos sobre ecologia nutricional, regulação alimentar e critérios objetivos para a avaliação de dietas. No que se refere aos critérios específicos, fatores abióticos e características biológicas apontadas pela literatura são abordados na segunda parte da revisão de forma mais detalhada, em conjunto com algumas normas sanitárias exigidas pela União Europeia. De maneira geral, com tecnificação da cadeia produtiva e com a constante atualização das normas e legislação vigente, existe uma ótima perspectiva para entomocultura de MSN nos próximos anos nos países ocidentalizados.

Palavras chaves: Bioecologia, Resíduo, Mosca Soldado Negra, Bioconversão.

ABSTRACT

Bioecological and nutritional aspects associated to the development of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) (L., 1758): a literature review

This literature review aimed to point out general and specific bioecological problems associated with the development of *Hermetia illucens* (L.) (DIPTERA: Stratiomyidae). *H. illucens* or black soldier fly (BSF) is a polyphagous species, synanthropic and widely distributed around the world. Its larvae have six instars; in optimal conditions, it can reach the 5th instar at intervals of 13 to 18 days, producing a rich quantity of biomass from waste of low commercial value. Constant temperatures between 24 and 33 C° associated with diets with Protein+Carbohydrate contents (50% Dried Matter), P:C 1:2, humidity of 60 to 90%, small amounts of heavy metals, biological and secondary metabolic contaminants were pointed out, by the consulted literature, as very important factors for the development, commercial viability and biosafety of the final product. In the general criteria of this work, concepts on nutritional ecology, food regulation and objective criteria for the evaluation of diets were compiled. Regarding to specific criteria, abiotic factors and biological characteristics identified in the literature are discussed in the second part of the review with more details, together with some sanitary standards required by the European Union. In general, with the technification of the production chain and constant updating of current norms and legislation, there is an excellent perspective for BSF rearing in the coming years in westernized countries.

Keywords: Bioecology, Waste, Black Soldier Fly, Bioconversion.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	11
2.	OBJETIVOS :	11
3.	<i>Hermetia illucens</i> L. (Diptera: Stratiomyidae)	12
3.1	Ciclo de vida e biologia	14
4.	COMPORTAMENTO REPRODUTIVO	17
5.	OVIPOSIÇÃO	18
6.	SISTEMAS DE REPRODUÇÃO	19
6.1	Sistemas de criação de MSN.....	19
7.	INSETOS DE ALTA QUALIDADE.....	20
7.1	Aspectos genéticos da produção em massa.....	20
7.2	Estabilidade e viabilidade a longo prazo	21
7.3	Seleção artificial de bioconversores.....	25
8.	FATORES ABIÓTICOS	27
8.1	Temperatura	27
8.2	Umidade Relativa (UR).....	28
9.	MANEJO DO SUBSTRATO.....	29
9.1	Fermentação e microbiota associada	34
10.	ASPECTOS SANITÁRIOS.....	35
10.1	Produção de biomassa destinada a alimentação animais na EU	35
10.2	Organismos potencialmente problemáticos em criações de <i>H. illucens</i>	35
10.1	Artrópodes indesejáveis.....	41
11.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
12.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida <i>Hermetia illucens</i> em condições controladas (DE SMET et al., 2018).	15
Figura 2. Cinco primeiros ínstares de <i>Hermetia illucens</i> seguidos pelos estágios de pré-pupa (6º ínstar) e pupa (LIEVENS et al., 2021).....	16
Figura 3. Dimorfismo sexual em adultos de <i>Hermetia illucens</i> . Na imagem de corpo inteiro: Esquerda macho (M); Direita fêmea (F). No detalhe, imagem da região final do abdome, onde F significa fêmea e M macho (OONINCX et al., 2016).	16
Figura 4. <i>Hermetia illucens</i> (A) Colônia de adultos recém emergidos, (B) Substrato de oviposição (C) Resíduos orgânicos e larvas em pré-pupa (ORTIZ et al., 2016).	19
Figura 5. Efeito da isenção de genes deletérios em <i>Drosophila melanogaster</i> . Linhas pontilhadas: predição na ausência de isenção de genes deletérios; Linhas ininterruptas: faz previsão de uma população consanguínea submetidas a isenção de genes deletérios (HEDRICK e GARCIA-DORADO, 2016).	24
Figura 6. Mutações induzidas pela técnica de edição genética denominada CRISPR. Promoveram alterações no funcionamento hormônio protorácico-trópico (HPTT), resultando no aumento da capacidade de alimentação (ZHAN et al., 2020),	27
Figura 7. Teores de P+C e razões P: C que melhoraram o desempenho de <i>Hermetia illucens</i> (BARRAGÁN-FONSECA, 2018).	33
Figura 8. (A-C) Indivíduos saudáveis; (A) larva; (B) pupa e (C) adulto. (D e E) Infecções fúngicas por <i>Beauveria bassiana</i> . Distúrbios no desenvolvimento com causas desconhecidas (F-I) (LECOQC, 2019).	37
Figura 9. Espécimes de <i>Dirhinus giffardii</i> coletados em pupas de <i>Hermetia illucens</i> , demonstrando diferentes estágios de desenvolvimento (da esquerda para a direita, um adulto, duas pupas e duas larvas) (MAQUART et al., 2020).	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção de larvas de <i>Hermetia illucens</i> e teor de proteínas (ZHOU et al., 2013).	20
Tabela 2. Redução de matéria seca (M.S) em esterco animal após desenvolvimento de larvas de <i>Hermetia illucens</i> (ZHOU et al., 2013).	21
Tabela 3. Valores e parâmetros ideais para matérias-primas e condições ambientais em sistemas produtivos de <i>H. illucens</i> . (JOLY e NIKIEMA, 2019).....	23
Tabela 4. Características ideais de insetos bioconversores (adaptado de FOWLES e NANSEN, 2019) e VAN HUIS et al., 2013).	26
Tabela 5. Redução de substrato, bioconversão e taxa de conversão alimentar de diferentes resíduos orgânicos em biomassa de MSN (SURENDRA et al., 2020).....	31
Tabela 6. Valores e parâmetros ótimos em dietas artificiais (JOLY e NIKIEMA, 2019).	34
Tabela 7. Lista de infecções naturais em Dípteros causadas por fungos entomopatogênicos de Entomophthorales (JOOSTEN et al., 2020).....	38
Tabela 8. Lista de infecções naturais em Dípteros causadas por fungos entomopatogênicos Hypocreales (JOOSTEN et al., 2020)	40
Tabela 9. Artrópodes indesejáveis <i>Hermetia illucens</i> (REGUZZI et al., 2021).	41
Tabela 10. Parasitoides preocupantes em criações de <i>Hermetia illucens</i>	42

1 INTRODUÇÃO

Insetos estão cada vez mais sendo empregados como fonte de recursos dietéticos, principalmente em formulação de rações. Em 2018, mais de US \$ 300 milhões foram investidos em instalações e na expansão industrial da capacidade produtiva (JOOSTEN et al., 2020).

Entre as espécies domesticadas com características adequadas para amplo emprego às referidas aplicações, principalmente em grandes criações massais é *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758). (Diptera, Stratiomyidae), conhecida na literatura internacional como “Black Soldier Fly” (BSF) ou mosca-soldado-negra (MSN). A criação de MSN tem sido proposta desde a década de 1990 como medida para aplicação em tratamento de resíduos orgânicos, convertendo resíduos em biomassa rica em proteína e gordura. Na literatura, encontram-se documentados métodos para aproveitamento de resíduos orgânicos de maneiras economicamente viáveis, utilizando processos de bioconversão (FOWLES e NANSEN, 2020).

As larvas podem ser utilizadas como fonte proteica, incorporando rações para animais domésticos, como aves, suínos, coelhos e na atividade da piscicultura. Possuem proteínas de valor biológico próximas ao farelo de soja e de peixe, que podem variar em qualidade de acordo com o substrato utilizado na alimentação larval (GEORGESCU et al., 2020).

A confiabilidade de todos esses programas depende da saúde dos insetos criados e, conseqüentemente, da qualidade da dieta ofertada. A maioria das barreiras necessárias para o amplo sucesso em criações massa deriva da compreensão das dietas (COHEN, 2015).

1. OBJETIVOS :

Este trabalho tem como objeto a revisão de materiais bibliográficos relacionados a bioecologia, desenvolvimento e reprodução de *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae) (L., 1758), conhecida mosca-soldado-negra (MSN).

2. *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae)

A mosca-soldado-negra, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae), internacionalmente conhecida como “Black Soldier Fly”, é uma mosca sinantrópica amplamente difundida em regiões tropicais e temperadas. Tradicionalmente, seu centro de origem é atribuído à região Norte da América do Sul até o sudoeste dos EUA (pelo menos até 40°N), embora essa hipótese tenha sido recentemente questionada com uma possível origem paleártica. Adultos não são capazes de morder ou picar e, até o presente momento, não é mencionada como vetor de quaisquer doenças ou causadora de problemas de importância veterinária, agrícola ou humana (BONELLI et al., 2019).

A espécie é considerada cosmopolita, ocorrendo em todas as regiões tropicais, bem como em muitas regiões subtropicais e temperadas (entre 46°N e 40°S). Populações estabelecidas na Eurásia são classificadas como introduzidas. Numerosos registros históricos do final do século IX e início do século XX documentam a presença da espécie na América, enquanto os primeiros registros, para as outras regiões, são consideravelmente mais jovens. Para a região afro tropical, o registro sul-africano mais antigo, datado de 1915, e vários registros subsequentes em Madagascar são da década de 1930. O primeiro registro para a região paleártica é de Malta, em 1926; na década de 1960, a espécie era relatada na Espanha, França e Itália. Na Ásia, os primeiros registros confirmados são da década de 1940 (Malásia). No que diz respeito à região da Australásia, o espécime mais antigo conhecido para *H. illucens* é do ano de 1948 (STÅHLS et al., 2020).

A família Stratiomyidae é constituída de braquíceros (moscas) de infra-ordem Stratiomyomorpha. Classificações mais recentes do grupo definiram os Stratiomyomorpha em duas famílias: Xylomyidae e Stratiomyidae (ROIG-JUÑENT e MORRONE, 2014). Considerada como uma família cosmopolita, apresentando 375 gêneros e mais de 2.800 espécies descritas; os membros dessa família são encontrados em quase todo o mundo, com maior diversidade nas regiões dos trópicos equatoriais. Stratiomyomorpha, dentro do táxon Brachycera (moscas verdadeiras), não é amplamente estabelecida, muitas

vezes é denominada “Brachycera baixa” e constituem uma das infraordens de ramificação anterior de Brachycera. Foi sugerido que Stratiomyidae representa parte da interface de transição entre os “baixos dípteros” e os “altos dípteros” devido a sua diversidade na forma, abrangendo uma combinação (plesiomórfica e derivada) de características de Nematocera e Brachycera (BRAMMER e VON DOHLEN, 2007).

Frequentemente, as larvas desse grupo estão associadas à decomposição de matéria orgânica vegetal, tanto em áreas naturais como em áreas urbanas. *H. illucens* é uma das espécies que se encontram frequentemente em resíduos orgânicos (ROIG-JUÑENT e MORRONE, 2014).

O pH do lúmen do intestino médio de larvas de *H. Illucens* não é homogêneo em toda sua extensão. Três regiões são caracterizadas, apresentando valores distintos; sendo um valor ácido na região média anterior (pH 6), extremamente ácidos (pH 2) na região média, e no intestino médio posterior uma faixa alcalina (pH 8.5). O forte pH ácido luminal é atribuído como importante fator na eliminação de patógenos ingeridos em conjunto com o substrato alimentar. Enquanto valores alcalinos na região posterior do intestino médio está associado a um melhor aproveitamento nutricional (em especial proteínas), contornando em até certo ponto, os problemas encontrados em substratos ricos em compostos antinutricionais (taninos) que se ligam a proteínas dietéticas em baixos valores de pH impedindo seu aproveitamento. (BONELLI et al., 2019).

Nas décadas de 1960 e 1970, pesquisas iniciais sobre a mosca-soldado-negra se expandiram e, muitas delas, constataram o processo global de dispersão da espécie pelo mundo. Durante esse período, preocupações ambientais crescendo com espécies invasoras levaram a comunidade científica (na época) a considerar a MSN, naquele momento de expansão, uma “praga”. Mas, hoje, a MSN é vista como um artrópode benéfico (TOMBERLIN e VAN HUIS, 2020).

Sua capacidade de digerir matéria orgânica proveniente das mais diversas fontes, como resíduos de cozinha, lodo de esgoto, fezes humanas, resíduos vegetais etc., a ponto de constitui importante papel na redução de

resíduos orgânicos e contaminação microbiológica (GEORGESCU et al., 2020).

2.1 Ciclo de vida e biologia

H. illucens é uma espécie que, em condições laboratoriais, apresenta larvas com seis ínstaes, incluindo a pré pupa (Figura 1). A cápsula cefálica é destacada do corpo. As peças bucais, além de utilizadas para alimentação, são utilizadas como auxiliares na locomoção. Seu corpo é formado por oito segmentos abdominais e três segmentos torácicos com cerdas nas bordas, e sua cor é bege ou marrom claro até a pupação, quando se torna marrom escuro (Figura 2). Nessa fase, fica imóvel, apresentando uma cutícula rígida e rica em sais de cálcio, resultando em uma pupa marrom escura (CARUSO et al., 2014).

Em condições constantes em torno de 30° C, as larvas alcançam o estágio pré pupal em duas semanas a 27 - 30° C, adultos emergem em torno de 10 a 14 dias após a pupa. Adultos reproduzem-se sem a necessidade obrigatória de alimento, mas o alimento tem impactos positivos na longevidade do adulto (BARRAGÁN-FONSECA et al., 2019).

O ciclo de vida do *H. Illucens* varia entre as populações selvagens e domesticadas; fatores abióticos (temperatura, umidade, intensidade da luz) e bióticos (qualidade e quantidade de alimentos disponíveis) interferem direta e indiretamente na duração do ciclo de vida e seu desempenho biológico. As fêmeas ovipositam entre 320 e 1000 ovos em local com substrato seco. Os ovos são colocados em fileiras estreitas, geralmente em um interstício para escondê-los da predação, e perto de uma fonte potencial de alimento (TOMBERLIN et al., 2009)

As fêmeas (Figura 3) de MSN demonstram comportamento de agregação, preferindo ovipositar próximas a outras massas de ovos. Os ovos mudam da cor bege para amarelo/bege durante o período de incubação, que pode durar pouco mais de quatro dias a 27-29°C e a cerca de 3,5 dias a 30°C. Após a emergência, os jovens adultos iniciam o processo de voo alguns minutos após a expansão das asas. *H. Illucens* apresenta um comportamento eurigâmico (cópula se dá

mediante à formação de enxames), conseqüentemente, necessita de amplas áreas para a sua fuga nupcial. O acasalamento toma cerca de dois dias após o surgimento dos adultos e outros dois dias serão necessários antes da postura dos ovos. Um macho vive de cinco a 14 dias, sua expectativa de vida é dependente do tamanho do corpo (associado às reservas de energia) e acesso à água (CARUSO et al., 2014).



Figura 1. Ciclo de vida *Hermetia illucens* em condições controladas (DE SMET et al., 2018).

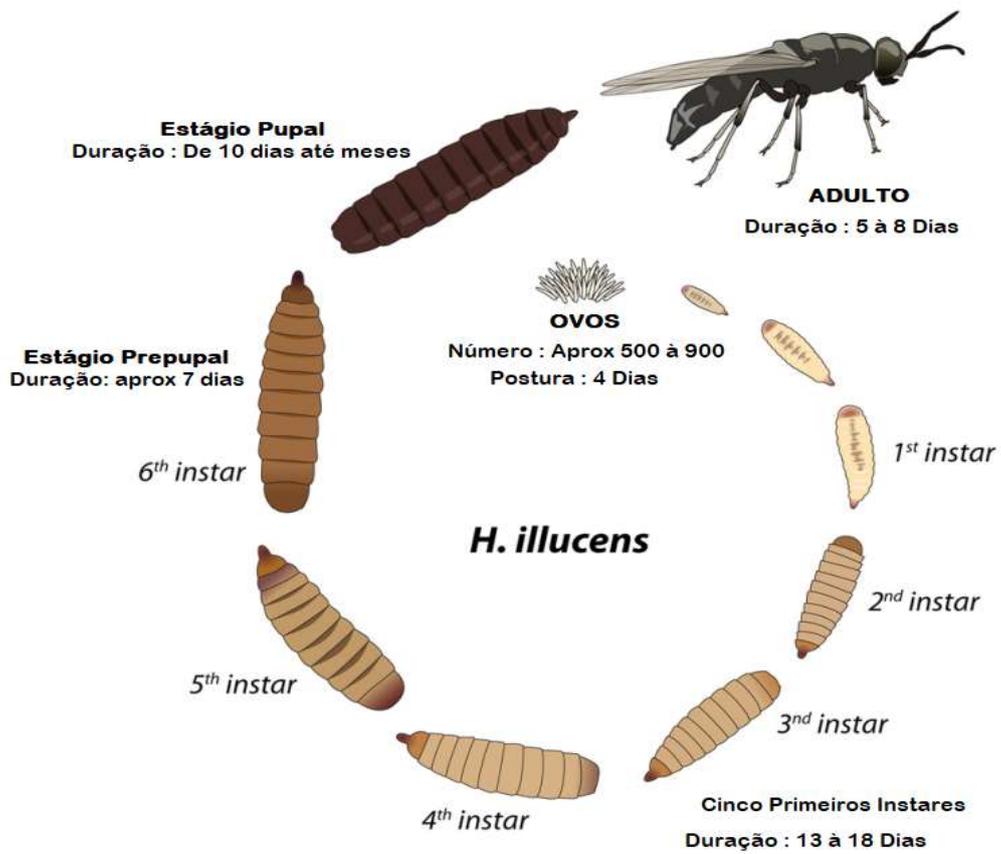


Figura 2. Cinco primeiros ínstaes de *Hermetia illucens* seguidos pelos estágios de pré-pupa (6^o ínstar) e pupa (LIEVENS et al., 2021).



Figura 3. Dimorfismo sexual em adultos de *Hermetia illucens*. Na imagem de corpo inteiro:

Esquerda macho (M); Direita fêmea (F). No detalhe, imagem da região final do abdome, onde F significa fêmea e M macho (OONINCX et al., 2016).

3. COMPORTAMENTO REPRODUTIVO

A compreensão da comunicação sexual utilizada por adultos de MSN durante as decisões de acasalamento pode contribuir para melhorar a produção e criação em massa, reduzindo custos operacionais (GIUNTI et al., 2018).

Em ambiente artificiais, estágios larvais são bastante fáceis de se manter, mas obter acasalamentos bem-sucedidos é um desafio, uma vez que condições especiais são exigidas, essas são influenciadas por muitos fatores biológicos e ambientais. Estudos demonstraram que o sucesso do acasalamento e comportamento reprodutivo em *H. ilucens* relacionam-se intimamente com umidade relativa, temperatura, tamanho da gaiola, espaço e densidade populacional larval e de adultos durante o acasalamento (JULITA et al., 2020).

A temperatura e umidade podem ser limitantes para a reprodução (HOLMES et al., 2012), pois temperaturas abaixo de 27° C resultam na redução da atividade do adulto, o que se traduz em uma baixa atividade de cópulas bem sucedidas, conseqüentemente em taxas de oviposição menores (TOMBERLIN e SHEPPARD, 2002).

Tomberlin et al. (2002) demonstrou que fêmeas são sexualmente maduras em torno de dois dias após a emergência e que produzem ovos férteis dois dias subsequentes à cópula. Fêmeas jovens virgens, com mais de 4 dias após a emergência, raramente desenvolvem ovos em seus ovários após esse período. É documentado que apenas uma pequena porção de fêmeas copulam após o quarto dia e são capazes de desenvolver ovos espontaneamente (<1%), mas normalmente são inférteis/inviáveis.

Julita et al. (2020), em estudos recentes, relataram que o acasalamento de adultos de *H. Illucens* ocorre dois dias após a emergência, durante os períodos da manhã, quando as temperaturas aumentam durante os picos de luminosidade entre 11h e 12h.

Hoc et al. (2019) realizaram estudos com a MSN, sugerindo que a duração

do dia tem um impacto significativo na fertilidade, cujo acasalamento depende da luz. Portanto, o comportamento de acasalamento de *H. illucens* é mediado pela luz solar, que permite os machos detectarem fêmeas, sendo que poucos acasalamentos ocorrem durante curtos períodos de exposição (luz) ou dias nublados. A luz artificial é indicada na substituição da luz do Sol em criações, eliminando essa variação ambiental.

4. OVIPOSIÇÃO

Uma razão para o sucesso evolutivo dos insetos é sua notável capacidade de gerar grandes números de descendentes. Uma vez que a maioria dos insetos reproduz-se sexualmente, isso requer a formação eficiente de gametas. Nas fêmeas, esse processo é denominado oogênese. As fêmeas produzem ovos que devem cumprir várias funções para o sucesso reprodutivo. O ovo deve conter nutrientes suficientes para sustentar o desenvolvimento embrionário, permitir a troca de gases para a respiração e proteger o embrião de uma grande variedade de estresses ambientais, incluindo grandes mudanças na temperatura e perda de água por dessecação (NAGOSHI, 2004).

As fêmeas fertilizadas de *H. Illucens* ovipositam de forma contínua durante toda vida adulta, procurando locais com indicativos de recursos apropriados às larvas. Pesquisas anteriores determinaram que a microbiota associada aos ovos desempenham um papel atrativo para formas adultas, estimulando a oviposição de outras fêmeas no mesmo local (ZHENG et al., 2013).

Os locais de oviposição devem ser dirigidos a locais específicos dentro dos locais de produção (SHEPPARD et al., 2002) (Figura 4). Pesquisadores, normalmente, utilizam recipientes inoculados com grãos em decomposição e saturados de água ou blocos de papelão ondulado (2 a 3cm de espessura, 3 a 5cm de comprimento, 2 a 3cm de largura) que são fixados ao recipiente diretamente acima do meio. Os adultos normalmente ovipositam no papelão, permitindo uma fácil quantificação dos ovos obtidos com base no peso. O papelão pode ser removido conforme necessário, no entanto, recomenda-se que seja mantido no local da oviposição por pelo menos 4 dias. (TOMBERLIN, 2002)

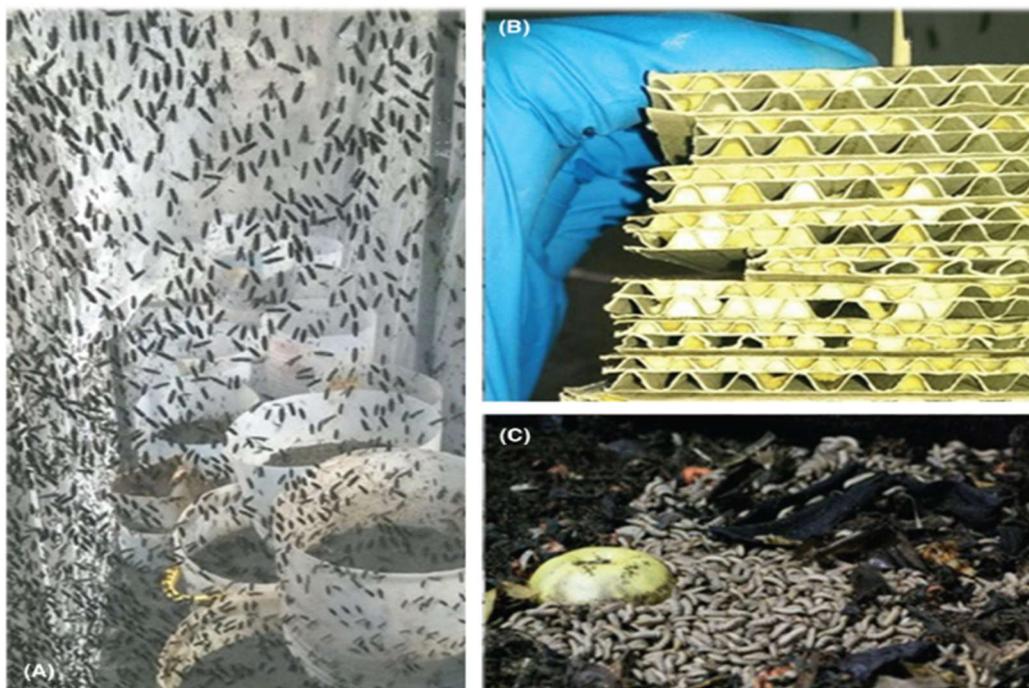


Figura 4. *Hermetia illucens* (A) Colônia de adultos recém emergidos, (B) Substrato de oviposição (C) Resíduos orgânicos e larvas em pré-pupa (ORTIZ et al., 2016).

5. SISTEMAS DE REPRODUÇÃO

5.1 Sistemas de criação de MSN

Sistemas de criação de MSN podem ser classificados como:

- I. Sistemas dependentes da colonização natural;
- II. Sistemas com reprodução artificial;

Sistemas dependentes da colonização natural são muito comuns em pequenas propriedades familiares, normalmente dimensionados para aplicações caseiras (LOHRI et al., 2017). Sistemas com reprodução artificial são destinados a grandes trabalhos de biorremediação (redução de resíduos problemáticos ambientalmente) ou transformações de materiais orgânicos de baixo valor econômico em compostos interessantes comercialmente. O sistema com reprodução artificial apresenta setores ou locais específicos destinados à criação/reprodução por meio de indivíduos cativos. Apesar de constituir-se de

um sistema fechado, mais caro e complexo comparativamente com aqueles que dependem exclusivamente da colonização natural do substrato ofertado por populações selvagens, o sistema com reprodução artificial, apresenta vantagens em criações volumosas, permitindo operações controladas (escalabilidade e estabilidade), pois, nesse sistema, é possível manejar e separar adultos para atividade reprodutiva (ČIČKOVÁ et al., 2015).

6. INSETOS DE ALTA QUALIDADE

6.1 Aspectos genéticos da produção em massa

Zhou et al (2013) demonstraram a existência de fenótipos divergentes em MSN. Linhagens oriundas de Wuhan (China), Guangzhou (China) e Texas submetidas a dietas baseadas em esterco de frango, suíno e bovino, foram comparadas (Tabela 1 e 2). A Linhagem de Wuhan desenvolve-se mais rapidamente, e, ao mesmo tempo, suas larvas em pré-pupa mostraram-se maiores que as provenientes do Texas e Guangzhou. Além dessas características, o conteúdo proteico dos indivíduos pertencentes à linhagem de Wuhan foi 30% superior a Guangzhou (China) e 10% em relação ao Texas (dieta com esterco de frango) (Tabela 2). Por outro lado, larvas de Guangdong apresentaram-se ser as mais eficientes entre as três na redução de N₂.

Bosch et. al (2020) sugeriram que a eficiência nas taxas de bioconversão pode ser parcialmente atribuída à constituição genética das colônias mantidas em condições artificiais. A população parental carrega consigo adaptações micro-evolutivas relacionadas ao local de origem e devem ser consideradas.

Tabela 1. Produção de larvas de *Hermetia illucens* e teor de proteínas (ZHOU et al., 2013).

Linhagem	Esterco de suíno		Esterco de frango		Esterco bovino	
	Peso seco	Proteína (%)	Peso seco	Proteína (%)	Peso seco	Proteína (%)
Wuhan	53.4±0.3Aa	47.9±0.1B	61.7 ± 0.2A	51.8 ± 0.4B	57.8 ± 0.7A	50.6±0.3B
Guangzhou	28.8±0.2C	49.9±0.3 ^a	31.8 ± 0.3C	56.0± 0.6A	34.6 ± 0.3C	53.2±0.5A
Texas	49.7±0.4B	22.1±0.5C	56.8± 0.4B	24.8± 0.4C	53.6± 0.2B	25.8±0.2C

Tabela 2. Redução de matéria seca (M.S) em esterco animal após desenvolvimento de larvas de *Hermetia illucens* (ZHOU et al., 2013).

	Esterco de suíno		Esterco de frango		Esterco bovino	
Linhagem	Redução de M.S(%)	N redução (%)	Redução de M.S(%)	N redução (%)	Redução de M.S(%)	N redução (%)
Wuhan	53.4±0.3Aa	47.9±0.1B	61.7±0.2A	51.8 ± 0.4B	57.8±0.7A	50.6±0.3B
Guangzhou	28.8±0.2C	49.9±0.3A	31.8±0.3C	56.0± 0.6A	34.6 ±0.3C	53.2±0.5A
Texas	49.7±0.4B	22.1±0.5C	56.8±0.4B	24.8 ± 0.4C	53.6±0.2B	25.8±0.2C

6.2 Estabilidade e viabilidade a longo prazo

As produções industriais estão, até o presente momento, em suas fases iniciais pelo mundo a fora, pesquisas atuais encontram-se direcionadas, em grande parte, ao estudo de condições ambientais favoráveis em um ambiente produtivo industrializado (Tabela 3) (HOFFMANN et al., 2021).

Os efeitos da seleção artificial sobre as populações em cativeiro no presente momento, encontra-se pouco documentado. A lacuna técnica acaba por despertar fortes preocupações com a perda de diversidade genética em linhagens empregadas de forma comercial (ERIKSSON e PICARD, 2021).

Sabe-se que as primeiras etapas da fundação de uma colônia, a partir de indivíduos selvagens, ocasionam efeitos negativos na população (HOFFMANN et al., 2021).

A partir do momento em que os ciclos reprodutivos são artificialmente fechados, acentua-se a deriva genética e a consanguinidade (não intencional). Simultaneamente, a pressão de seleção, visando fenótipos associados à sobrevivência em um novo ambiente. O processo de domesticação acaba por reduzir as pressões evolutivas que tornavam o fenótipo selvagem viável, o que acaba reduzindo a diversidade no sistema produtivo. Um ciclo vicioso de erosão genética acaba se estabelecendo, o que acaba por desencadear sérias alterações na estrutura genética da população e nas características de aptidão. Com o passar do tempo, a rusticidade e conseqüente a capacidade reprodutiva são seriamente afetadas devido à fixação aleatória de alelos deletérios decorrentes em grande parte da endogamia excessiva (ERIKSSON e PICARD, 2021).

Esse problema é agravado em insetos com características estrategistas r (centradas na produção elevada de descendentes) como a MSN. Estudos demonstraram efeitos da deriva genética em *Drosophila melanogaster* (Diptera; Drosophilidae) sob condições laboratoriais, revelando que até 62% da diversidade genética de uma população pode ser perdida em 26 gerações, e que até 86% em 56 gerações, quando isoladas, sofrem com transtornos causados pela endogamia severa, processo denominado “purificação genética” pode em muitos casos amenizar/evitar à médio-longo prazo os efeitos da depressão endogâmica (Figura 6) (HOFFMANN, et. al., 2021).

Rhode et. al (2020) demonstrou que as taxas de pupação e eclosão em *H. illucens* provavelmente estão sob controle de um mecanismo de dominância, e quando a população era isenta de alelos deletérios recessivos, os valores fenotípicos “ideais” normalmente são restaurados em gerações seguintes.

O resgate genético é um dos métodos que podem oferecer uma melhora na aptidão de uma população comercial ao mesmo tempo que reintroduz diversidade genética em um sistema fechado. Indivíduos selecionados com características adequadas são introduzidos de modo a doar alelos para população afetada pela consanguinidade. Essa prática demonstrou ser um método eficiente em *D. melanogaster*, mesmo em cenários que utilizavam linhagens isogênicas. Entretanto, introdução de indivíduos que são muito diferentes geneticamente/fenotipicamente da linhagem comercial pode levar a uma diminuição na aptidão da prole por algumas gerações, alterando a estrutura genética e a frequência de genes co-adaptados ou introduzindo alelos não favoráveis para o sistema de produção de insetos (HOFFMANN et al., 2021).

Em suma, a erosão genética tem implicações para a viabilidade populacional a médio e longo prazo e acaba por diminuir e/ou dificultar as respostas de uma determinada população às pressões de seleção em ambientes artificiais, tornando a manutenção de linhagens especializadas onerosas. A fundação de uma colônia deve ser cuidadosamente administrada, combinando o aumento das colônias comerciais juntamente com a reprodução seletiva de fenótipos favoráveis, visando não somente a produtividade em um curto período,

mas a saúde, produtividade, variabilidade genética e processos micro-evolutivos envolvidos; garantindo estabilidade e resiliência da colônia para que atenda níveis comerciais de produção (RHODE et al., 2020).

Tabela 3. Valores e parâmetros ideais para matérias-primas e condições ambientais em sistemas produtivos de *H. illucens*. (JOLY e NIKIEMA, 2019).

Fase	Temp. °C	UR	Luminosidade	Dieta	Outros	Sugestão operacional
Ovos	Temperatura constante (~ 27 °C)	>60%	Ambiente escuro com 0-50% de exposição diária à luz	N. A		Ovos incubados em um recipiente coberto com uma fonte de alimento
Larvas juvenis /neonatos (4-6 dias)	Temperatura constante na faixa de 24-33°C		Ambiente escuro	Dieta especial (farelo de trigo, ração para coelho ou frango) com textura adequada		Larvas juvenis mantidas por 4-6 dias após a eclosão do recipiente de incubação.
Larvas/Recria	24-33°C		Ambiente escuro	Dieta bem definida ou matéria orgânica a ser tratado		As larvas são alimentadas com uma dieta definida até atingirem o estágio pré-pupal ou são usadas para bioconversão ou tratamento de dejetos
Pré pupas / pupas	24-33°C	60-70%	Ambiente escuro com 0-50% de exposição diária à luz	N. A	Meio de pupação (serragem, turfa de coco, composto) exibindo um nível de umidade de 50-85% e uma profundidade de 15-20 cm	Os pré-pupas são coletados em recipiente acondicionado com material absorvente seco e hídrico, conectado ao recipiente de alimentação por meio de um tubo (inclinação: 28° - 45°) ou recipiente de alimentação colocados diretamente no recipiente de coleta

Adultas	25-32°C	>60%Luz do sol da manhã	Nenhuma, mas é recomendado fornecer água com açúcar	Espaço suficiente para acasalar. Alta densidade de moscas (5000 moscas m ⁻³) e vegetação para favorecimento do hábito eurigâmico	Estufa ou gaiola com rede (tamanho variando de 0,27x0,27x0,27m a 3X3X6 m). Meios de Oviposição com cavidades feitas de papelão ou madeira e colocados sobre ou perto de matéria orgânica com um cheiro suficientemente forte
---------	---------	-------------------------	---	--	--

°Temperatura; °Umidade

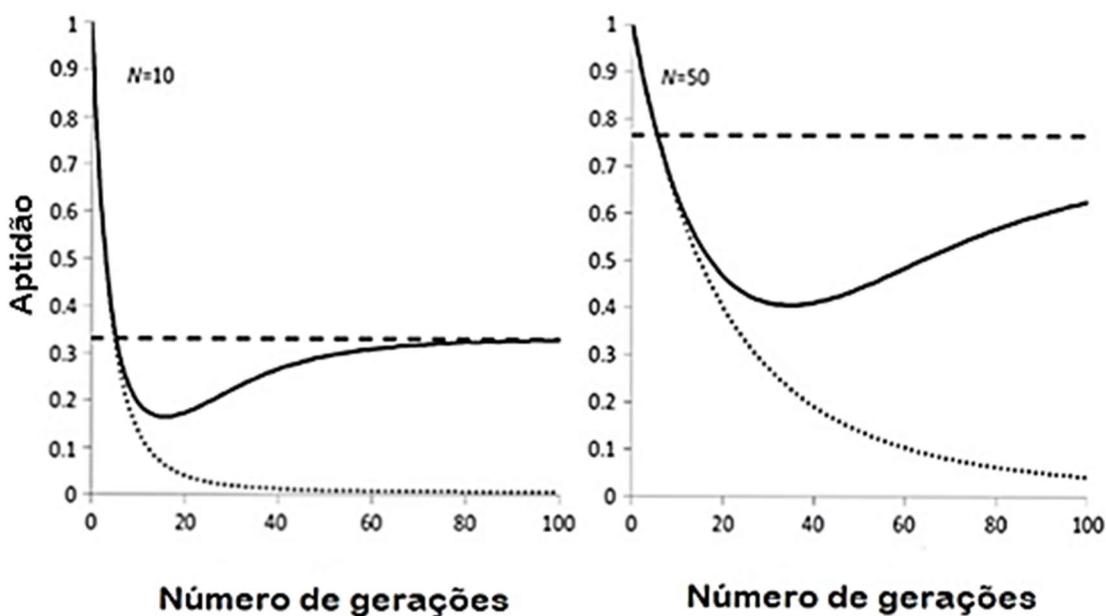


Figura 5. Efeito da isenção de genes deletérios em *Drosophila melanogaster*. Linhas pontilhadas: predição na ausência de isenção de genes deletérios; Linhas ininterruptas: faz previsão de uma população consanguínea submetidas a isenção de genes deletérios (HEDRICK e GARCIA-DORADO, 2016).

6.3 Seleção artificial de bioconversores

A seleção artificial opera mantendo a variação genotípica hereditária em uma população a favor de indivíduos com fenótipos considerado desejáveis pelo seletor humano (Tabela 4). Uma vez identificado(s) o(s) caractér(es) de interesse, indivíduos selecionados são acasalados por sucessivas gerações, fixando os alelos associados a característica visada, produzindo raças/linhagens com fenótipos específicos durante o processo de melhoramento genético (ERIKSSON e PICARD, 2021).

Nenhuma espécie ou população de insetos bioconversores, incluindo a MSN, apresenta, em sua forma selvagem, todas as características adequadas para amplo emprego em criações massais de larga escala. Mas uma linhagem/raça, quando trabalhada e submetida a um processo de reprodução direcionada, pode potencialmente ganhar um elevado potencial na bioconversão de dietas específicas (Figura 6). Uma linhagem/raça pode ser especialmente selecionada para produtos de difícil biotransformação por insetos, como determinados subprodutos da produção de vinho e bagaços de azeitona (ricos em compostos secundários), que, em grande parte, não são considerados bom substrato para bioconversão devido à grande quantidade de fatores anti-nutricionais prejudiciais aos insetos da colônia, como taninos e compostos fenólicos. Considerando a literatura vigente e a evolução experimental, é razoável prever que a reprodução direcionada por programas de melhoramento podem render, de forma bastante rápida e econômica, linhagem/raças de insetos bioconversores significativamente aprimorados em prazos economicamente viáveis (FOWLES e NANSEN, 2020).

No contexto produtivo, existe uma clara distinção entre fenótipos de interesse econômicos e estritamente relacionados à aptidão de sobrevivência. Os fenótipos de interesse puramente econômicos (curto prazo) são aqueles ligados a características de valor comercial (alto rendimento de proteína, lipídios e derivados da biomassa), enquanto traços de aptidão englobam atributos como a fecundidade, imunidade e tolerância ambiental, favorecendo a reprodução em condições artificiais (ERIKSSON e PICARD, 2021).

Como em outros animais domesticados, a seleção artificial bem sucedida ocorre a favor de características desejáveis como alta produtividade e sobrevivência, implicando em mudanças na estrutura genética levando, a uma série de compensações fisiológicas denominadas “trade-offs”. Por exemplo, os animais podem desenvolver um rápido crescimento, mas isso pode ser em custo da baixa tolerância à fome ou eficiência de conversão alimentar. Adaptações adequadas ao ambiente produtivo podem, portanto, reduzir o desempenho em condições fora das “ideais” (TELETCHEA, 2019).

Tabela 4. Características ideais de insetos bioconversores (adaptado de FOWLES e NANSEN, 2019) e VAN HUIS et al., 2013).

Biologia	Fisiologia	Alta taxa de consumo (substrato/alimento) Rápido desenvolvimento Tamanho adequado Fecundidade Tolerante à umidade e calor
	Ecologia	Polífago Comunal/agregação Operacionalmente escaláveis Colônias grandes e estáveis
Produção	Manutenção	Fácil de criar e produzir Demandas dietéticas constantes em todo ciclo de vida Baixa suscetibilidade a doenças e parasitas
	Processamento	Etapas da vida fáceis de separar De facilmente separação do substrato
Uso	Funcional Compostos de valor comercial	Separável mecanicamente Sequestro de toxinas Consumo de lignina Alto valor nutricional e/ou comercial (ex :lipídio, proteína, quitina)
	Segurança Humana	Hipoalergênico Fácil manuseio e dócil Não propenso a escapar ou arisco Não picar ou morde Não ser vetor de doenças
	Ambiental	Não invasivo

6.3.1 ENGENHARIA GENÉTICA

Zhan et al. (2020) relata que, apesar de seu grande potencial para o consumo de resíduos orgânicos, algumas características da MSN podem ser melhoradas, otimizando seu emprego industrial. Larvas de MSN da linhagem de Wuhan geneticamente manipuladas para que ocorressem mutações levando a alterações fisiológicas mediadas pelo hormônio protorácico-trópico (HPTT) aumentaram o consumo total de substrato orgânico ao ter a fase larval estendida de forma artificial, levando a um atraso no processo de pupação. A alteração acarretou em pupas maiores e mais pesadas graças ao aumento da capacidade de alimentação (Figura 6).

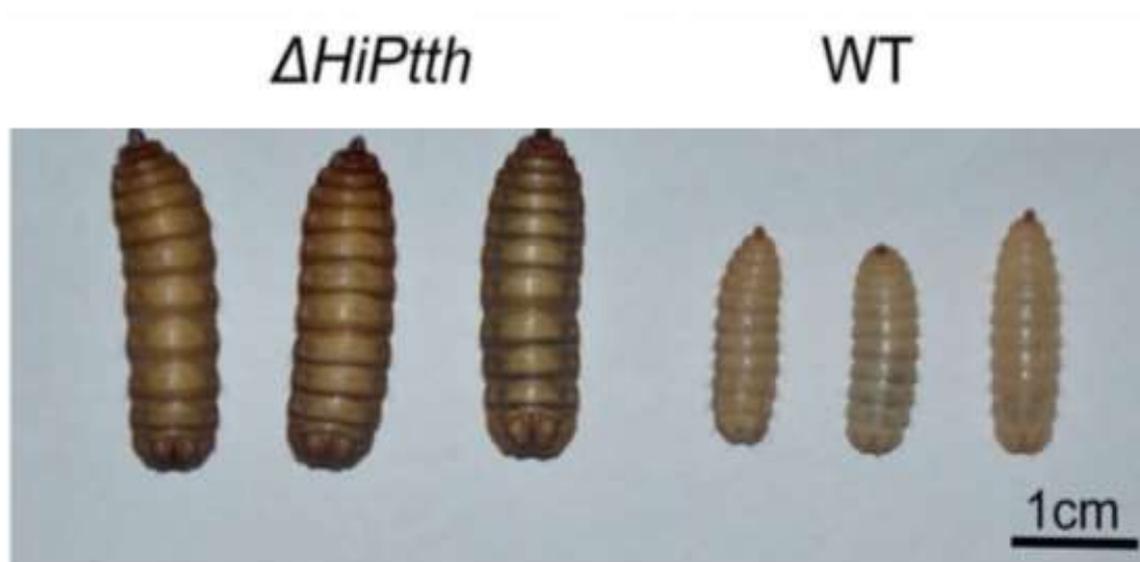


Figura 6. Mutações induzidas pela técnica de edição genética denominada CRISPR. Promoveram alterações no funcionamento hormônio protorácico-trópico (HPTT), resultando no aumento da capacidade de alimentação (ZHAN et al., 2020).

7. FATORES ABIÓTICOS

7.1 Temperatura

A temperatura tem efeitos generalizados em todos os sistemas biológicos; a base disso provém do fato de que todas as reações bioquímicas são sensíveis

em algum grau de temperatura na qual tem sua velocidade aumentada proporcionalmente com o acréscimo. Organismos ectotérmicos têm faixas de temperatura relativamente estreitas para o correto equilíbrio coordenado de suas reações bioquímicas. Coeficientes de temperatura afetam suas funções vitais, devendo ser balanceados em uma faixa ótima para garantir o seu funcionamento adequado. Quando a temperatura do ambiente varia, as respostas adaptativas tornam-se uma tarefa fisiológica, comportamental e evolutiva (WHITMAN, et al., 2009).

A MSN é considerada uma espécie de clima tropical e temperado com altas taxas de sobrevivência para o adulto nas temperaturas de 27° C a 30° C. Adultos pequenos, que se desenvolveram em dietas nutricionalmente adequada, apresentam uma menor longevidade se criados em altas temperaturas, essa característica, normalmente, é associada às pupas pequenas resultantes da aceleração metabólica em temperaturas desfavoráveis. O número de graus-dias necessários para completar o desenvolvimento pode variar de acordo com a qualidade dos recursos alimentares disponíveis (TRUDGILL et al., 2005).

Os insetos que se desenvolvem com recursos de alta qualidade requerem um menor número de grau-dias para desenvolver-se que aqueles privados de alimentos de alta qualidade. As dietas de grãos diferem na composição e qualidade de tecido animal e esterco, exigindo cautela ao utilizar dados de desenvolvimento fora de contexto (por exemplo, dieta) do estudo específico (HOLMES et al., 2012).

7.2 Umidade Relativa (UR).

Baixos teores de umidade afetam a fisiologia, desenvolvimento, longevidade e o sucesso reprodutivo da mosca-soldado-negra. Holmes et al. (2012) constataram efeitos significativos na eclosão de larvas e emergência da forma adulta em diferentes condições de umidade relativa (UR). Em ambientes de baixa UR, perda de água através das membranas do ovo e da pupa são prejudiciais para a sobrevivência de insetos holometábolos, resultando em

dessecação. Umidade relativa menor que 25%, afeta severamente o sucesso na eclosão das larvas devido ao seu efeito dessecante (HOLMES et al., 2013).

O teor de água do substrato é um fator abiótico de alta relevância na manutenção e desenvolvimento da colônia. Larvas são negativamente afetadas com o aumento do teor de umidade do substrato superior em condições superiores a 60% de umidade. Isso deve-se ao fato de que altos teores de água no substrato resultam em uma baixa concentração de nutrientes, diluindo o material nutritivo ingerido pelas larvas em água (HOLMES et al., 2012).

Teores menores de água tornam o acesso aos nutrientes mais fácil, e os movimentos larvais são reduzidos, levando a um uso eficientemente da energia armazenada no substrato para construir sua biomassa (DZEPE et al., 2020).

Diener et al. (2011) relataram que, durante a escassez de alimentos ou outras condições desfavoráveis, as MSN reduzem sua ingestão de ração ou param de se alimentar. Nesse estudo, o melhor desenvolvimento foi registrado com teor de água por volta de 60%. Sob essa condição, o tempo de desenvolvimento foi de cerca de 13 dias, e o peso úmido da larva individual, tamanho do corpo e a espessura do corpo obteve seu melhor desenvolvimento.

O substrato utilizado na fase pré-pupal interfere diretamente no tempo de desenvolvimento, impactando significativamente o desenvolvimento da MSN, especificamente a capacidade da larva de se transformar em pupa, emergir e sobreviver como um adulto e realizar eventos de cópula (HOLMES et al., 2013).

8. MANEJO DO SUBSTRATO

Produtores selecionam substratos com base em uma série de critérios, como a composição do perfil de nutrientes, bioconversão e assimilação alimentar (Tabela 5). Tais fatores são necessários para atingir o ponto ideal de comercialização e processamento, atributos físicos do substrato, características químicas particulares, microbiota presente, umidade, teor de água livre, estabilidade (percebibilidade), contaminantes (metais pesados), pH, entre outros atributos (OJHA et al., 2020).

A viabilidade econômica em um sistema de bioconversão está intimamente ligada ao aumento da biomassa larval por unidade tempo através de um substrato seguro e de baixo custo (LALANDER et al., 2019).

Surendra et al. (2020) diz que, em todas as situações, a constituição e propriedade dos substratos deve ser criteriosamente considerada. Dependendo da natureza do substrato, o desenvolvimento pode levar de duas semanas a vários meses em situações subótimas, resultando em larvas com baixo peso e valor comercial.

Substratos homogêneos de uma única fonte, como a indústria de alimentos e resíduos, são, geralmente, nutricionalmente desequilibrados, apresentando altos teores de fibra ou carboidratos (SIBIKA et al., 2021).

Com quantidades desequilibradas de substâncias nutricionais, como proteínas, gorduras e fibras, as larvas de MSN crescem em um ritmo lento, atingindo baixo peso. Alimentos com uma proporção baixa de P:C (proteína: carboidrato) e com grandes quantidades de gordura e fibra constituem um forte limitante, tornando o substrato de difícil digestão (SIBIKA et al., 2019).

O desempenho da MSN pode ser afetado pelo conteúdo absoluto de P+C. A relação P:C é extremamente importante, sendo capaz de reduzir ou aprimorar a performance em cenários onde a limitação seja a quantidade de P+C. Por exemplo, um alto teor de P acelera o tempo de desenvolvimento nas larvas (menor grau nos adultos) mesmo em situações onde P+C total sejam baixos, a proteína dietética em uma relação P:C adequada pode substituir, até certo ponto, as funções exercidas primariamente pelos carboidratos. Em adultos, a produção de ovos é otimizada em altas relações P:C, mesmo em cenários P+C subótimos dentro de certos limites (Figura 7) (BARRAGÁN-FONSECA, 2018).

Trabalhos demonstram que a mistura de um substrato com um respectivo co-substrato (características compatíveis) permite contornar certas limitações no emprego do material orgânico. O lodo de esgoto, sozinho, é considerado inadequado, mas a introdução de um co-substrato permitiu adequação do material. A mistura lodo com esterco (frango) na proporção de 1:4 mostrou-se benéfico, aumentando a bioconversão entre 1% a 8% (LIEW et al., 2021).

Misturas de materiais ricos (em termos nutricionais), mas fisicamente e/ou quimicamente impróprios devido a textura e baixo pH, podem ser utilizadas em associação com um co-substrato mais seco e alcalino de forma sinérgica (Tabela 6). Quando ocorre a correção físico-química, é possível reduzir a quantidade de ácidos graxos voláteis (AGVs), melhorando a produtividade larval, pois a redução AGVs é benéfica para o desenvolvimento da importante microbiota intestinal (MENEGUZ et al., 2018).

Alguns materiais, como aparas de pinheiro ou carvão triturado, podem ser utilizados como substrato inerte (matriz de preenchimento), melhorando a mobilidade das larvas, facilitando mobilidade e respiração larval. A matriz de preenchimento, ao ser adicionada, pode adequar características físicas (textura, densidade e umidade), possibilitando que as larvas atinjam o dobro da profundidade máxima habitual, reduzindo indiretamente a densidade larval sobre as camadas superficiais e, conseqüentemente, a competição intraespecífica durante o consumo da dieta (JOLY e NIKIEMA, 2019).

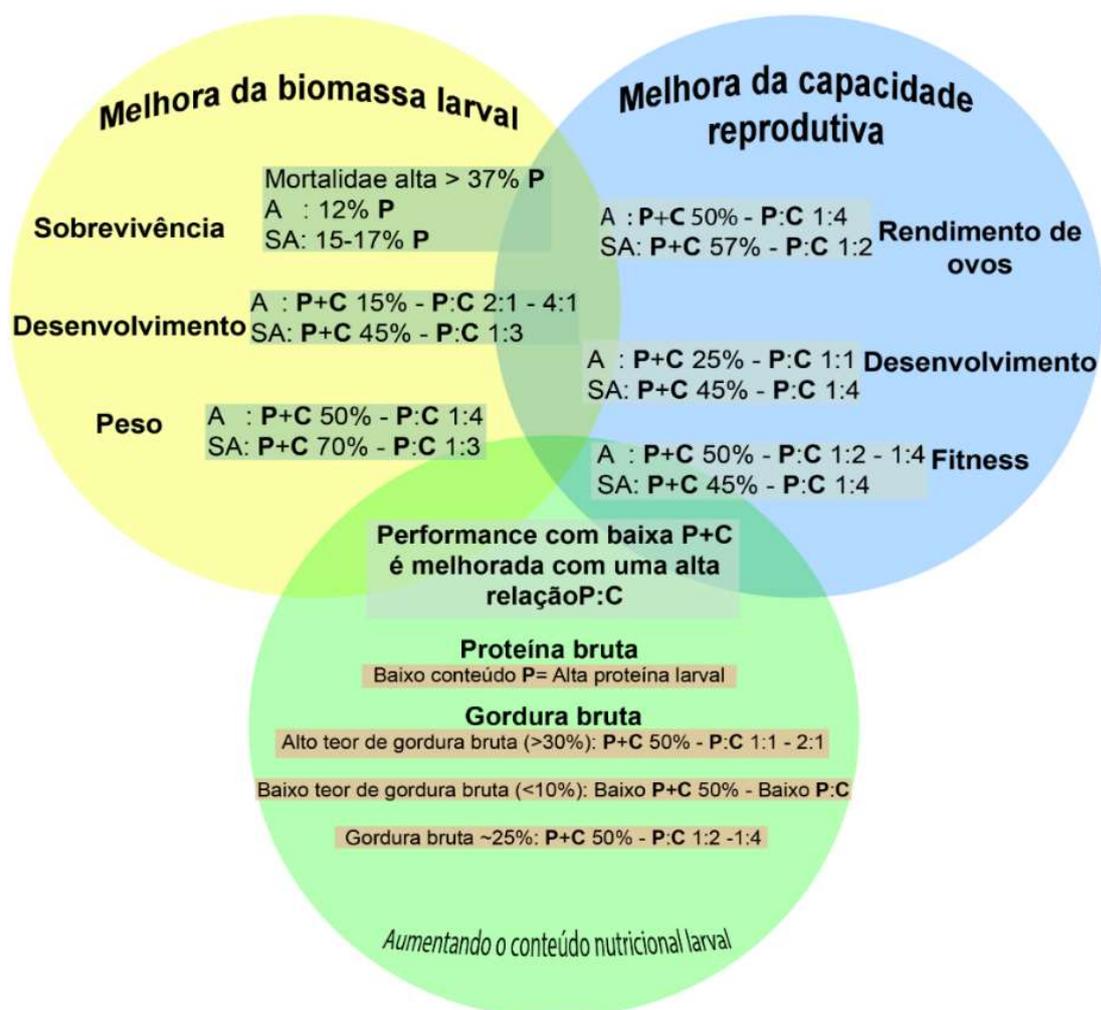
Tabela 5. Redução de substrato, bioconversão e taxa de conversão alimentar de diferentes resíduos orgânicos em biomassa de MSN (SURENDRA et al., 2020).

Substrato	Redução (M.S%)*	Bioconversão (%)	Assimilação alimentar
Fezes humanas	39.1 – 48.6	11.3 – 22.7	NA
Mistura de resíduos alimentares e fezes humanas (19:1)	68.4 – 68.8	18.9 – 19.0	NA
Palha de milho	39.9	1.4	28.6
Palhada de milho fermentada	48.4 ± 0.0	5.0b	10.3b
Resíduos de frutas e vegetais	46.7 – 60.0	4.1 – 10.8	9.3 – 12.5
Resto de comida	55.3 ± 4.1	13.9 ± 0.3	NA
Resíduos de cantinas	37.9 ± 3.8	15.3 ± 2.1	NA
Resíduos vegetais de cantinas	58.4 ± 1.4	22.7 ± 1.1	NA
Lixo de cozinha	56.0 ± 1.4	18.2 ± 0.2	NA
Lixo orgânico municipal	68.0	11.8	5.8b
Subprodutos da moenda de trigo	56.4 ± 1.2	14.9 ± 0.3	NA
Resíduos de matadouro de aves	30.7 ± 4.7	13.4 ± 0.5	NA
Resíduos de matadouro	46.3 ± 2.9	15.2 ± 1.6	NA
Mistura de resíduos de matadouro e resíduos e vegetais (1:1)	61.1 ± 10.7	14.2 ± 1.9	NA
Resíduos de raízes de cogumelos	37.3 – 42.3	5.4 – 5.6	NA

Mistura de resíduos de raízes de cogumelos e resíduos de cozinha	40.1 – 47.9	10.2 – 15.3	NA
Lodo bruto	63.3 ± 1.9	2.3 ± 0.1	NA
Lodo secundário	49.2 ± 3.7	2.2 ± 0.2	NA
Lodo digerido	13.2 ± 0.8	0.2 ± 0.0	NA
Mistura de esterco de porco, ração canina e fezes humanas (4:4:2)	55.1 ± 0.3	11.8 ± 0.3	NA
Resíduo de tofu	49.0 – 72.4	5.0 – 11.7	6.2 – 9.8
Resíduo de tofu + <i>Lactobacillus buchneri</i>	55.7 ± 0.9	6.9 ± 0.3	8.0 ± 0.3
Estrume fresco (gado leiteiro)	53.1	12.2c	4.4c
Esterco bovino	12.7 – 43.2	3.8 – 6.3	4.2 – 10.3
Esterco de aves	35.8 – 60.0	7.1 – 10.2	5.6
Misturas de esterco de leite e resíduos de tofu	32.4 – 68.3	9.7 – 15.2	3.4 – 4.4
Misturas de esterco de gado leiteiro e esterco de galinha	44.3 – 53.4	5.88 – 7.9	6.6 – 7.5
Estrume de galinha + <i>Bacillus subtilis</i>	40.5 ± 0.8	11.5 ± 0.2	NA
Esterco suíno	53.4 ± 0.3 ¹	NA	NA
	28.8 ± 0.2 ²	NA	NA
	49.7 ± 0.4 ³	NA	NA
Esterco de galinhas	61.7 ± 0.2 ¹	NA	NA
	31.8 ± 0.3 ²	NA	NA
	56.8 ± 0.4 ³	NA	NA
Esterco de gado leiteiro	57.8 ± 0.7 ¹	NA	NA
	53.2 ± 0.5 ²	NA	NA
	25.8 ± 0.2 ³	NA	NA
Esterco de gado leiteiro e frango (2:3)	42.0 ± 0.5	6.8 ± 0.0	6.1 ± 0.1
Esterco de gado leiteiro e galinha (2:3) + <i>Paenibacillus polymyxa</i> strain KMZ	41.8 ± 0.5	8.1 ± 0.3	5.2 ± 0.1
Esterco de gado leiteiro e galinha (2:3) + <i>Paenibacillus polymyxa</i> strain ZRO2	47.3 ± 0.5	9.5 ± 0.2	5.0 ± 0.2
Esterco de gado leiteiro e galinha (2:3) + <i>Bacillus</i> strains SMO1	45.5 ± 0.6	8.9 ± 0.3	5.1 ± 0.2
Esterco de gado leiteiro e galinha (2:3) + <i>Bacillus</i> strains SMO1	42.2 ± 0.2	9.1 ± 0.3	4.6 ± 0.2
Esterco de gado leiteiro e galinha (2:3) + <i>Bacillus</i> strains MRO2	48.8 ± 0.7	10.8 ± 0.0	4.49 ± 0.1
Esterco de gado leiteiro e galinha (2:3) + <i>Bacillus</i> strains MRO4	34.5 ± 1.0	10.8 ± 0.0	4.2 ± 0.2

¹ MSN (Wuhan); ²MSN (Guangzhou); ³ MSN (Texas).

*. M.S (Matéria seca)



P=Proteína
C=Carboidrato
P+C=Conteúdo
P:C=Relação
A=Dieta artificial
SA=Dieta semi artificial

Figura 7. Teores de P+C e razões P: C que melhoraram o desempenho de *Hermetia illucens* (BARRAGÁN-FONSECA, 2018).

Tabela 6. Valores e parâmetros ótimos em dietas artificiais (JOLY e NIKIEMA, 2019).

Matéria-prima	Valores ótimos	Pré-processamento e/ou otimização (sugestão)
Teor de nutrientes	Matéria-prima rica em proteínas e carboidratos (por exemplo, 21% de proteína e 21% de carboidrato); Razão C / N adequada: 10-40 (nutriente ideal equilíbrio não estabelecido).	Mistura de diferentes tipos de resíduos.
Conteúdo de fibra	Não muito alto (nenhum valor ideal definido na literatura).	Pré-Fermentação
Umidade	60-90% (peso úmido)	Desidratação, adição de água e / ou misturas de substratos
Tamanho de partícula	1-2 cm	Fragmentação
pH	5-8 (valores adequados)	Mistura de substrato e co-substratos compatíveis
Estrutura	Estrutura suficiente para permitir que as larvas se movam através da matéria-prima, consumi-la e respirar	Adição de material como matriz de preenchimento

8.1 Fermentação e microbiota associada

É comum, entre os produtores de insetos, o pré-tratamento do substrato por meio de processos fermentativos. Semelhante à silagem tipicamente empregada na dieta de animais tradicionais, a fermentação da dieta de insetos aumenta a vida útil do alimento. Resíduos orgânicos, como subprodutos provenientes do processamento de frutas, vegetais, cereais e restos de alimentos perecíveis são beneficiados com limitação do crescimento microbiano após um processo fermentativo (SURENDRA et al., 2020).

Certos tipos de microrganismos associados ao substrato e processo fermentativo são considerados co-conversores, quebrando compostos complexos em formas mais facilmente assimiláveis (SIBIKA et al., 2021).

Somroo et al. (2019) demonstrou a influência do probiótico *Lactobacillus buchneri* no ciclo de vida da *H. illucens*. Adição de *L. buchneri* aumentou a taxa de sobrevivência em 0,2%, a biomassa em 15,8 e 37,3%, reduziu o substrato em 13,6%, com uma taxa de bioconversão de 37,6%. O tempo de desenvolvimento

de larvas foi reduzido em 0,9%. Estes resultados demonstram que a adição de *L. buchneri* pode proporcionar benefícios econômicos.

9. ASPECTOS SANITÁRIOS

9.1 Produção de biomassa destinada a alimentação animais na EU

O substrato ofertado é um dos pré-requisitos mais importantes em criações de insetos. A União Europeia regulamentou e normatizou mais de 900 matérias-primas destinadas para este fim (PINOTTI e OTTOBONI, 2021).

Os principais substratos aplicados, na atualidade, na produção de insetos, em território europeu, baseiam-se em rações (utilizadas em criações de coelho, porco e frango), sobras industriais ou alimentos processados que não tenham entrado na cadeia de consumo, produtos com deformações mecânicas, alimentos fora do prazo de validade produzidos em conformidade com a legislação alimentar e co-produtos agrícolas de origem não animal (EFSA SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015).

9.2 Organismos potencialmente problemáticos em criações de *H. illucens*

Doenças são um enorme problema e grande preocupação nas criações comerciais de *H. illucens* (MACIEL-VERGARA et al., 2021).

Animais domesticados ou separados de seus habitats naturais são, em grande parte, susceptíveis a doenças infecciosas, e os insetos não são exceção a essa regra. Patógenos, além de causarem um enorme aumento das taxas de mortalidade, também podem exercer efeitos subletais, reduzindo o seu desempenho. Por exemplo, infecções levam à redução de fertilidade, capacidade de locomoção e maior vulnerabilidade a predadores. Em sistemas de produção de grande escala, ambos efeitos letais e subletais causados por agentes entomopatogênicos são sérios problemas econômicos em ambiente artificial. O substrato é contaminado mais frequentemente com patógenos e trabalhadores podem carregar vários tipos de microrganismos patogênicos

proveniente de insetos fora das instalações e/ou vertebrados. Em um contexto ecológico mais amplo, o desenvolvimento de doenças de insetos nos sistemas de produção pode espalhar-se a partir de instalações em populações de insetos não-alvo, que então afeta a produção de interesse. Finalmente, também há um risco potencial para a saúde humana se o alimento ou ração à base de inseto estiver contaminada com microrganismos prejudiciais (por exemplo, de insetos criados com estrume) (EILENBERG et al., 2015).

Os insetos abrigam uma grande diversidade de patógenos. Os organismo entomopatogênicos podem ser especialistas, infectando apenas um ou algumas espécies taxonomicamente próximas, como o gênero de fungos *Strongwellsea*, parasitas de *Coenosia* spp. (Muscidae), ou eles podem ser generalistas como muitos fungos Hypocreales (MACIEL-VERGARA et al., 2021).

As pesquisas sobre entomopatógenos em MSN ainda não receberam muita atenção em comparação com outras espécies de dípteros. Isso ocorre em parte porque, até recentemente, não era considerada uma espécie comercialmente importante. Outra razão é que as larvas de MSN são conhecidas por serem altamente resistentes às infecções e doenças. A ausência de qualquer documentação de surto de doença na produção de MSN é surpreendente (JOOSTEN et al., 2020).

Adultos de *H. illucens* são suscetíveis à infecção pelo fungo *Beauveria bassiana* (Ascomycota; ordem Hypocreales) como experimentos em laboratório demonstram (Figura 8) (LECOCQ, 2019).

Vários isolados do fungo patogênico de insetos são utilizados como importante agentes de controle biológico. Esta espécie de fungo oportunista e generalista vem infectando muitas espécies de insetos. Muitas espécies de dípteros são naturalmente infectados por *B. bassiana*, incluindo moscas da família Muscidae, como: *Musca domestica*, *Musca autumnalis*, *Stomoxys calcitrans*, *Haematobia irritans*, *Haematobia stimulans*, *Hydrotaea* spp. e *Morellia* spp. A utilização de *B. bassiana* no controle biológico e sua ocorrência natural em hospedeiros infectados é um risco potencial em instalações de MSN (LECOCQ et al., 2021).

Os agentes entomopatógenos capazes de infectar *H. illucens*,

provocando efeitos negativos à MSN precisam ser identificados e caracterizados. Infecções primárias naturais por fungos entomopatogênicos registradas em dípteros são demonstradas nas (Tabela 7 e 8) (JOOSTEN et al., 2020).

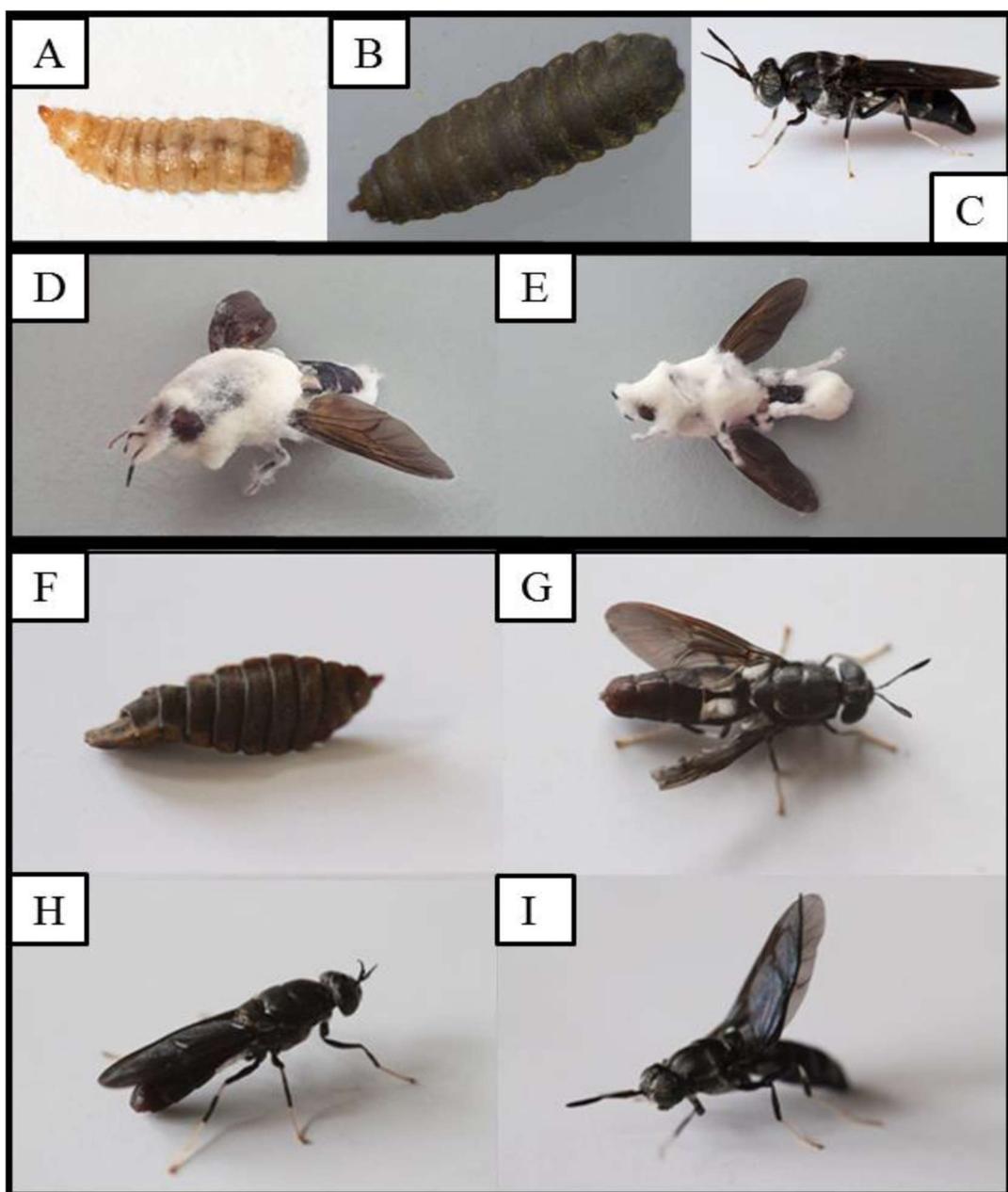


Figura 8. (A-C) Indivíduos saudáveis; (A) larva; (B) pupa e (C) adulto. (D e E) Infecções fúngicas por *Beauveria bassiana*. Distúrbios no desenvolvimento com causas desconhecidas (F-I) (LECOQC, 2019).

Tabela 7. Lista de infecções naturais em Dípteros causadas por fungos entomopatogênicos de Entomophthorales (JOOSTEN et al., 2020).

Entomophthorales	Subordem	Família	Afeta
<i>Batkoa</i> spp.	Nematocera	Cecidomyiidae	Adultos
		Chironomidae	Adultos
		Limoniidae	Adultos
		Simuliidae	Adultos
		Tipulidae	
<i>Conidiobolus</i> spp.	Brachycera	Empididae	Adultos
		Rhagionidae	Adultos
	Cyclorrhapha	Psilidae	Adultos
	Nematocera	Chironomidae	Adultos
		Culicidae	Adultos
<i>Entomophaga</i> spp.		Limoniidae	Adultos
	Cyclorrhapha	Tipulidae	Adultos
	Nematocera	Psilidae	Adultos
		Chironomidae	Adultos
		Limoniidae	Adultos
<i>Entomophthora</i> spp.		Ptychopteridae	Adultos
		Tipulidae	Adultos
	Brachycera	Rhagionidae	Adultos
		Tabanidae	Adultos
	Cyclorrhapha	Calliphoridae	Adultos
	Nematocera	Cecidomyiidae	Adultos
		Chironomidae	Adultos
		Culicidae	Adultos
		Sciaridae	Adultos
		Simuliidae	Adultos
		Tipulidae	Adultos
	Brachycera	Empididae	Adultos
		Hybotidae	Adultos
Cyclorrhapha	Anthomyiidae	Adultos	
	Calliphoridae	Adultos	
	Chloropidae	Adultos	
	Fanniidae	Adultos	
	Muscidae	Adultos	

		Psilidae	Adultos
		Scatophagidae	Adultos
		Syrphidae	Adultos
		Bibionidae	
	Nematocera		Adulto
		Cecidomyiidae	Pupa e adulto
		Chaoboridae	Adulto
		Chironomidae	Adulto
		Culicidae	Adulto
<i>Erynia sensu lato</i> (<i>Erynia</i> , <i>Pandora</i> , <i>Furia</i>)		Limoniidae	Adulto
		Psychodidae	Adulto
		Simuliidae	Adulto
		Sciaridae	Adulto
		Tipulidae	Adulto
	Cyclorrhapha	Anthomyiidae	Adulto
		Calliphoridae	Adulto
		Chloropidae	Adulto
		Lauxaniidae	Adulto
		Muscidae	Adulto
		Psilidae	Adulto
		Scatophagidae	Adulto
<i>Strongwellsea</i> spp.	Cyclorrhapha	Anthomyiidae	Adulto
		Calliphoridae	Adulto
		Fanniidae	Adulto
		Muscidae	Adulto
	Nematocera	Sciaridae	Adulto
		Tipulidae	Adulto
<i>Zoophthora</i> spp.	Brachycera	Opomyzidae	Adulto
	Cyclorrhapha	Dryomyzidae	Adulto

Tabela 8. Lista de infecções naturais em Dípteros causadas por fungos entomopatogênicos Hypocreales (JOOSTEN et al., 2020)

Hypocreales	Subordem	Família	Afeta	
<i>Beauveria</i> spp.	Cyclorrhapha	Ephydriidae	Adulto e pupa	
		Heleomyzidae	Adulto	
		Muscidae	Adulto	
<i>Harposporium</i> spp.	Cyclorrhapha	Drosophilidae	Adulto	
<i>Hirsutella</i> spp.	Cyclorrhapha	Heleomyzidae	Adulto	
		Nematocera	Bibionidae	Adulto
		Cecidomyiidae	Adulto	
		Psychodidae	Adulto	
		Tipulidae	Adulto	
<i>Isaria</i> spp.	Brachycera	Stratiomyidae	Adulto	
	Cyclorrhapha	Agromyzidae	N. A	
		Glossinidae	N. A	
		Muscidae	Adulto	
		Tachinidae	N. A	
<i>Lecanicillium</i> spp.	Nematocera	Sciaridae	Adulto e larva	
	Cyclorrhapha	Muscidae	Adulto	
<i>Metarhizium</i> spp	Cyclorrhapha	Anthomyiidae	Larva	
		Lonchaeidae	Adulto	
		Muscidae	Adulto	
<i>Ophiocordyceps</i> spp.	Cyclorrhapha	Muscidae	Adulto	
<i>Polycephalomyces</i> spp.	Cyclorrhapha	Heleomyzidae	Adulto	
<i>olypocladium</i> spp.	Cyclorrhapha	Anthomyiidae	Larva e pupa	

9.1 Artrópodes indesejáveis

A produção de MSN requer materiais orgânicos atrativos para outros artrópodes indesejados. Esses artrópodes “pragas” são potencialmente problemáticos; a presença desses organismos leva a diversos problemas operacionais e sanitários (Tabela 9) (REGUZZI. et al, 2021).

Tabela 9. Artrópodes indesejáveis *Hermetia illucens* (REGUZZI et al., 2021).

Espécie	Ordem	Família	Problema
<i>Caloglyphus berlesei</i>	Acariformes	Astigmata	Associado a microsporídios (<i>tubulinosema.spp</i>)
<i>Monomorium pharaonis</i>	Hymenoptera	Formicidae	Atacam ovos e larvas recém-eclodidas
<i>Muscina stabulans</i>	Diptera	Muscidae	Larvas predadoras facultativas.
<i>Megaselia scalaris</i>	Diptera	Phoridae	Competição, colonização do substrato e parasita facultativo Pupas se aderem as superfícies causando problemas operacionais.

9.2 Parasitoides

Grandes sistemas, demandam quantidades consistentes de larvas na produção de biomassa, e a presença de parasitoides no ambiente produtivo constitui uma séria restrição à produção de ovos (Tabela 10) (DEVIC e MAQUART, 2015).

A pupação é um estágio de desenvolvimento muito sensível. Até agora, estão documentadas somente três espécies de parasitoides de *H.illucens*. O primeiro a ser documentado pertence ao gênero *Trichopria* spp., a segunda espécie problemática é *Eniacomorpha hermetiae* Delvare, uma vespa descrita em 2019; a terceira espécie e mais preocupante é *Dirhinus giffardii* (Figura 9), identificada em 2015, afetando o desenvolvimento de pupas em sistemas de produção de MSN em Gana e Mali. No entanto, nenhum parasitoide citado foi formalmente documentado parasitando pupas com mais de 8 dias de idade. *D.*

giffardii, em especial, pode impactar fortemente o surgimento de pupas de *H. Illucens*, causando uma redução de até 70,7% da produção e taxas de incubação de apenas 8,5% nos piores cenários (MAQUART et al., 2020)



Figura 9. Espécimes de *Dirhinus giffardii* coletados em pupas de *Hermetia illucens*, demonstrando diferentes estágios de desenvolvimento (da esquerda para a direita, um adulto, duas pupas e duas larvas) (MAQUART et al., 2020).

Tabela 10. Parasitoides preocupantes em criações de *Hermetia illucens*.

Espécie	Ordem	Família	Afeta	Referência
<i>Pachycrepoideus</i> spp *	Hymenoptera	Pteromalidae	Parasitoide generalista de dípteros	Maquart et al., 2020
<i>Chalcis</i> spp	Hymenoptera	Chalcididae	Stratiomyidae	Hörren e Enss, 2017
<i>Trichopria</i> spp	Hymenoptera	Diapriidae	Parasitoide generalista de dípteros	Yoder, 2010
<i>Eniacomorpha hermetiae</i>	Hymenoptera	Chalcidida	Larvas e pupas de <i>H.Illucens</i>	Delvare et al., 2019
<i>Dirhinus giffardii</i>	Hymenoptera	Chalcididae	Larvas e pupas de <i>H.Illucens</i>	Maquart et al., 2020

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

H. illucens nos últimos anos passou a ser “joia da coroa” na entomocultura tecnificada. Sua capacidade de colonizar uma ampla variedade de materiais orgânicos em conjunto com uma grande rusticidade e conversão alimentar, a tornaram uma espécie de grande interesse ambiental e econômico.

Conhecimentos profundos sobre sua bioecologia, desenvolvimento e reprodução estão em ascensão para grandes aplicações comerciais e industriais. Portanto, pontos como estrutura genética, relações simbióticas, adequação dietética, nutrição, ambiente ótimo (criação/reprodução), pré tratamentos, pós tratamento, identificação e métodos de controle de inimigos naturais, emprego adequado de microrganismos funcionais, tecnologias de processamento de biomassa, conservação e gestão de matérias-primas são temas incipientes na cultura da MSN, que passaram ser extensamente abordados em artigos nos últimos dois anos.

Como qualquer outro animal tradicional, todas as etapas do processo devem estar adequadas a legislação vigente, respeitando boas práticas de fabricação (BPF), princípios de bem-estar animal e o sistema de Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) conforme exigências comerciais e órgãos sanitários.

O emprego da MSN na alimentação animal em países ocidentalizados ainda sofre com desconfianças a respeito de sua biossegurança. Mas pouco a pouco a MSN vem ganhando mercado e se mostrando segura para consumo animal se criada sob condições salubres. De maneira geral, a literatura aponta ótimas projeções para entomocultura de MSN em mercados regulamentados.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRAGAN-FONSECA et al. 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, n. 2, p. 148-159, 2019.

BARRAGÁN-FONSECA, K. B. **Flies are what they eat: Tailoring nutrition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) for larval biomass production and fitness**. Tese de Doutorado. Wageningen University. 2018.

BOGDAN et al. Body weight loss of black soldier fly *hermetia illucens* (diptera: stratiomyidae) during development in non-feeding stages: implications for egg clutch parameters. **European journal of entomology**. 2020.

BONELLI et al. Structural and functional characterization of *Hermetia illucens* larval midgut. **Frontiers in physiology**, v. 10, p. 204, 2019.

BOSCH et al. Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. **Journal of insects as food and feed**, v. 6, n. 2, p. 95-109, 2020.

BRAMMER, C. A.; VON DOHLEN, C. D. Evolutionary history of Stratiomyidae (Insecta: Diptera): The molecular phylogeny of a diverse family of flies. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 43, n. 2, p. 660-673, 2007.

CARUSO et al. **technical handbook of domestication and production of diptera black soldier fly (bsf), *Hermetia illucens*, stratiomyidae**. 2014.

CHARLTON et al. Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, n. 1, p. 7-16, 2015.

ČIČKOVÁ et al. The use of fly larvae for organic waste treatment. **Waste management**, v. 35, p. 68-80, 2015.

COHEN, A. C. **Insect diets: science and technology**. Crc press, 2015.

CÓRDOBA-AGUILAR et al. **Insect behavior: from mechanisms to ecological and evolutionary consequences**. Oxford University Press, 2018.

DADD, R. H. **arthropod nutrition**, in: florkin, m. And scheer, b. T. (eds.), *chemical zoology*, v (a), 35–95. 1970.

DE SMET et al. Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential. **Applied and environmental microbiology**, v. 84, n. 9, 2018.

DELVARE et al. Description of Eniacomorpha Hermetiae Delvare Sp. N. (Hymenoptera, Chalcidoidea, Chalcididae) A Pupal Parasitoid of Hermetia Illucens (L.) (Diptera, Stratiomyidae), And A Potential Threat to Mass Production Of The Fly As A Feed Supplement For Domestic Animals. **Zootaxa**, V. 4638, N. 2, P. 237-254, 2019.

DEVIC, E.; MAQUART, P.; *Dirhinus giffardii* (Hymenoptera: Chalcididae), parasitoid affecting black soldier fly production systems in West Africa. **Entomologia**, v. 3, n. 1, 2015.

DIENER et al. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. **Waste and biomass valorization**, v. 2, n. 4, p. 357-363, 2011.

DZEPE et al. Influence of larval density, substrate moisture content and feedstock ratio on life history traits of black soldier fly larvae. **Journal of**

insects as food and feed, v. 6, n. 2, p. 133-140, 2020.

EFSA SCIENTIFIC COMMITTEE. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. **EFSA Journal**, v. 13, n. 10, p. 4257, 2015.

EILENBERG et al. Diseases in insects produced for food and feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, n. 2, p. 87-102, 2015.

ELER, J. P. **Teorias e métodos em melhoramento genético animal: seleção**. Pirassununga: FZEA/USP, 2017.

ERIKSSON, T.; PICARD, C. J. Genetic and genomic selection in insects as food and feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 7, n. 5, p. 661-682, 2021.

FOWLES, T. M.; NANSEN, C. Artificial selection of insects to bioconvert pre-consumer organic wastes. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 3, p. 31, 2019.

FOWLES, T. M.; NANSEN, C. Insect-based bioconversion: value from food waste. In: **food waste management**. Palgrave macmillan, cham. P. 321-346. 2020.

GEORGESCU et al. Body weight loss of black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) during development in non-feeding stages: Implications for egg clutch parameters. **European Journal of Entomology**, v. 117, p. 216-225, 2020.

GIUNTI et al. Male courtship behaviour and potential for female mate choice in the black soldier fly *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae). **Entomologia generalis**, v. 38, n. 1, p. 29-46, 2018.

HEDRICK, P. W.; GARCIA-DORADO, A. Understanding inbreeding depression, purging, and genetic rescue. **Trends in ecology & evolution**, v. 31, n. 12, p. 940-952, 2016.

HOC et al. Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. **Plos one**, v. 14, n. 4, p. E0216160, 2019.

HOFFMANN et al. Patterns of genetic diversity and mating systems in a mass-reared black soldier fly colony. **Insects**, v. 12, n. 6, p. 480, 2021.

HOLMES et al. Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **Environmental entomology**, v. 41, n. 4, p. 971-978, 2012.

HOLMES et al. substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **ENVIRONMENTAL ENTOMOLOGY**, V. 42, N. 2, P. 370-374, 2013.

HÖRREN, T.; ENSS, J. Beobachtungen zu *Chalcis sispes* (Linnaeus, 1761) (Hymenoptera: Chalcidoidea: Chalcididae) im Altrheingebiet bei Emmerich, Nordrhein-Westfalen nebst Nachweisen einiger Waffenschwebfliegen (Diptera: Stratiomyidae).

HOUSE, H. L. The Role of Nutritional Principles in Biological Control¹. **The Canadian Entomologist**, v. 98, n. 11, p. 1121-1134, 1966.

ISIBIKA et al. Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. **Journal of cleaner production**, v. 318, p. 128570, 2021.

ISIBIKA et al. Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. **Waste management**, v. 100, p. 151-160, 2019.

JOLY, G.; NIKIEMA, J. **Global experiences on waste processing with black soldier fly (*Hermetia illucens*): from technology to business**. Iwmi, 2019.

JOOSTEN et al. Review of insect pathogen risks for the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and guidelines for reliable production. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 168, n. 6-7, p. 432-447, 2020.

JULITA et al. Mating success and re-productive behavior of black soldier fly *Hermetia illucens* L. (Diptera, Stratiomyidae) in tropics. **Journal of entomology**, v. 17, n. 3, p. 117-127, 2020.

LALANDER et al. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Journal Of Cleaner Production**, V. 208, p. 211-219, 2019.

LECOCQ et al. *Hermetia illucens* adults are susceptible to infection by the fungus *Beauveria bassiana* in laboratory experiments. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 7, n. 1, p. 63-68, 2021.

LECOCQ, A. Diseases and disorders in the Black Soldier Fly (BSF), *Hermetia illucens*. **Diseases and disorders in the Black Soldier Fly (BSF), *Hermetia illucens***, University of Copenhagen, 2019.

LIEVENS et al. Chemical safety of black soldier fly larvae (*hermetia illucens*), knowledge gaps and recommendations for future research: a critical review. **Journal of insects as food and feed**, p. 1-14, 2021.

LIEW et al. A review on recent disposal of hazardous sewage sludge via anaerobic digestion and novel composting. **Journal of hazardous materials**, v. 423, p. 126995, 2021.

LOHRI et al. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low-and middle-income settings. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 16, n. 1, p. 81-130, 2017.

MACIEL-VERGARA et al. Diseases in edible insect rearing systems. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 7, n. 5, p. 621-638, 2021.

MAQUART et al. *Dirhinus giffardii* (Hymenoptera, Chalcididae), affecting Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) (Diptera, Stratiomyidae) production systems in Tanzania, review on its hosts and notes on its worldwide repartition. **Bulletin de la Société entomologique de France**, v. 125, n. 2, p. 167-172, 2020.

MENEGUZ et al. Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larval development. **PloS one**, v. 13, n. 8, p. e0202591, 2018.

NAGOSHI, R. N. Oogenesis, pp. 1594-1598. In j. Capinera [ed.], **The encyclopedia of entomology**. Kluwer academic publishers, Dordrecht. 2004.

NATION SR, JAMES L. **Insect physiology and biochemistry**. Crc press, 2015.

OJHA et al. Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. **Waste Management**, V. 118, P. 600-609, 2020

OONINCX et al. Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED-based

illumination to enhance indoor reproduction. **Journal of insect physiology**, v. 95, p. 133-139, 2016.

OONINCX, D. G. **Insects as food and feed**: Nutrient composition and environmental impact. Wageningen university. 2015.

ORTIZ et al. Insect mass production technologies. In: **Insects as sustainable food ingredients**. Academic Press, 2016. p. 153-201.

PANIZZI, A. R., & PARRA, J. R. P. A bioecologia e a nutrição de insetos como base para o manejo integrado de pragas. **Embrapa livro científico (ALICE)**. 2009

PINOTTI, L.; OTTOBONI, M. **Substrate as insect feed for bio-mass production**. 2021

REGUZZI, M. C. et al. Unwelcome guests at farms breeding the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera Stratiomyidae). **Journal of Insects as Food and Feed**, p. 1-6, 2021.

Rhode, Et al. Genetic and phenotypic consequences of early domestication in black soldier flies (*Hermetia illucens*). **Animal genetics**, v. 51, n. 5, p. 752-762, 2020.

ROIG-JUÑENT et al. Biodiversidad de artrópodos argentinos. **Editorial Sociedad Entomológica Argentina, Mendoza**, 2014.

SHEPPARD et al. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). **Journal of medical entomology**, v. 39, n. 4, p. 695-698, 2002.

SIBIKA et al. Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. **Journal of cleaner production**, v. 318, p. 128570, 2021.

SIMPSON, S. J.; SIMPSON, C. L. The mechanisms of nutritional compensation by phytophagous insects. In: **insect-plant interactions**. Crc press. p. 111-160. 2017.

SOGARI et al. The potential role of insects as feed: a multi-perspective review. **Animals**, v. 9, n. 4, p. 119, 2019.

SOMROO et al. Influence of *Lactobacillus buchneri* on soybean curd residue co-conversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for food and feedstock production. **Waste Management**, v. 86, p. 114-122, 2019.

STÅHLS et al. The puzzling mitochondrial phylogeography of the black soldier fly (*Hermetia illucens*), the commercially most important insect protein species. **Bmc evolutionary biology**, v. 20, p. 1-10, 2020.

SURENDRA et al. Rethinking organic wastes bioconversion: evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) (bsf). **Waste management**, v. 117, p. 58-80, 2020.

SWINSCOE et al. The microbial safety of seaweed as a feed component for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **Food microbiology**, v. 91, p. 103535, 2020.

TELETCHÉA, Fabrice. *Animal Domestication: A Brief Overview*. 2019

TOMBERLIN et al. 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.

TOMBERLIN et al. Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental entomology*, v. 38, n. 3, p. 930-934, 2009.

TOMBERLIN, J. K.; SHEPPARD, D. C. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. **Journal of entomological science**, v. 37, n. 4, p. 345-352, 2002.

TOMBERLIN, J. K.; VAN HUIS, A. Black soldier fly from pest to 'crown jewel' of the insects as feed industry: an historical perspective. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 6, n. 1, p. 1-4, 2020.

TRUDGILL et al. Thermal time—concepts and utility. **Annals of applied biology**, v. 146, n. 1, p. 1-14, 2005.

UR REHMAN et al. Enhanced bioconversion of dairy and chicken manure by the interaction of exogenous bacteria and black soldier fly larvae. **Journal of environmental management**, v. 237, p. 75-83, 2019.

VAN CAMPENHOUT, L. Fermentation technology applied in the insect value chain: making a win-win between microbes and insects. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 7, n. 4, p. 377-381, 2021.

VAN HUIS et al. **Edible insects: future prospects for food and feed security**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.

VAN HUIS, A. Manure and flies: biodegradation and/or bioconversion. 2019.

WHITMAN et al. **Phenotypic plasticity of insects: mechanisms and consequences**. Science publishers, inc., 2009.

XIA et al. Antimicrobial peptides from black soldier fly (*Hermetia illucens*) as potential antimicrobial factors representing an alternative to antibiotics in livestock farming. **Animals**, v. 11, n. 7, p. 1937, 2021.

YODER, M. J. Advances in diapriid (Hymenoptera: Diapriidae) systematics, with contributions to cybertaxonomy and the analysis of rna sequence data. **Tese de doutorado**. Texas University. 2010.

ZHAN et al. "Genomic landscape and genetic manipulation of the black soldier fly *Hermetia illucens*, a natural waste recycler." **Cell research**, vol. 30, no. 1, pp. 50–60. 2020.

ZHENG et al. Bacteria mediate oviposition by the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). **Scientific reports**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2013.

ZHOU et al. Developmental and waste reduction plasticity of three black soldier fly strains (Diptera: Stratiomyidae) raised on different livestock manures. **Journal of Medical Entomology**, v. 50, n. 6, p. 1224-1230, 2013.