

FERTILIZANTES DE EXCREMENTOS DE INSETOS- UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE O POTENCIAL DE PRODUÇÃO, APLICAÇÃO E VIABILIDADE

INSECT EXCREMENT FERTILIZERS: A SYSTEMATIC REVIEW ON PRODUCTION POTENTIAL, APPLICATION, AND VIABILITY

Efraime da Graça Armando Gobeia

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronegócios da Universidade Federal do
Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail:egobeia@gmail.com

Paulo Dabdab Waquil

Professor dos Programas de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural e em Agronegócios da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Email:waquil@ufrgs.br

Edson Talamini

Professor dos Programas de Pós-graduação em Economia e Agronegócios
na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Departamento de Economia e
Relações Internacionais. Grupo de pesquisa em Bioeconomia. Email:edson.talamini@ufrgs.br

**Grupo de Trabalho (GT): <<GT4 Questão Ambiental ,Agroecologia e
Sustentabilidade>>**

Resumo

O presente artigo tem o objetivo de sistematizar informações que permitam a otimização e aplicação de fertilizantes de excrementos de inseto para produção agrícola sustentável. Assim uma revisão sistemática da literatura foi realizada com base no protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews (PRISMA). Após busca nas bases de dados da Scopus e Web of Science, aplicando-se critérios de inclusão e exclusão, resultaram para análise final 43 artigos científicos em língua inglesa. Os resultados evidenciam que estes fertilizantes originam resultados positivos nos mais diversos indicadores agrônômicos das culturas quando usados na adubação. Doravante desafios continuam prementes na realização de mais pesquisas de campo relacionadas a taxas ótimas de aplicação destes fertilizantes, viabilidade econômica e mais espécies de insetos diferentes da *Hermetia illucens*.

Palavras-chaves: Sustentabilidade. Circularidade. Fertilizantes orgânicos.

Abstract:

*This article aims to systematize information that allows the optimization and application of insect excrement fertilizers for sustainable agricultural production. Therefore, a systematic review of the literature was carried out based on the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews (PRISMA) protocol. After searching the Scopus and Web of Science databases, and applying inclusion and exclusion criteria, 43 scientific articles in English resulted in the final analysis. The results show that these fertilizers positively affect the most diverse agronomic indicators of crops when used in fertilization. From now on, challenges remain pressing in carrying out more field research related to optimal application rates of these fertilizers, economic viability and more species of insects other than *Hermetia illucens**

Key-words: Sustainability. Circularity. Organic fertilizers.

1. Introdução

Prevê-se que a população mundial aumente para cerca de 8,1 bilhões de pessoas até 2025 e 9,6 bilhões até 2050 (Blakstad *et al.*, 2023). Para alimentar essa população, estima-se que a produtividade agrícola deve aumentar 70% até 2050 (Tripathi *et al.*, 2019). Doravante, para o alcance desse objetivo de produção agrícola grandes mudanças no sistema agrícola global são inevitáveis (Blakstad *et al.*, 2023). Atualmente, a agricultura global baseia-se

principalmente no uso de fertilizantes químicos e pesticidas (Calabi-Floody *et al.*, 2018). Ambas as estratégias apresentam sérios riscos ambientais e à saúde devido aos graves problemas de poluição e toxicidade que causam (Srivastav, 2020). No caso dos fertilizantes químicos, produtos químicos poluentes e gases de efeito estufa são liberados em sua fabricação, e também causam eutrofização das águas, ou degradação dos solos (Kumar *et al.*, 2022). Estes pesticidas químicos afetam diretamente a saúde humana, ocasionando problemas como imunotoxicidade, distúrbios respiratórios, impactos reprodutivos, interrupção hormonal, carcinogenicidade, entre outros (Rana; Sharma; Tyagi, 2019). Por via disso, alternativas à fertilização mineral que sejam mais sustentáveis são urgentes. Um exemplo de alternativas a fertilização inorgânica mineral são os biofertilizantes provenientes dos excrementos de alguns tipos específicos de insetos. Doravante faltam informações claras sobre a viabilização destes fertilizantes desde sua produção até sua aplicação em campo e por via disso, este estudo tem o objetivo principal de contribuir para a sistematização de informações que permitam a otimização, aplicação e viabilidade destes fertilizantes de excrementos de insetos na produção de culturas agrícolas a partir de uma revisão sistemática da literatura.

2. Metodologia da pesquisa

2.1. Protocolo da revisão sistemática

Para o levantamento das principais constatações sobre a produção, uso e aplicação dos fertilizantes de excrementos de insetos, esta pesquisa realizou uma revisão sistemática com base no protocolo PRISMA. Foi feita inicialmente a definição da questão central da pesquisa e dos termos de busca apropriados nas bases de dados. Seguidamente e após busca inicial foi feita a triagem inicial dos artigos e verificação do enquadramento dos artigos nos objetivos do estudo, ou seja, a etapa de avaliação qualitativa. E por fim foi feita a etapa de extração de dados.

2.1.1 Pergunta de pesquisa, bases de dados e termos de pesquisa

Com o objetivo de identificar os aspectos centrais relacionados a viabilização do uso e aplicação dos fertilizantes de excrementos de insetos foram definidas as seguintes perguntas de pesquisa:

1. Quais as taxas ótimas para aplicação dos fertilizantes de excrementos dos insetos no solo?
2. Qual a dieta alimentar segura que deve ser aplicada aos insetos de modo a que produzam excrementos de fertilizantes ricos e seguros?
3. Quais as espécies de insetos que deverão ser usadas para a produção do fertilizante de excremento de inseto?
4. Quais os rendimentos obtidos pelas culturas com aplicação dos fertilizantes de excrementos de inseto?
5. Quais os benefícios econômicos resultantes da produção desses insetos como matéria-prima para produto agrícola comercializável?
6. Quais as espécies de insetos que podem servir de ração para produção pecuária como prática de agricultura sustentável?
7. Se os micróbios intestinais destes insetos usados para produção dos fertilizantes de excrementos podem degradar toxinas provenientes da dieta alimentar?
8. Quais as possíveis sinergias entre os fertilizantes de excrementos de insetos e fertilizantes minerais?

Para a prossecução do estudo foram selecionadas as bases de dados da *Scopus* e da *web of Science* de modo a abranger algumas das principais editoras, como a Elsevier, Springer Nature e outras. Seguidamente foi realizada a etapa de busca dos artigos nas bases de dados. Para definição dos termos de busca e operadores booleanos, foram usados um conjunto de palavras-chaves entre aspas (") para palavras compostas e aplicou-se os operadores booleanos *AND* e *OR*. Assim as palavras chaves utilizadas para a prossecução da busca foram: Título, abstract e resumo ((*frass fertilizer**)) *OR* ((*Insect based agrifood waste**)) *OR* ((*Insect based bioconversion**)) *OR* ((*Insect waste bioconversion**)) *OR* ((*Insect biorefinery**)). Estes termos da estratégia de busca foram selecionados após a análise de alguns artigos sobre o tema em questão. Seguidamente e como meio de extração e seleção dos artigos para o estudo, 3 critérios foram utilizados para a exclusão de artigos que não se enquadravam no escopo da pesquisa: 1) livros e capítulos de livros, artigos de congressos e ou conferências que não incluem revisão por pares; 2) artigos duplicados por estarem indexados a ambas bases de dados; 3) artigos escritos em outros idiomas que não o inglês, por ser este o idioma mais usado na maioria das revistas científicas com alto fator de impacto (Morrison *et al.*, 2012). Não foi aplicado nenhum critério relacionado ao tempo.

2.1.2 Pesquisa na base de dados e seleção preliminar

A revisão sistemática foi realizada por três (3) revisores independentes e planilhas do Microsoft Excel e o software Zotero© foi utilizado como ferramenta de apoio. O software ajudou a evitar a duplicação de artigos. Nas planilhas do Excel foram registados dados considerados relevantes em cada uma das etapas da pesquisa. A busca nas bases de dados resultou em um total de 905 documentos (com duplicatas) resultantes da soma de 459 documentos da *Web of Science* e 446 documentos da *Scopus*. Destes, 299 documentos duplicados foram removidos a partir do software Zotero©. Adiante foram excluídos mais 55 artigos que pertenciam ao critério 1), e estes arquivos foram identificados como conferências ou congressos (30), livros e capítulos de livros (24). Ainda na fase de triagem após a leitura dos títulos, resumos e palavras-chaves foram descartados outros 508 artigos que não se enquadravam no escopo da pesquisa e não estavam relacionados ao objetivo proposto. Assim quarenta e três (43) foram elegíveis. Todos estes artigos escolhidos seguiram os critérios 1,2 e 3 definidos na pesquisa.

2.1.3 Avaliação de conteúdo

Dois grupos de questões foram utilizadas na etapa de seleção e elegibilidade dos conteúdos dos 43 artigos usados na pesquisa. Inicialmente, e como forma de dar primazia as questões do grupo 1, foi feita a leitura parcial dos artigos procurando uma resposta positiva as questões deste grupo 1. A maior parte dos artigos selecionados foram artigos empíricos (com exceção de alguns resumos), pois estes normalmente verificam o funcionamento de determinado fenômeno. Seguidamente e para a composição da seleção final dos artigos pelo menos uma resposta das questões do grupo 2 deveria ser positiva. Assim, após a aplicação dos dois grupos de questões, 43 artigos foram incluídos nesta revisão e seus resultados estão descritos.

A posterior foi efetuada a análise descritiva preliminar e análise bibliométrica dos 43 artigos selecionados para o estudo. A análise descritiva dos artigos foi realizada a partir do comando de frequência de palavras do software NVivo versão 14.00. O NVivo é um software que possibilita a organização e análise de documentos, auxiliando na compilação e organização de material não estruturado. Essa compilação permite dar uma ideia da tendência dos assuntos mais abordados nos artigos selecionados. Acrescido a isso também foi realizada uma análise

bibliométrica e descritiva dos artigos, apresentando-se os países onde as pesquisas foram realizadas, o ano de publicação dos artigos, periódicos e o enquadramento das questões desta pesquisa nesses artigos.

3. Resultados

3.1. Análise descritiva

Quando se faz a distribuição dos artigos por ano, autor, periódico e país de origem da pesquisa (Tabela 1), pode-se observar que o ano de 2023 foi aquele que apresentou maior número de publicações sobre os fertilizantes de excrementos de insetos, apesar de mesmo antes em 2018 terem sido realizadas algumas publicações a respeito do tema. No que toca a origem das pesquisas publicadas, os dados mostram que nos países dos 5 continentes (África, América, Europa, Ásia e Austrália) foram feitas publicações sobre os fertilizantes de resíduos de insetos, sendo que os destaques vão para o Quênia em África e para a China na Ásia como os dois países com maior número de publicações neste âmbito. Mas também destaque vai para o continente europeu como sendo o continente com mais publicações como um todo. No que toca aos periódicos, destaque vai para o *Journal of Cleaner Production* como sendo aquele com um dos maiores fatores de impacto e no caso de 11.1.

Tabela 1. Alocação dos artigos por ano, autores, periódico de publicação e país de realização da pesquisa

Ano	Autores	Periódico	País
1 2018	Gold, M. at al.	Waste Management	Suíça
2 2019	DiGiacomo, K at al.	Animal	Austrália
3 2019	Bosch, G at al.	Journal of Cleaner Production	Holanda
4 2019	Nyakeri, EM at al.	Journal of Insects as Food and Feed	Quênia
5 2020	Aita, GM; Moon, YH	International Sugar Journal	Brasil
6 2020	da Silva, GDP; Hesselberg, T	Neotropical Entomology	Brasil
7 2020	Beesigamukama, D at al.	Frontiers in Plant Science	Quênia
8 2020	Gärttling, D.; Kirchner, S.M.; Schulz, H.	Journal of Insect Science	Alemanha
9 2020	Surendra, K.C at al.	Waste Management	América
10 2020	Quilliam, R. S at al.	Journal of Insects as Food and Feed	Gana
11 2021	Anyega, A.O at al.	Frontiers in Plant Science	Quênia
12 2021	Veldkamp, T at al.	Animals	Holanda
13 2021	Song, S at al.	Journal of Cleaner Production	Singapura
14 2021	Poveda, Jorge	Agronomy for Sustainable Development	Espanha
15 2021	Menino, Maria at al.	Heliyon	Portugal
16 2022	Beesigamukama, D at al.	Journal of Insects as Food and Feed	Quênia
17 2022	Liu, T at al.	Science of the Total Environment	China
18 2022	Abiya, A.A. at al.	Agronomy	Quênia
19 2022	Beesigamukama, D. at al.	Scientific Reports	Quênia
20 2022	Lopes, I.G.; Yong, J.W.; Lalander, C.	Waste Management	Portugal
21 2022	Siddiqui, S.A at al.	Waste Management	Alemanha

22	2022	Romano, N. at al.	Agronomy	América
23	2022	Wu, N. at al.	Journal of Environmental Management	China
24	2022	Hodge, Simon; Conway, John	Agronomy	Irlanda
25	2022	Tanga, C. M. at al.	Journal of Insects as Food and Feed	Quênia
26	2023	Luperdi, AP. at al.	Global Journal of Environmental Science	Perú
27	2023	Dzepe, D. at al.	Journal of Basic and Applied Zoology	Camarões
28	2023	Akgedik, A.N. at al.	Johnson Matthey Technology Review	Turquia
29	2023	Yang-Jie, D. at al.	Waste Management & Research	China
30	2023	Boudabbous, K. at al.	Communications in Soil Science and plant	Tunisia
31	2023	Alaaeldin Abdelfattah, E.; Renault, D. Chavez, M.Y.; Uchanski, M.; Tomberlin,	Journal of Insect Physiology	Egipto
32	2023	J.K.	Journal of Economic Entomology	América
33	2023	Antoniadis, V. at al.	Journal of Soil Science and Plant Nutrition	Grécia
34	2023	Eke, M. at al.	Animal Microbiome	Bélgica
35	2023	Hénault-Ethier, L. at al.	ACS Agricultural Science & Technology	Canada
36	2023	Fuertes-Mendizábal, T. at al.	Agronomy	Espanha
37	2023	Wu, N. at al.	Science of the Total Environment	China
38	2023	Carroll, A.; Fitzpatrick, M.; Hodge, S.	Plants	Irlanda
39	2023	Quan, J. at al.	Waste Management Biocatalysis and Agricultural Biotechnology	China Noruega
40	2023	Blakstad, J. at al.	Environmental Science and Ecotechnology	Coreia
41	2024	Mannaa, M. at al.	Environmental Pollution	China
42	2024	Xiang, F. at al.	Waste Management	Canada
43	2024	Hénault-Ethier, L. at al.		

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Quando se efetua a análise do conteúdo dos 43 artigos selecionados na pesquisa a partir do software NVivo, os resultados mostram que as palavras *larvae*, *fertilizer*, *organic*, *waste*, *bsfl*, *production* (Figura 1), são as que aparecem com maior destaque. Isto sinaliza de forma geral que quando se abordam temáticas relacionadas ao fertilizante de excrementos de insetos, o uso de larvas da mosca do soldado negro (*bsfl*) sigla em inglês para larva da mosca do soldado negro) são as mais usadas em pesquisas sobre estes fertilizantes. Estas palavras também sinalizam que a aplicação dos restos de material orgânico constitui a forma de resíduos mais abordados nos artigos relacionados aos fertilizantes de insetos. Pode-se também depreender que os excrementos de insetos vêm sendo tratados como alternativa a fertilização convencional dos solos (fazendo alusão a palavra *fertilizer* nos destaques). Em uma 2ª instância da frequência de frases na figura 1, as palavras *biomass*, *bioconversion*, *farming*, entre outras, sugerem também que a maior parte dos artigos abordam as questões de produção de biomassa dos insetos, os mecanismos de bioconversão dos resíduos alimentares por parte desses insetos para a obtenção destes excrementos de fertilizantes (Figura 1).

concentrations alternative equivalent

microorganisms substrate achieved lignocellulose

process economy agriculture irrigation mineral

different applied manure efficiency health composted respondents

survey biochar nitrogen bioconversion fresh crop income

effects illucens larvae plant area performance

development study nkp fertilizer maize nutrient hexafrass

review animal feed organic bsfl protein content

increasing products low food waste soil biomass economic

grain straw farming pay bsg hermetia systems

combination microbial food waste soil biomass rice safi years

one questions circular grown production larval amendment analysis

role promising biowaste quality control gut environmental found

microbiota fertiliser sustainable treated growing peat reared

commercial species nutrients management three

composting produced vegetable resource

3.2. Sistematização de respostas as perguntas de pesquisa

Beesigamukama *et al.*, (2020) em experimentos de campo conduzidos no Quênia no qual foram aplicadas quantidades de 0; 2,5; 5,0; e 7,5 t ha⁻¹ do fertilizante de excrementos de larvas da mosca de soldado negro (*Hermetia illucens*) para determinação da dose mais efetiva na produção da cultura de Milho (*Zea mays*), encontrou que as parcelas de milho tratadas com a dose de 7,5t ha⁻¹ apresentou melhores resultados em termos de plantas mais altas, com maior concentração de clorofila, maior absorção de Nitrogênio (em até 23%) e maior produtividade de grãos de milho quando comparadas com outras dosagens e tratamentos de outros adubos orgânicos e minerais. Em outro experimento (em campo e casa de vegetação) conduzido também no Quênia por Anyega *et al.*, (2021) no qual foram testadas quantidades equivalentes a 2,5; 3,5 e 14,8 t ha⁻¹ de fertilizantes de excrementos da mosca de soldado negro sobre o crescimento, rendimento e qualidade nutricional de Hortaliças (Tomate, Couve e Feijão), os resultados demonstraram que a aplicação da dose de 2,5t ha⁻¹ do fertilizante da mosca do soldado negro resultou na melhoria da produção das 3 (três) culturas.

Página 6 de 20

crescimento da Chicória e da Banana. Os resultados demonstraram que as dosagens de 4 a 6g do hexafrass mantiveram a sobrevivência das plantas tanto da Chicória, assim como a da Banana (Hodge; Conway, 2022). Tanto a parte aérea, a massa seca e crescimento em ambas as culturas foi maior com doses de 2 a 4 g por vaso. O mesmo também sucedeu com: Fuertes-Mendizábal (2023) ao testar a alface, com Wu *et al.*, (2023) ao testar algumas mudas de cereais como Cevada, Aveia, Triticale e Espelta e também com Blaskab (2023).

Hénault-Ethier *et al.*, (2023) testarem o crescimento de vegetais entre as quais Girassol anão (*Helianthus gracilentus*), Cenoura (*Daucus carota subsp sativus*) Rabanete Cherry Belle (*Raphanus raphanistrum subsp. sativus*), Beterraba Detroit Dark Red (*Beta vulgaris*), Manjerição doce (*Ocimum basilicum*), Milho Canadian Early Supersweet Hybride (*Zea mays subsp. mays*), Pepino (*Cucumis sativus*), Couve (*Brassica oleracea L. var. acephala*), Acelga (*B. vulgaris subsp. vulgaris*), Tomate cereja amarelo (*Solanum lycopersicum*), ervas e flores a partir de fertilizantes de resíduos de inseto do cascudinho-amarelo (*Tenebrio molitor*). Em dois tratamentos com dosagens de 175g de fertilizantes de excremento de insetos por unidade de plantio, encontraram que esta adição deste fertilizante deu um aumento significativo da taxa de crescimento de todas as plantas a exceção da Couve. Esse bom desempenho deste fertilizante de resíduo pode ser explicado em parte pelo facto de o mesmo ser rico em biomassa microbiana, quitina, hormônios de crescimento e enzimas (Hénault-Ethier *et al.*, 2023).

3.2.2. Qual a dieta alimentar segura a aplicar aos insetos de modo a que produzam excrementos de fertilizantes ricos e seguros?

A Tabela 2 resume os achados sobre os substratos encontrados pelos diferentes autores para a alimentação segura da mosca do soldado negro (*Hermetia illuceni*) e suas respectivas taxas de conversão da matéria seca. Os bioresíduos que não podem ser usados diretamente como ingrediente de ração podem ser usados como alimento dos insetos de modo a que estes transformem esses resíduos em proteínas e gorduras de alta qualidade (Veldkamp *et al.*, 2021). Doravante o potencial de conversão destes bioresíduos pelos insetos é ainda um campo em exploração, pois vários estudos tem mostrado possíveis efeitos das diversas fontes de resíduos de alimentação de insetos para produção de fertilizantes de excrementos desses insetos (Veldkamp *et al.*, 2021).

Tabela 2. Substratos de dieta alimentar dos insetos

Espécie de inseto	Local da experiência	Tipo de substrato	Eficiência de Conversão	Fonte
<i>Hermetia illucens</i>	Holanda	Estrume de vaca leiteira, resíduos de restaurante, grãos gastos de fermento de cerveja, restos de pão, cascas de batata, melaço de beterraba, estrume suíno, estrume de galinha, resíduos vegetais de banana, repolho, polpa alaranjada, resíduos de coalhada de soja, sorgo e feijão caupi	1,3% (resíduos vegetais e frutas)32,8% (resíduos processados de restaurantes)	Bosch, G at al.

Quênia	Restos de alimentos, resíduos de cerveja, cascas de banana, desperdício de alimentos e mistura de fezes humanas, mistura de lodo fecal desidratado e resíduo alimentar	54-92,5%	Nyakeri, EM at al.
Brasil	Melaço, bagaço de cana de açúcar	N/A	Aita & Moon
China	Esterco de frango, suíno e gado	N/A	Liu, T at al.
Portugal	Restos de alimentos, esterco de aves, fezes humanas, ração de aves	45% (restos de alimentos), 40% esterco de aves, 52% fezes humanas, 15% ração de aves	Lopes, I.G.; at al
China	Palha de arroz (0%, 1%, 2%, 3%) misturada com farinha de carne e ossos de galinha	N/A	Wu et al
Peru	Sangue de carne cru (T1), vísceras de carne crua (T2), sangue bovino cozido (T3), vísceras de carne cozida(T4), vísceras de frango cru (T6) e vísceras de frango cozido (T7), Mistura de todos (T5)	20,56% T1, 43,55% T2, 45,75% T3, 38,15% T4, 27,75% (0% de fareloT5, 27,9% T6, 72,46% T7	Luperdi at al
Holanda	Ração para frango(CF), sólido de esterco suíno (PMS), sólido de Betafert (BTFS), sarja, polpa de oliveira(SW), líquido de esterco suíno misturado com ração de frango (PMLCF), capim silagem (SG), Polpa de Azeitona (OP)	34% CF, 31% PMS, 20%BTFS, 46%SW, 26%OP, 37%PMLCF,	Veldkamp, at al.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

3.2.3. Quais as espécies de insetos que deverão ser usadas para a produção do fertilizante frass?

Beesigamukama *et al.*, (2022) avaliaram em seu estudo a possibilidade de produção de fertilizantes de resíduos por outras espécies de insetos para além do *H. illucens* e do *T. molitor*. Estudaram as espécies *Scapsipedus icipe*, *Mori Bombyx*, *Gryllus bimaculatus*, *Gonimbrasia krucki*, *Pachnoda sinuata*, *Schistocerca gregária* e a *Rinoceronte de Oryctes*. A análise do fertilizante de resíduo de todas as nove (9) espécies de insetos, indicou alto potencial de uso como fonte alternativa de fertilizante de alta qualidade e acessível (Beesigamukama; Subramanian; Tanga, 2022). Os valores do índice de fertilização acima de três (3) obtidos pelos fertilizantes de resíduo de todas as nove (9) espécies de insetos também confirma a alta adequação do fertilizante como fonte sustentável de nutrientes para as plantas e adubo de qualidade para o manejo sustentável da saúde do solo (Beesigamukama; Subramanian; Tanga, 2022). Estes resultados sugerem que estas espécies de insetos acima apontadas podem também ser usadas como fonte para produção dos fertilizantes de excrementos de insetos. Manna *et al.*, (2024) em seu estudo apontaram uma série de outros insetos que podem ser usados para a produção de fertilizantes de excrementos de insetos (Tabela 3).

Tabela 3. Lista de insetos estudados para produção dos fertilizantes de excrementos de insetos

Nome comum do inseto	Nome científico da espécie de inseto	Referência
Mosca do soldado negro	<i>Hermertia illucens</i>	Beesigamukama <i>at al</i> 2022
Lagarta da farinha amarela	<i>Tenebrio molitor</i>	
Larva de satunídeo	<i>Gonimbrasia krucki</i>	
Mosca doméstica	<i>Musca domestica</i>	Mannaa, M. <i>at al.</i> 2024
lagarta das farinhas	<i>Alphitobius diaperinus</i>	
Superminhoca	<i>Zophobas morio</i>	
Besouro da flor de chafer	<i>Protaetia brevitarsis</i>	
Grilo doméstico	<i>Acheta domesticus</i>	
Grilo de duas manchas	<i>Gryllus bimaculatus</i>	
Grilo novo do Quênia	<i>Scapsipedus icipe</i>	
Bicho de seda	<i>Bombyx mori</i>	
Gafanhoto do deserto	<i>Schistocerca gregária</i>	
Chafer de frutas de jardim	<i>Pachnoda sinuata</i>	
Besouro rinoceronte de coco	<i>Oryctes rhinoceros</i>	
Traça dourada africana do imperador	<i>Gonimbrasia krucki</i>	

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

3.2.4. Quais os rendimentos obtidos pelas culturas com aplicação dos fertilizantes de excrementos de inseto?

A pesquisa sobre os efeitos dos fertilizantes de excrementos de insetos em culturas alimentares evoluiu bastante nos últimos anos e está em franco progresso. Boa parte dos experimentos resumidos neste estudo mostram que os fertilizantes de excrementos de inseto tem efeito positivo sobre o rendimento de diversas culturas alimentares (e não só), nos mais diversos indicadores que variam desde o índice de massa fresca (biomassa) ou seca das plantas, a altura, o peso de frutos, sobrevivência de plantas, crescimento de espigas, entre outros indicadores (Gärttling; Kirchner; Schulz, 2020) (Quilliam *et al.*, 2020) (Anyega *et al.*, 2021). (Menino *et al.*, 2021) (Romano *et al.*, 2023) (Hodge; Conway, 2022) (Tanga *et al.*, 2022) (Poveda *et al.*, 2019) (Antoniadis *et al.*, 2023) (Hénault-Ethier *et al.*, 2023) (Blakstad *et al.*, 2023).

Tabela 4. Rendimento de culturas agrícolas pôs fertilização com excrementos de insetos

Cultura	Tratamento	Parâmetro	Efeito do tratamento	Autor
Milho (<i>Zea mays</i>)	Excremento de insetos da mosca do soldado negro (FR)	Eficiência de uso de Nitrogênio (NUE)	14.96,[12.15, 18.42] ^{abc}	Gärttling, D.; Kirchner, S.M.; Schulz, H.
		Índice de nutrição do Nitrogênio (NNI)	0.47,[0.358, 0.617] ^c	
		Matéria fresca na área foliar	12.705(±0.518) ^{ab}	
		Nitrogênio na Matéria seca da área foliar	1.06,[0.761, 1.476] ^{ab}	
	Pele de larvas (LS)	Eficiência de uso de Nitrogênio (NUE)	17.29, [15.54, 19.24] ^{bc}	
		Índice de nutrição do Nitrogênio (NNI)	0.512, [0.354, 0.766] ^{cd}	

Moscas adultas (AD)	Matéria fresca na área folia	12.879[±0.961] ^{ab}	Quilliam, R. S at al.
	Nitrogênio na Matéria seca da área foliar	1.147, [0.661, 1.99] ^{abc}	
	Eficiência de uso de Nitrogênio (NUE)	34.3, [28.72, 40.96] ^{de}	
	Índice de nutrição do Nitrogênio (NNI)	0.999, [0.738, 1.351] ^{ef}	
	Matéria fresca na área foliar (%MS)	12.877, (±0,758) ^{ab}	
	Nitrogênio na Matéria seca da área foliar(%N)	2.153, [1.369, 3.388] ^d	
Pimenta (<i>Capiscum spp</i>)	LMSN e resíduos de aves	a	
	LMSN e resíduos de cervejaria	a	
	Resíduos de cervejaria e NPK	b	
	NPK	a	
Resíduos de aves e NPK		ab	
Tomate (<i>Solanum lycopersicom</i>)	Altura da planta (cm)	84.2 ± 4,22ab	Anyega, A.O at al.
	Número de folhas	13.5 ± 0.78abc	
	Diâmetro do caule	12.44 ± 0.75ab	
	Altura da planta (cm)	70.8 ± 3.07c	
	Número de folhas	11.5 ± 0.42c	
	Diâmetro do caule	9.8 ± 0.76c	
	Altura da planta (cm)	66.8 ± 3.19c	
	Número de folhas	12.0 ± 0.38c	
	Diâmetro do caule	9.6 ± 0.89c	
	Altura da planta (cm)	75.8+-2.9bc	
	Número de folhas	12.8+-0.56bc	
	Diâmetro do caule	11.4+-0.76bc	
Azevém (<i>Lolium multiflorum</i>)	LMSN 0% N (T0)	c	Menino <i>et al</i>
	LMSN 25% N (T25)	b	
	LMSN 50% N (T50)	a	
	LMSN 75% N (T75)	a	
	LMSN 100% N (T100)	a	
	LMSN 125% N (T125)	a	
	LMSN 150% N (T150)	a	
Couve (<i>Brassica Oleracea</i>)	100% de N-LMSN (T1)	9.93 ± 0.19a	Abiya <i>et al</i>
	50% de N-LMSN (T2)	9.50 ± 0.17ab	
	NPK	9.06 ± 0.20ac	
	Controle	8.66 ± 0.11c	
	Controle	33.3 ± 1.05c	
Batata doce (<i>Ipomea batatas</i>)	333 g/m2 LMSN	62.61 ± 8.59b	Romano <i>et al</i>
	667 g/m2 LMSN	78.60 ± 6.60ab	
	Chá LMSN	17.53 ± 0.29c	
	Controle	83.89 ± 2.22aa	
Banana da terra (<i>Plantago lanceolata L</i>)	0g HFMSN	100%	Hodge e Conway
	0.5g HFMSN	100%	
	1g HFMSN	100%	

	2g HFMSN		100%	
	4 g HFMSN		100%	
	6g HFMSN		100%	
	8g HFMSN		45%	
	10g HFMSN		20%	
Milho(<i>Zea mays</i>)	LMSN		177.3 ± 5.51b	
	CC (BSG)		133.4 ± 7.75c	
	NPK		178.5 ± 6.26b	
	Evergrow	altura (cm)	104.7 ± 4.73d	Tanga <i>et al</i>
	LMSN + NPK		197.3 ± 5.13a	
	BSG + NPK		169.3 ± 6.06b	
	Controle		65.7 ± 3.32e	
Acelga (<i>Beta Vulgaris</i> var.cicla)	LMSN (66% CH + 6% G + 28% P)		a	
	LMSN (70% CH + 12% AM + 6% G + 28% P)	Massa fresca da folha	a	Poveda <i>et al</i>
	LMSN (49%CH+ 12% G+ 39%P)		a	
	Controle		b	
Espinafre (<i>Spinacea oleracea</i>)	Controle negativo (inalterado) (NC)		b	
	Controlo positivo (+Fertilizante inorgânico)		b	
	0.25% de excremento de <i>Tenebrio molitor</i>	Nutrição de Solos	b	Antoniadis <i>et al</i>
	0.5% de excremento de <i>Tenebrio molitor</i>		a	
	1% de <i>Tenebrio molitor</i>		ab	
Cenoura (<i>Daucus carota</i>)	Controle (S+M+5%CM)		a	
	175g de excrementos de <i>Tenebrio molitor</i>	Germinação de sementes	b	Hénault-Ethier
	108.5 g de esterco de galinha		b	
	108.5 g de esterco de galinha		b	
Tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>)	Controle (sem adubação adicional)		a	
	Larva de farrinha (2% de larva)	Altura da planta (cm)	a	Blakstad
	Larva de farrinha esterilizada (2%)		a	
	Adubo orgânico		a	

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Legenda: LMSN – Larvas da mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*), HFMSN -Hexafrass (fertilizante de excremento de inseto) da mosca do soldado negro, CC – Adubo composto convencional, LMSN – Larvas da mosca do soldado negro, DAT – Dias após tratamento, CH – Carbohidratos, G – Gorduras, P – Proteínas, AM – Amidos, S – Solos, M – Micorrizas, CM – Adubo composto municipal, N – Nitrogênio. Letras diferentes sinalizam diferenças estatísticas significativas entre os grupos.

3.2.5 – Quais os benefícios econômicos da produção desses insetos como matéria-prima para produto agrícola comercializável?

Da Silva e Hesselberg (2020) em sua abordagem conceptual sobre a viabilização do uso da mosca de soldado negro (*Hermetia illucens*) para compostagem de resíduos em Belém (Pará) no Brasil, mencionaram que os projetos rurais (de construção e implementação de fábricas de produção de fertilizantes de excrementos) devem ter um larvero (local de crescimento de larvas), um abrigo (local de reprodução) ou baldes para sistemas domésticos (da Silva; Hesselberg, 2020). Os ovos das larvas podem ser obtidos na natureza a partir de armadilhas tradicionais na natureza (da Silva; Hesselberg, 2020).

Surendra *et al.*, (2020), em sua revisão sobre a perspectiva da bioconversão de resíduos orgânicos defende que este tipo de tecnologias proporcionaria alternativas seguras para a reciclagem de recursos orgânicos, permitindo níveis adequados de produção de biomassa para excrementos (Surendra *et al.*, 2020). Hénault-Ethier (2024) menciona que ainda no que toca ao tamanho das fazenda (que geralmente são maiores na indústria de larvas da mosca do soldado negro), estas, podem permitir um preço de produção mais baixo dependendo dos volumes, ou mesmo um valor menor na frente dos consumidores (Hénault-Ethier *et al.*, 2024).

Em uma pesquisa de campo sobre valores económicos e ecológicos dos fertilizantes de inseto da mosca de soldado negro, Beesigamukama, *et al.*, (2022) analisaram os benefícios económicos da criação do inseto em alusão para ração animal e compostagem (chamada de produção de fertilizante de excrementos). Os resultados demonstraram que o fornecimento e o preparo do substrato residual para a criação das larvas de mosca do soldado negro representam 81-90% do custo total de produção do fertilizante (Beesigamukama *et al.*, 2023). A utilização do fertilizante como um produto de valor acrescentado adicional aumentaria o rendimento líquido do agricultor em 5 a 15 vezes em comparação com a agricultura da mosca do soldado negro isoladamente (Beesigamukama *et al.*, 2023). A produção de um megagrama (Mg) de larvas secas de larvas da mosca do soldado negro (USD 900) geraria 10-34 Mg de fertilizante do excremento no valor de USD 3.000-10.200 (Beesigamukama *et al.*, 2023). O milho cultivado em parcelas tratadas com o fertilizante de excremento produziu rendimento líquido 29-44% superior ao milho colhido em parcelas alteradas com adubo orgânico comercial (Beesigamukama *et al.*, 2022).

Tanga *et al* (2022) ao avaliar o impacto comparativo do fertilizante de larvas de mosca de soldado negro, NPK e adubo orgânico comercial (Evergrow[®]) sobre a rentabilidade do milho em condições de casa de vegetação, concluiu que a receita líquida gerada com a comercialização de milho cultivado com a combinação do fertilizante e NPK foi 2, 163 e 173% maior do que a obtida com NPK único, mistura de BSG e NPK, e fertilizante de excremento de inseto único, respectivamente.

Yang Jie *et al* (2023) montou um sistema de bioconversão de fertilizante de excrementos de larvas da mosca do soldado negro em escala real com duração de 4 anos em Hangzhou (China). Neste sistema ele investigou a viabilidade e eficiência de 15 toneladas de DBW (resíduos domésticos biodegradáveis) por dia. Por meio da otimização da técnica contínua, a produção média de larvas frescas foi aumentada de 8,5% em 2017 para 15,3% em 2020, juntamente com a taxa de bioconversão do vermicomposto final que diminuiu de 35,4% para 14,5%. As vendas de larvas secas aumentaram significativamente de US\$ 42.200 em 2017 para US\$ 275.600 em 2020, devido a uma maior capacidade de tratamento e uma maior eficiência de bioconversão (Yang-Jie *et al.*, 2023).

3.2.6 Quais as espécies de insetos que podem servir de ração para produção pecuária como prática de agricultura sustentável?

No seu estudo, Manna *et al* (2024) apontaram como espécies potenciais de insetos a serem usados tanto como fertilizante e assim como para ração animal as espécies, Mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*), lagarta-da-farinha amarela (*Tenebrio molitor*), Mosca doméstica (*Musca domestica*), Lagarta-das-farinhas (*Alphitobius diaperinus*), Superminhoca (*Zophobas morio*), Besouro da flor de Chafer (*Protaetia brevitarsis*), grilo doméstico (*Acheta domestica*), Grilo de duas manchas (*Gryllus bimaculatus*), Grilo novo do Quênia (*Scapsipedus icipe*), Bicho-da-seda (*Mori Bombyx*), Gafanhoto do deserto (*Schistocerca gregária*), Chafer de

frutas de jardim (*Pachnoda sinuata*), Besouro rinoceronte de coco (*Rinoceronte de Oryctes*), Traça dourada africana do imperador (*Gonimbrasia krucki*).

3.2.7 Se os micróbios intestinais destes insetos usados para produção dos fertilizantes de excrementos podem degradar toxinas provenientes da dieta alimentar?

Akgedik *et al* (2023) e Poveda (2021) defendem que o intestino dos insetos tem uma estrutura básica que varia dependendo no nicho e hábitos alimentares. Mencionam ainda que os microrganismos intestinais desenvolveram a capacidade de degradar uma ampla gama de materiais, incluindo lignocelulose e até plásticos (Akgedik *et al.*, 2023) (Poveda, 2021) (Eke *et al.*, 2023). Dentro de seus intestinos existem outros organismos como firmicutes, Proteobacterias, Tenericutes, Bacteroidetes entre outros, que desempenham funções importantes de desontoxicação nos processos de biotransformação (Akgedik *et al.*, 2023) (Eke *et al.*, 2023). Além disso a microbiota tem a capacidade de eliminar compostos tóxicos que poderiam estar presentes nos alimentos consumidos por seus hospedeiros, como inseticidas ou defensivos vegetais (Poveda, 2021).

Abdelfattah e Renault (2023) comprovaram este facto. Realizaram um experimento no qual expuseram larvas (do 5º instar) de *Hermetia illucens* a alimentos de resíduos alimentares (vegetais, frutas ou resíduos de cozinha) contaminados com vários metais pesados. Não encontraram evidências de impactos deletérios da contaminação de resíduos alimentares por catecol ou metais pesados em *H. illucens*, com respostas antioxidantes permanecendo semelhantes aos controles na maioria dos tratamentos (Alaaeldin Abdelfattah; Renault, 2023). Outros autores também chegaram a resultados similares. Quan *et al* (2023) realizou um experimento sobre o efeito de resíduos alimentares fermentados no crescimento de microrganismos de larvas da mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*). Os resultados mostraram que a alimentação de farinha fermentada por diferentes durações (0–10 dias) afetou levemente o rendimento dos insetos (Quan *et al.*, 2023).

3.2.8. Sinergias entre fertilizantes de excrementos de insetos e outros fertilizantes

Quilliam *et al* (2020) testou a sinergia entre o fertilizante de excrementos de larvas da mosca do soldado negro com diferentes doses do fertilizante mineral NPK sobre o número e comprimento de espigas na cultura do Milho (*Zea mays*). Não encontrou diferenças estatísticas significativas entre a fusão do fertilizante de excrementos e diferentes doses de NPK sobre número e comprimento de espigas de milho (Tabela 5) (Quilliam *et al.*, 2020). No entanto, outros estudos apontaram maioritariamente diferenças estatísticas significativas entre as mais diversas aplicações de fertilizantes de excrementos de insetos e diferentes dosagens de outros fertilizantes minerais, sintéticos ou orgânicos no teste dos mais diversos parâmetros agrônomicos nomeadamente, Anyega *et al.*, (2021), Song *et al.*, (2021), Fuertes-Mendizábal (2023), Hodge e Conway (2022) e Carrol *et al.*, (2023). Os resultados desses experimentos encontram-se resumidos na Tabela 5.

Tabela 4. Rendimento de culturas alimentares adubadas com fertilizante de excrementos e outros fertilizantes sintéticos e minerais

Cultura	Tratamento	Parâmetro	Efeito do tratamento	Autor
Milho (<i>Zea mays</i>)	LMSN+0Kg/há NPK	Número de espigas por unidade de área	a	Quilliam <i>et al</i>
	LMSN+150Kg/há NPK		a	
	LMSN+300Kg/há NPK		a	
	LMSN+0Kg/há NPK	comprimento e peso da espiga	a	
	LMSN+150Kg/há NPK		a	
	LMSN+300Kg/há NPK		a	

	LMSN+0Kg/há NPK		a	
	LMSN+150Kg/há NPK	Número de grãos por espiga	a	
	LMSN+300Kg/há NPK		a	
		Altura da planta (cm)	90.2 ± 2.55 ^a	
	LMSN +NPK	Número de folhas	15.53 ± 0.59 ^a	
Tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>)		Diâmetro do caule	14.2 ± 0.7 ^a	Anyega et al
		Altura da planta (cm)	86.4 ± 2.5 ^{ab}	
	BSG+NPK	Número de folhas	14.5 ± 0.71 ^{ab}	
		Diâmetro do caule	13.0 ± 0.7 ^{ab}	
	FLMSN+BC		20%	
Repolho chinês (<i>Brassica rapa</i>)	CLMSN+BC	taxa média de germinação de sementes	78%	Songs et al
	NCLMSN+BC		Abaixo de 20%	
	Água desionizada		95%	
	HF+0g BC		a	
Chicória (<i>Cichorium intybus</i> L)	HF+1g BC	Massa seca média da parte aérea	b	Hodge e Conway
	HF+2g BC		c	
	HF+4g BC		d	
	LTM+0%BS		b	
	LTM+ 1%BS	massa fresca da parte aérea	a	
Alface (<i>Lactuca sativa</i> , tipo Batávia)	LTM + 2.5%BS		a	
	LTM +5%BS		a	Fuertes-Mendizábal
	LTM+0%BS		b	
	LTM+ 1%BS	Altura da planta (cm)	ab	
	LTM + 2.5%BS		a	
	LTM +5%BS		a	
	2gBC+0gHF		b	
Trigo vermelho (<i>Triticum espelta</i>)	0gBC+4gHF	massa aérea	a	Carroll et al
	2gBC+ 4gBC		a	

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Legenda: BC-Biochar, LMSN – Larvas da mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*), FLMSN -Fertilizante de excremento de larvas da mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*), CLMSN-Fertilizante compostado de larvas de mosca do soldado negro, NCLMSN-Fertilizante de excremento não compostado de larvas da mosca do soldado negro, HF-Hexa-fertilizante de excrementos de inseto, LTM-Fertilizante de Excrementos de larvas de cascudinho amarelo (*Tenebrio molitor*), BS-Bioestimulante Sulicab. Letras diferentes significa que existe diferença estatística entre os grupos.

4. Discussão dos resultados

No que toca a questão de pesquisa relacionada a taxa ótima de aplicação do fertilizante de excrementos de insetos, boa parte dos estudos sobre taxas de aplicação e dosagens destes fertilizantes foram realizados em condições extremamente controladas, isto é, em estufa e laboratório e por via disso, muita das vezes esses resultados não podem ser diretamente replicados em campo. Assim há uma necessidade maior de mais pesquisas sobre taxas de aplicação desses fertilizantes em campo de modo a que estes estudos possam facilmente ser replicados pelos produtores em campo. Este posicionamento é também defendido por Beesigmukama (2020), por se tratar de uma tecnologia nova.

A pesquisa encontrou uma diversidade de dietas e combinações alimentares de substrato a ser aplicada aos insetos para produção de fertilizantes de excrementos de insetos.

Boa parte dela retratou que estes insetos, principalmente as larvas da mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*) possui grande capacidade de degradação de diferentes alimentos (substratos) contaminados ou não. Estes fatos ficaram provados a partir de vários experimentos realizados (Bosch *et al.*, 2019) (Aita; Moon, 2020) (Nyakeri *et al.*, 2019). As taxas de conversão desses resíduos alimentares pelos insetos variam e por vezes com substratos alimentares mais ou menos idênticos. Os estudos também variam bastante em termos de metodologia aplicada (tipo de experimento no que toca aos contaminantes adicionados ao substrato) e isso pode influenciar nos resultados obtidos e dificultar sua réplica e aplicação em campo para os agricultores. Este facto foi também referido por Bosch *et al.*, (2019).

No que toca a questão das espécies de insetos a serem usados para a produção dos fertilizantes de excrementos para a prática agrícola fica claramente denotado que existe ainda uma grande necessidade de serem realizadas mais pesquisas que estudem a aplicação de outras espécies de insetos diferentes da mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*) para a produção de adubos agrícolas. Boa parte das pesquisas se não a totalidade delas apenas estudou esta espécie.

No que diz respeito aos rendimentos obtidos pelas culturas a partir da aplicação de adubação com fertilizantes de excrementos de insetos, antes de mais é necessário mencionar que quase todos os experimentos comprovaram o potencial dos fertilizantes de excrementos de insetos como adubos alternativos ao convencional (Quilliam *et al.*, 2020) (Anyega *et al.*, 2021), (Menino *et al.*, 2021). Também quase todos os experimentos usaram o fertilizante derivado de larvas da mosca do soldado negro (*Hermetia illucens*) e as demais espécies de insetos com potencial continuam pouco exploradas.

Sobre os benefícios econômicos da produção de insetos muito poucas pesquisas investigaram apontando um fluxo contínuo com custos e necessidades específicas para a optimização da produção destes insetos com exemplos e aplicações concretas. Da Silva e Hesselberg (2020) trouxeram um exemplo de criação de larvas da mosca do soldado negro do Brasil (Pará), mas mencionam que ainda existe um grande défice de exemplos de projetos pilotos locais de criação desses insetos ainda em mais em países tropicais, onde existe quase que uma abundância natural desses insetos. Há necessidade de mais pesquisas com exemplos de projetos claros de criação desses insetos principalmente em pequena escala. Sobre as espécies de insetos para produção pecuária fica subjacente que o curto ciclo de vida e a rápida capacidade de conversão de resíduos alimentares dos insetos pode constituir uma vantagem do uso destes em detrimento das rações agrícolas convencionais. O investimento nestes insetos para produção de fertilizantes e ração pode ser vantajoso na medida em que a partir daí existe um grande potencial de se contribuir para a circularidade e sustentabilidade da bioeconomia, para redução de resíduos orgânicos e até para geração de renda e empregos.

No tocante a capacidade dos micróbios intestinais dos insetos em degradar toxinas e outros compostos tóxicos resultantes da alimentação, pesquisas comprovaram a tal capacidade dos insetos. Tal como mencionado na dieta alimentar segura dos insetos, pode se ressaltar mais uma vez que as pesquisas realizadas neste quesito apontam uma diversidade de metodologias empregues com resultados consequentemente diferentes.

Sobre a questão de sinergias entre os fertilizantes de insetos e outros fertilizantes, boa parte das pesquisas encontrou que estes fertilizantes quando em sinergia produzem resultados satisfatórios em termos de aumento de produção, crescimento e produtividade das culturas. Estas sinergias podem constituir um meio de produção sustentável para a bioeconomia. Claro

que existe ainda uma maior necessidade de padronização das dosagens a serem feitas de cada um dos fertilizantes, mas os estudos já indicam algumas misturas nesse sentido.

5. Conclusão

Da revisão efetuada nesta pesquisa pode-se chegar à conclusão de que em geral os fertilizantes de excrementos de insetos tem sim um grande potencial de ajudar na questão do aumento da produção e produtividade de culturas alimentares e industriais, na medida em que ficou comprovado a partir de vários experimentos realizados que estes podem complementar e substituir paulatinamente num horizonte temporal breve (pelo menos para produções agrícolas de pequena escala), os fertilizantes minerais sintéticos e ou outros tipos. Doravante desafios relacionados com o estudo e seleção de mais outras espécies de inseto (diferentes da mosca do soldado negro) (*Hermetia illucens*) para produção de fertilizantes de excrementos continuam prementes.

Referências

AITA, G.; MOON, Y. Bioconversion of cane sugar processing by-products to protein and lipids by black soldier fly (BSF) larvae. **INTERNATIONAL SUGAR JOURNAL**, [s. l.], v. 122, n. 1461, p. 618–626, 2020.

AKGEDIK, A. N. *et al.* Utilisation of Insect Gut as a Biosource for the Development of Future Biotransformation Processes. **Johnson Matthey Technology Review**, [s. l.], v. 67, n. 3, p. 416–427, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85173595580&doi=10.1595%2f205651323X16732719244908&partnerID=40&md5=82d778c01eda5125354ea829baa2d428>.

ALAAELDIN ABDEL FATTAH, E.; RENAULT, D. Does the presence of heavy metal and catechol contaminants in organic waste challenge the physiological performance of the bioconverter *Hermetia illucens*? **Journal of Insect Physiology**, [s. l.], v. 144, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85145307264&doi=10.1016%2fj.jinsphys.2022.104469&partnerID=40&md5=12cf7b92b6b76902c207bfb0fe4c3373>.

ANTONIADIS, V. *et al.* Insect Frass as a Novel Organic Soil Fertilizer for the Cultivation of Spinach (*Spinacia oleracea*): Effects on Soil Properties, Plant Physiological Parameters, and Nutrient Status. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 23, p. 5935–5944, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85169801193&doi=10.1007%2fs42729-023-01451-9&partnerID=40&md5=56c06f40a36ff32f5f9d30295906dc6>.

ANYEGA, A. O. *et al.* Black Soldier Fly-Composted Organic Fertilizer Enhances Growth, Yield, and Nutrient Quality of Three Key Vegetable Crops in Sub-Saharan Africa. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 12, Plant Nutrition, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85108088722&doi=10.3389%2ffpls.2021.680312&partnerID=40&md5=b305b4f4ee15ba066b3c33461e32f4f>.

BEESIGAMUKAMA, D. *et al.* Economic and ecological values of frass fertiliser from black soldier fly agro-industrial waste processing. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 8, p. 245–254, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85124748350&doi=10.3920%2fjiff2021.0013&partnerID=40&md5=4e714f17bde36e840cf
e9150cd8cb95c.

BEESIGAMUKAMA, D. *et al.* Exploring Black Soldier Fly Frass as Novel Fertilizer for Improved Growth, Yield, and Nitrogen Use Efficiency of Maize Under Field Conditions. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 11, Plant Nutrition, 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85092183932&doi=10.3389%2ffpls.2020.574592&partnerID=40&md5=09f2edda225f22f00b3b5405ce82b036>.

BEESIGAMUKAMA, D. *et al.* Waste to value: Global perspective on the impact of entomocomposting on environmental health, greenhouse gas mitigation and soil bioremediation. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 902, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85167466521&doi=10.1016%2fj.scitotenv.2023.166067&partnerID=40&md5=d0b2cae17c12caf90fb9e2565bb3d21a>.

BEESIGAMUKAMA, D.; SUBRAMANIAN, S.; TANGA, C. M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. **Nature**, [s. l.], v. 12, p. 7182, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85129325968&doi=10.1038%2fs41598-022-11336-z&partnerID=40&md5=31d3911c061e1c993ce16e07ed3d7f71>.

BLAKSTAD, J. I. *et al.* Frass from yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) as plant fertilizer and defense priming agent. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 53, p. 102862, 2023. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez45.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1878818123002633>. Acesso em: 1 mar. 2024.

BOSCH, G. *et al.* Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: Legislation, efficiency and environmental impact. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, [s. l.], v. 222, p. 355–363, 2019.

CALABI-FLOODY, M. *et al.* Chapter Three - Smart Fertilizers as a Strategy for Sustainable Agriculture. In: SPARKS, D. L. (org.). **Advances in Agronomy**. [S. l.]: Academic Press, 2018. v. 147, p. 119–157. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211317300834>. Acesso em: 1 mar. 2024.

CARROLL, A.; FITZPATRICK, M.; HODGE, S. The Effects of Two Organic Soil Amendments, Biochar and Insect Frass Fertilizer, on Shoot Growth of Cereal Seedlings. **Plants**, [s. l.], v. 12, n. 5, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85149909725&doi=10.3390%2fplants12051071&partnerID=40&md5=a7512539f99db273cf9ab64fae107079>.

DA SILVA, G.; HESSELBERG, T. A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions. **NEOTROPICAL ENTOMOLOGY**, [s. l.], v. 49, n. 2, p. 151–162, 2020.

EKE, M. *et al.* Deciphering the functional diversity of the gut microbiota of the black soldier fly (*Hermetia illucens*): recent advances and future challenges. **Animal Microbiome**, [s. l.], v. 5, n. 40, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85169824190&doi=10.1186%2fs42523-023-00261-9&partnerID=40&md5=10fba3ad6be930de9b888dcaa5b9786f>.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T. *et al.* Mealworm Frass as a Potential Organic Fertilizer in Synergy with PGP-Based Biostimulant for Lettuce Plants. **Agronomy**, [s. l.], v. 13, n. 5, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85160427239&doi=10.3390%2fagronomy13051258&partnerID=40&md5=0575883fe3c9654d87ec0b64715c068e>.

GÄRTTLING, D.; KIRCHNER, S. M.; SCHULZ, H. Assessment of the n- And p-fertilization effect of black soldier fly (diptera: Stratiomyidae) by-products on maize. **Journal of Insect Science**, [s. l.], v. 20, n. 5, 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85091562798&doi=10.1093%2fjisesa%2fieaa089&partnerID=40&md5=240ff3ec5b269223622c8bb7f1b51557>.

HÉNAULT-ETHIER, L. *et al.* Growth Trials on Vegetables, Herbs, and Flowers Using Mealworm Frass, Chicken Manure, and Municipal Compost. **ACS Agricultural science & technology**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 249–259, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85149118391&doi=10.1021%2facagscitech.2c00217&partnerID=40&md5=69877d0b2f7d1b7ba5adflf124338aa7>.

HÉNAULT-ETHIER, L. *et al.* Opportunities and challenges in upcycling agri-food byproducts to generate insect manure (frass): A literature review. **Waste Management**, [s. l.], v. 176, p. 169–191, 2024. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85184002924&doi=10.1016%2fj.wasman.2023.12.033&partnerID=40&md5=f687bbc0ab5b6d70e95db113bf814470>.

HODGE, S.; CONWAY, J. The Effects of Insect Frass Fertilizer and Biochar on the Shoot Growth of Chicory and Plantain, Two Forage Herbs Commonly Used in Multispecies Swards. **Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 10, p. 2459, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/10/2459>. Acesso em: 1 mar. 2024.

KUMAR, S. *et al.* Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. **Current Research in Microbial Sciences**, [s. l.], v. 3, p. 100094, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666517421000742>. Acesso em: 18 out. 2023.

MANNA, M. *et al.* Insect-based agri-food waste valorization: Agricultural applications and roles of insect gut microbiota. **Environmental Science and Ecothechnology**, [s. l.], v. 17, 2024.

MENINO, M. *et al.* Agricultural value of Black Soldier Fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. **Heliyon**, [s. l.], v. 7, p. e05855, 2021.

MORRISON, A. *et al.* The effect of english-language restriction on systematic review-based meta-analyses: A systematic review of empirical studies. **International Journal of Technology Assessment in Health Care**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 138–144, 2012.

NYAKERI, E. *et al.* An optimal feeding strategy for black soldier fly larvae biomass production and faecal sludge reduction. **JOURNAL OF INSECTS AS FOOD AND FEED**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 201–213, 2019.

POVEDA, J. Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00656-x>. Acesso em: 1 mar. 2024.

POVEDA, J. *et al.* Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 142, p. 110–122, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139319300691>. Acesso em: 1 mar. 2024.

QUAN, J. *et al.* Revealing the effects of fermented food waste on the growth and intestinal microorganisms of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **Waste Management**, [s. l.], v. 171, p. 580–589, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85173624049&doi=10.1016%2fj.wasman.2023.10.002&partnerID=40&md5=26b0de7645c37faff33f45643db8037b>.

QUILLIAM, R. S. *et al.* Integrating insect frass biofertilisers into sustainable peri-urban agro-food systems. **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 315–322, 2020. Disponível em: https://brill.com/view/journals/jiff/6/3/article-p315_315.xml. Acesso em: 1 mar. 2024.

RANA, A.; SHARMA, N.; TYAGI, M. IMPACT OF CHEMICAL PESTICIDES VS. BIOPESTICIDES ON HUMAN HEALTH AND ENVIRONMENT. **International Journal Of All Research Writings**, [s. l.], v. 2, n. 7, p. 45–51, 2019. Disponível em: <http://www.ijciras.com/Users/ManuScript/ManuScriptDetails/573d19a8-82c9-437b-9155-659eca239c92>. Acesso em: 1 mar. 2024.

ROMANO, N. *et al.* Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Frass on Sweet-Potato (*Ipomea batatas*) Slip Production with Aquaponics. **Horticulturae**, [s. l.], v. 9, n. 10, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85175341506&doi=10.3390%2fhorticulturae9101088&partnerID=40&md5=256e36faf6cbefa2e082245595e3dbf3>.

SONG, S. *et al.* Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential. **Journal of cleaner production**, [s. l.], v. 288, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85099193075&doi=10.1016%2fj.jclepro.2020.125664&partnerID=40&md5=a628feb973b82283a2457fe9bb3899fd>.

SRIVASTAV, A. L. Chapter 6 - Chemical fertilizers and pesticides: role in groundwater contamination. In: PRASAD, M. N. V. (org.). **Agrochemicals Detection, Treatment and**

Remediation. [S. l.]: Butterworth-Heinemann, 2020. p. 143–159. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081030172000064>. Acesso em: 1 mar. 2024.

SURENDRA, K. C. *et al.* Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). **Waste Management**, [s. l.], v. 117, p. 58–80, 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85089434398&doi=10.1016%2fj.wasman.2020.07.050&partnerID=40&md5=14556830a20374babfa11a4b1455d0af>.

TANGA, C. M. *et al.* Performance of black soldier fly frass fertiliser on maize (*Zea mays* L.) growth, yield, nutritional quality, and economic returns. **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 185–196, 2022. Disponível em: https://brill.com/view/journals/jiff/8/2/article-p185_185.xml. Acesso em: 1 mar. 2024.

TRIPATHI, A. D. *et al.* Chapter 1 - Estimates for World Population and Global Food Availability for Global Health. In: SINGH, R. B.; WATSON, R. R.; TAKAHASHI, T. (org.). **The Role of Functional Food Security in Global Health**. [S. l.]: Academic Press, 2019. p. 3–24. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128131480000013>. Acesso em: 1 mar. 2024.

VELDKAMP, T. *et al.* Bioconversion of digestate, pig manure and vegetal residue-based waste operated by black soldier fly larvae, *hermetia illucens* L. (diptera: Stratiomyidae). **Animals**, [s. l.], v. 11, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85117952479&doi=10.3390%2fani11113082&partnerID=40&md5=8b1314d3e8979c274e0a2c341d5fd474>.

YANG, H.; MENG, T.; FLORKOWSKI, W. J. Impacts of technical environment on the adaption of organic fertilizers and biopesticides among farmers: evidence from Heilongjiang province, China. **Frontiers of Agricultural Science & Engineering**, [s. l.], v. 10, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85158844119&doi=10.15302%2fJ-FASE-2023482&partnerID=40&md5=8735e64137dd1f97f65a76e90045687e>.

YANG-JIE, D. *et al.* A full-scale black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) bioconversion system for domestic biodegradable wastes to resource. **Waste Management & Research**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 143–154, 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85132905031&doi=10.1177%2f0734242X221103936&partnerID=40&md5=5e1aca14b794966a118026557eb27b41>.