

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DO AGRONEGÓCIO

ANDRÉ PIRES BRAGA DE ANDRADE

**POTENCIAL DA FARINHA DA LARVA DE *Tenebrio molitor* COMO
FERTILIZANTE ORGÂNICO NITROGENADO**

Lages, SC
15/12/2025



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

ANDRÉ PIRES BRAGA DE ANDRADE

**POTENCIAL DA FARINHA DA LARVA DE *Tenebrio molitor* COMO
FERTILIZANTE ORGÂNICO NITROGENADO**

Monografia apresentada ao curso superior de tecnologia em Gestão do Agronegócio do Câmpus Lages do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Agronegócio

Orientadora: Dra. Luciane Costa da Oliveira

Coorientador: Dr. Fernando Domingo Zinger

Lages, SC

15/12/2025

ESPAÇO DA FICHA CATALOGRÁFICA OU FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE OBRA

Atenção!

A elaboração da ficha catalográfica deve ser solicitada ao bibliotecário do câmpus.

Alunos do Câmpus Florianópolis devem solicitar ficha catalográfica apenas para teses e dissertações. Para os demais tipos de trabalhos acadêmicos, as fichas de identificação da obra devem ser elaboradas utilizando o site <http://ficha.florianopolis.ifsc.edu.br>

ANDRÉ PIRES BRAGA DE ANDRADE

**POTENCIAL DA FARINHA DA LARVA DE *Tenebrio molitor* COMO
FERTILIZANTE ORGÂNICO NITROGENADO**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título Tecnólogo em Gestão do Agronegócio, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Lages, 15 de dezembro de 2025.

Prof^a. Dra. Luciane Costa de Oliveira

Orientadora

Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Lages

Prof. Dr. Fernando Domingo Zinger

Coorientador

Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Lages

Prof^a. Dra. Lilian Katiany Castello Rabello Zinger

Universidade do Estado de Santa Catarina, CAV-UDESC

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos a todas as pessoas especiais em minha vida que tornaram possível minha jornada. Agradeço de coração à minha companheira, Cindy Fernandes, por sua dedicação, carinho e incansável ajuda. Meus amorosos agradecimentos à minha mãe, Virginia Pires, e ao meu pai, Ricardo Braga, pelo apoio emocional que me deram ao longo desse processo. Também sou imensamente grato a todos os meus amigos que de alguma forma, me apoiaram. Não posso deixar de mencionar meus orientadores Fernando Domingo Zinger e Luciane Costa de Oliveira por todo o conhecimento que compartilharam comigo e pela sua orientação durante essa jornada. Agradeço também, ao projeto de pesquisa Estruturação de processos produtivos e laboratoriais de uma biofábrica de insetos, do IFSC – Campus Lages, aprovado no edital MultiLab 2023 pela FAPESC e a Universidade do Estado de Santa Catarina - CAV pelo apoio à pesquisa, agradeço. Por fim, sou grato a todos os professores que me auxiliaram ao longo da minha formação. A todos vocês, minha sincera gratidão.

“Solo vivo, planta viva, alimento vivo”

Primavesi, Ana

RESUMO

Este trabalho avaliou o potencial da farinha da larva de *Tenebrio molitor* como fertilizante orgânico nitrogenado, considerando-a alternativa aos fertilizantes sintéticos e elemento promotor da economia circular. Inserido no contexto brasileiro de alta dependência de fertilizantes nitrogenados importados e de subaproveitamento de resíduos orgânicos, o estudo reconhece a criação de insetos como estratégia para transformar esses resíduos em bioinsumos. O experimento, conduzido em casa de vegetação com alface (*Lactuca sativa* cv. Vera), utilizou delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e cinco repetições, comparando diferentes doses de farinha e fertilizante mineral. Todos os tratamentos adubados superaram o controle (T0) embora o fertilizante convencional (T1) tenha apresentado maior massa fresca média, não diferiu estatisticamente das aplicações com farinha de *Tenebrio*, indicando eficiência equivalente; a combinação entre fonte orgânica e mineral (T5) também apresentou bom desempenho. Doses mais elevadas da farinha não resultaram em incrementos adicionais, provavelmente devido à liberação gradual dos nutrientes. Conclui-se que a farinha de *Tenebrio molitor* pode substituir total ou parcialmente fertilizantes nitrogenados sintéticos sem perdas produtivas, para a cultura da alface, contribuindo para práticas agrícolas sustentáveis e redução da dependência de insumos importados.

Palavras-chave: Biofertilizante; Insetos; Adubação orgânica; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study evaluated the potential of *Tenebrio molitor* larval meal as an organic nitrogen fertilizer, considering it as an alternative to synthetic fertilizers and as a component of the circular economy. Within the Brazilian context of high dependence on imported nitrogen fertilizers and the underutilization of organic waste, the study highlights insect farming as a strategy to convert these residues into bioinputs. The experiment, conducted in a greenhouse using lettuce (*Lactuca sativa* cv. Vera), employed a completely randomized design with six treatments and five replicates, comparing different doses of larval meal and mineral fertilizer. All fertilized treatments outperformed the control (T0), although the conventional fertilizer (T1) produced the highest average fresh mass, it did not differ statistically from the treatments using *Tenebrio* meal, indicating equivalent efficiency; the combination of organic and mineral sources (T5) also performed well. Higher doses of the meal did not result in additional gains, likely due to the gradual nutrient release. It is concluded that *Tenebrio molitor* larval meal can partially or entirely replace synthetic nitrogen fertilizers without reducing productivity, in lettuce cultivation, contributing to sustainable agricultural practices and decreasing dependence on imported inputs.

Keywords: Biofertilizer; Insects; Organic fertilization; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de vida do <i>Tenebrio molitor</i>	20
Figura 2 - (a) Acondicionamento dos tratamentos ao solo, (b) Tratamentos com suas respectivas doses de fertilizantes.	28
Figura 3 - Acondicionamento do solo no vaso e pesagem.	29
Figura 4 - Iluminação artificial.	30
Figura 5 - Massa fresca da alface sob o efeito dos tratamentos: T0 – controle; T1 – adubação convencional; T2 – Farinha de <i>Tenebrio</i> 50% N; T3 – farinha de <i>Tenebrio</i> 100 N; T4 – farinha de <i>Tenebrio</i> 200% N; T5 – farinha de <i>Tenebrio</i> 50% N + sulfato de amônio 50%.	31
Figura 6 - Massa fresca da alface sob o efeito dos tratamentos: T0 – controle T1 – adubação convencional; T2 – Farinha de <i>Tenebrio</i> 50% N; T3 – farinha de <i>Tenebrio</i> 100 N; T4 – farinha de <i>Tenebrio</i> 200% N; T5 – farinha de <i>Tenebrio</i> 50% N + sulfato de amônio 50%.	32
Figura 7 - Massa fresca da alface sob o efeito dos tratamentos: T0 – controle T1 – adubação convencional; T2 – Farinha de <i>Tenebrio</i> 50% N; T3 – farinha de <i>Tenebrio</i> 100 N; T4 – farinha de <i>Tenebrio</i> 200% N; T5 – farinha de <i>Tenebrio</i> 50% N + sulfato de amônio 50%.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fertilizantes minerais nitrogenados e concentração dos nutrientes.	19
Tabela 2 - Teores médios de nitrogênio adubos orgânicos	22
Tabela 3 - Comparativo entre os impactos ambientais gerados por diferentes fontes de proteína.	24
Tabela 4 - Análise de nitrogênio total da farinha de Tenébrio.	29
Tabela 5 – Resultados dos tratamentos sobre a massa fresca da alface.	31

LISTA DE SÍMBOLOS

g – gramas

SUMÁRIO

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivo específico	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Bioinsumos	17
3.2 Fertilizantes nitrogenados	18
3.3 <i>Tenebrio molitor</i>	20
3.4 Mercado de insetos e economia circular	22
3.5 Eficiência agrônômica	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6 CONCLUSÃO	36
7 REFERÊNCIAS	38
8 ANEXOS	46

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir) publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2020), no ano de 2018 o Brasil gerou cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Desse volume produzido, a fração orgânica corresponde a 45,3% do volume gerado, o que totaliza aproximadamente 35 milhões de toneladas de resíduos sólidos orgânicos gerados anualmente no país (Brasil, 2022). Desse montante produzido, aproximadamente 127 mil toneladas foram tratadas em pátios de compostagem. Isso demonstra que 99,6% dessa fração foram destinados a aterros sanitários.

Dessa forma, uma alternativa sustentável para tratar os resíduos orgânicos é a sua transformação por meio da utilização de insetos. Essa transformação resulta na produção de bioinsumos, que é o produto, processo ou tecnologia de origem natural utilizado na produção agropecuária, que atua no crescimento, desenvolvimento e respostas biológicas de organismos e do solo (Lei Nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024),

Diante desse contexto, os bioinsumos fabricados a partir de resíduos orgânicos agroindustriais, por meio da biotransformação de insetos, representam uma alternativa para o tratamento desses materiais, além de poder contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura e, por fim, na redução da dependência de insumos importados.

Um dos principais fatores que favorecem esse desenvolvimento é a capacidade dos insetos de se desenvolverem em substratos de resíduos orgânicos de baixo valor, convertendo-os em produtos de alto valor agregado para o mercado (Moruzzo et al., 2021; Errico et al., 2022).

O processo de bioconversão gera dois produtos principais, a larva, rica em proteínas e gorduras, sendo utilizada como insumo para à alimentação animal e o Frass, uma mistura de substrato não consumido, fezes e exúvias do processo da criação do Tenébrio. Esse material contém quantidades significativas de nutrientes e microrganismos benéficos, o que o torna um excelente fertilizante orgânico. (Sogari et al., 2023; Beesigamukama et al., 2023).

Estudos demonstram que o Frass de Tenébrio, fornece macronutrientes essenciais como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), além de magnésio (Mg), sendo uma fonte de nutrição para as plantas (Watson et al., 2021a)

O interesse científico e tecnológico na utilização do Frass na agricultura tem crescido, pois esse insumo, pode atuar não apenas como fertilizante, mas também como agente fitofortificante, contribuindo para a tolerância a estresses abióticos e para a resistência contra patógenos, em razão da presença de biomoléculas funcionais e microrganismos promotores de crescimento (Poveda, 2021; Fonseca et al., 2022). A Tabela 1, apresentada na pesquisa de Zunzunegui et al., (2024), traz diversos estudos sobre o uso do Frass de Tenébrio como recurso agrícola.

Dados da pesquisa setorial da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2024), demonstram que o Brasil importou, no ano de 2024, cerca de 41.348.204 toneladas de fertilizantes, enquanto a produção nacional foi de 7.219.368 toneladas. A grande quantidade importada dos fertilizantes e de matérias primas deixa o país desprotegido das alterações de preços internacionais, influenciando nos custos da produção agropecuária (Theodoro e Almeida, 2013).

Nesse contexto, é importante buscar formas que minimizem a dependência externa de fertilizantes químicos e promovam uma agricultura menos dependente de importações de insumos. E uma das formas para contornar a dependência de importação de insumos é o aproveitamento dos bioinsumos, gerados a partir da bioconversão dos resíduos orgânicos através dos insetos.

No caso do Tenébrio (*Tenebrio molitor*), sua alimentação convencional é composta por farelo de trigo ou ração para aves, batatas, cenouras e água (Superior Health Council, 2014), em sistemas de criação controlada, a alimentação pode consistir em uma mistura de diferentes farinhas, incluindo farinha de trigo, farelo de cereais, aveia, soja, centeio e milho (Ghosh et al., 2017).

Entretanto, com a grande geração de diversos tipos de resíduos orgânicos, pesquisadores estão testando a inclusão de outras fontes alimentares, na dieta do Tenébrio (Rumbos, 2020; Carvão, 2020; Arcanjo, 2020; Mahmoud, 2025)

Contudo, um dos principais limitantes do uso de larvas de insetos na alimentação animal está relacionado ao tipo de substrato utilizado para sua criação. Conforme estabelecido no Ofício-Circular nº 33/2023/CGI/DIPOA/SDA/MAPA (Brasil, 2023), estão proibidos, para uso como substrato na criação de insetos destinados à alimentação animal, os seguintes materiais: I – restos de refeições e de mesa; II – chorume; III – fezes; e IV – resíduos crus de origem animal (Brasil, 2023).

Dependendo da origem dos resíduos orgânicos utilizados como substrato, podem conter substâncias proibidas de acordo com Ofício Circular nº 33, citado

anteriormente. Desta forma, as larvas criadas em substratos contendo substâncias proibidas não podem ser destinadas à alimentação animal. Portanto, uma alternativa para utilizar essas larvas é na forma de matéria-prima para a produção de fertilizantes orgânicos.

Nesse contexto, estabelece-se os seguintes problemas de pesquisa: O uso da farinha in natura da larva de *Tenebrio molitor*, produzida em substrato convencional, apresenta potencial como fertilizante orgânico nitrogenado, para subsidiar, em pesquisas futuras, o uso desse inseto como fertilizante orgânico nitrogenado quando criado em substratos considerados inapropriados à alimentação animal?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o uso das larvas de *Tenebrio molitor* moídas in natura como fonte de adubação orgânica nitrogenada, comparando seu desempenho agrônomo, com fertilizantes nitrogenados convencionais, e analisar seu potencial de substituição parcial ou total a esses fertilizantes, bem como suas contribuições ambientais e para a economia circular.

2.2 Objetivo específico

- Quantificar o teor de nitrogênio total presente nas larvas moídas de *Tenebrio molitor*;
- Avaliar o efeito da aplicação da larva moída in natura como fertilizante nitrogenado sobre o crescimento e o desenvolvimento de alface;
- Comparar a eficiência agrônomo da larva moída com fontes convencionais de nitrogênio;

- Avaliar a viabilidade técnica da farinha de *Tenebrio molitor* como substituto parcial ou total dos fertilizantes nitrogenados convencionais e analisar seu potencial de aplicação em sistemas agrícolas sustentáveis.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Bioinsumos

Os bioinsumos estão sendo tratados como uma nova opção para impulsionar a agricultura do país. O que os torna tão promissores é o fato de aproveitarem a matriz biológica presente na natureza, que engloba substâncias bioativas e a rica diversidade de plantas, animais e microrganismos acima e abaixo da superfície do solo. Em resumo, podemos afirmar que as possibilidades de combinações são praticamente ilimitadas (Vidal e Dias, 2023). Esses insumos representam uma abordagem nova e moderna, que impulsiona a bioeconomia (Mazzaro et al., 2022). Além disso, eles estão atrelados à sustentabilidade (Altieri, 1989).

Os insumos biológicos representam um dos pilares da bioeconomia no Brasil, sendo fundamentais para o avanço de uma produção agrícola sustentável. Esses materiais bioativos têm o potencial de ser utilizados por diversas indústrias de transformação, como a farmacêutica, agrícola e cosmética que, por sua vez, transitam para uma nova matriz energética, contribuindo para um novo modelo de desenvolvimento no país (Vidal e Dias, 2023).

O mercado mundial de bioinsumos, demonstrou crescimento acentuado na última década. No ano de 2020, esse mercado foi estimado em aproximadamente US\$ 9,9 bilhões (IHS Markit, 2021). Entre os diversos tipos de bioinsumos, os biofertilizantes têm se destacado, com projeção de expansão de US\$ 2,02 bilhões em 2022 para US\$ 4,47 bilhões até 2029, o que corresponde a uma taxa de crescimento anual de 12,04% no período (Fortune Business Insights, 2022).

Já em 2023, o mercado global de bioinsumos foi avaliado entre US\$ 13 e 15 bilhões, com expectativa de alcançar US\$ 18,5 bilhões até 2026, o que mostra que esse setor vem ganhando espaço e se fortalecendo na agricultura mundial. (Mordor Intelligence, 2022 *apud* Iwanicki e Delalibera, 2025; Blink/CropLife Brasil, 2024).

No Brasil, esse crescimento avança de forma acelerada, nos últimos três anos, a taxa média anual de expansão do mercado nacional de bioinsumos foi de

aproximadamente 22%, valor cerca de quatro vezes superior à média global (Blink/CropLife Brasil, 2025). Esse crescimento demonstra a grande aceitação dessas tecnologias pelos produtores rurais, uma vez que, na safra 2023/2024, a utilização dos bioinsumos comerciais registrou aumento de 15% em relação à safra anterior, alcançando um volume de vendas estimado em R\$ 5 bilhões (Iwanicki e Delalibera, 2025).

No Brasil, por meio do decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, foi instituído o programa nacional de bioinsumos, que conceituou bioinsumo como:

“O produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos”.

Também conceituou os biofertilizantes como:

“Produto que contém componentes ativos ou substâncias orgânicas, obtido de microrganismos ou a partir da atividade destes, bem como seus derivados de origem vegetal e animal, capaz de atuar direta ou indiretamente sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, no aumento de sua produtividade ou na melhoria de sua qualidade, incluídos os processos e tecnologias derivados desta definição”. (Brasil, 2020).

Nesse contexto, compreender a dinâmica dos fertilizantes nitrogenados torna-se fundamental, uma vez que a busca por alternativas sustentáveis envolve comparar fontes minerais tradicionais com possíveis substitutos de origem orgânica

3.2 Fertilizantes nitrogenados

O uso racional dos fertilizantes minerais é um dos pilares para promover a segurança alimentar global. Mais de 48% de 7 bilhões de pessoas no mundo, têm maior disponibilidade de alimentos por causa do aumento da produção das culturas, obtido pela aplicação de fertilizantes nitrogenados. A aplicação de fertilizantes permitiu produzir mais em áreas menores, diminuindo a necessidade de se explorar novas áreas naturais para produção agrícola (Reetz, 2017).

Segundo Reetz (2017), os fertilizantes nitrogenados produzidos, possuem diversas formulações, cada uma com diferentes propriedades e usos para os diversos sistemas agrícolas. Todas essas formulações iniciam com a amônia anidra que é produzida pelos gases H₂ e N₂ presente na atmosfera, com uso de gás natural pelo processo de Haber-Bosch através da reação química $[3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3]$, sob alta

temperatura e pressão. Este processo foi desenvolvido na Alemanha sendo considerado o avanço tecnológico mais importante do século 20. O processo Haber-Bosch dá suporte à maior parte da produção de alimentos no mundo pela produção de amônia, a principal matéria prima para a fabricação da maioria dos fertilizantes nitrogenados.

De acordo com a IFA (International Fertilizer Association), a produção global de fertilizantes ligados à amônia foi de 137 milhões de toneladas em 2014. Além da aplicação direta do fertilizante amônia anidra, amônia é também usada com matéria prima na produção de uréia, nitrato de amônio e outros fertilizantes nitrogenados, assim como na produção de MAP, DAP e outros fertilizantes multinutrientes (Reetz, 2017). Fora que, segundo Erisman et al. (2008) estima-se que, na ausência de fertilizantes nitrogenados, seriam produzidos 48% menos alimentos.

Os fertilizantes nitrogenados com maior utilização no mercado brasileiro, possuem na sua formulação o nitrogênio na forma solúvel e prontamente disponível. Nestes fertilizantes o nutriente encontra-se principalmente na forma amoniacal, nítrica e amídica, podendo fornecer, cálcio, magnésio e enxofre (Zonta et al., 2021), como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fertilizantes minerais nitrogenados e concentração dos nutrientes.

Fertilizante	N total	N amoniacal	N nítrico	N amídico	CaO	MgO	S
	%						
Amônia anidra	82	82	-	-	-	-	-
Aquamônia	16 – 21	16 – 21	-	-	-	-	-
Nitrato de amônio	37	17	17	-	-	-	-
Nitrato de cálcio	14	-	14	-	28	-	-
Nitrato de sódio	14	-	14	-	-	-	-
Nitrocálcio	22 – 27	13,5	13,5	-	7	3	-
Sulfato de amônio	20	20	-	-	-	-	24
Ureia	45	-	-	45	-	-	-

Fonte: Adaptado de Brasil (2016) apud Zonta et al. (2021).

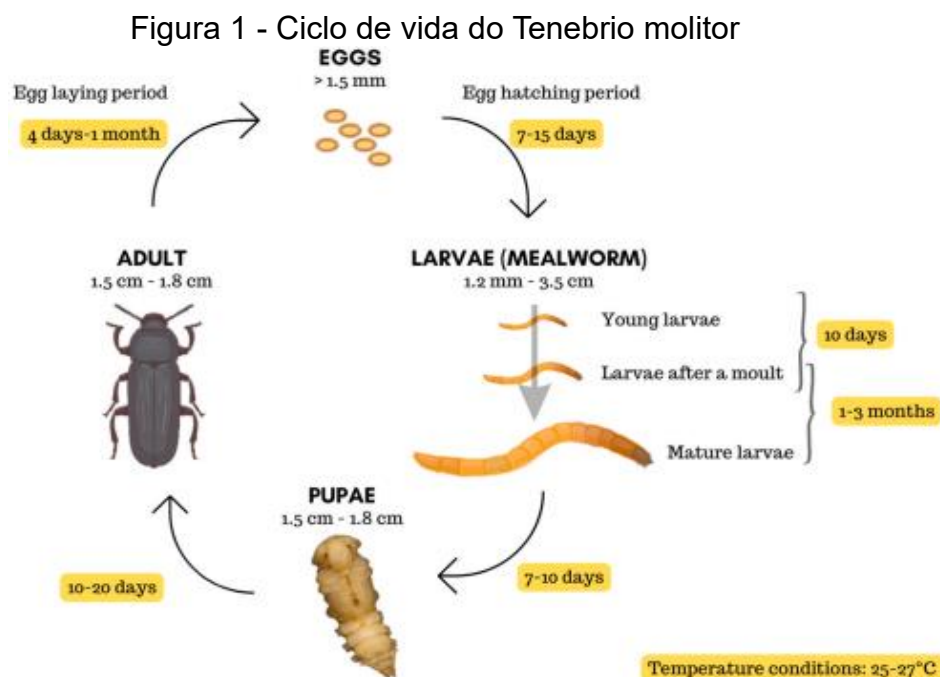
Um alerta acerca do nitrogênio, se relaciona ao elevado nível de dependência do produto importado, que em 2017 alcançou a marca de 85% (International, 2017). Atualmente, a ureia corresponde aproximadamente a 60% dos fertilizantes nitrogenados aplicados na agricultura brasileira, este fertilizante pode ser utilizado de múltiplas maneiras como fonte de N para as culturas, entretanto, sua utilização mais comum é a aplicação de forma sólida no solo, porém devido à sua alta solubilidade, a ureia pode também ser dissolvida em água, aplicada na forma de fertirrigação ou pulverizada sobre a folhagem das plantas (Zonta et al., 2021)

Diante da dependência dos fertilizantes sintéticos e dos impactos associados ao seu uso, o interesse por fontes orgânicas alternativas tem crescido, incluindo insumos derivados de insetos, como o *Tenebrio molitor*.

3.3 *Tenebrio molitor*

O *Tenebrio molitor*, popularmente conhecido como larva da farinha, ou simplesmente Tenébrio, é um besouro pertencente ao filo Arthropoda, que possui distribuição mundial de seus indivíduos (Grau et al., 2017; De souza et al., 2018). Integrante da ordem Coleoptera e da família Tenebrionidae (Gallo et al., 2002).

Os insetos são organismos holometábolos, ou seja, possuem quatro fases de desenvolvimento ovo, larva, pupa e adultos (Figura 1).



Fonte: Zunzunegui et al. (2024).

Sua coloração varia de acordo com seu estágio de desenvolvimento, sendo as larvas amareladas, as pupas esbranquiçadas e os adultos variam entre marrom-escuro e preto.

As larvas maduras, possuem cerca de 2 cm a 3,5 cm de comprimento e peso de 130 a 160 mg, esse período pode durar de 3 a 4 meses. A fase de pupa dura em média 7 a 9 dias, possuem coloração branca cremosa e 1,2 a 1,8 cm de comprimento. O adulto da larva da farinha vive cerca de 3 a 4 meses (Siemianowska et al., 2013; Makkar et al., 2014). Entretanto, temperaturas mais quentes e a composição nutricional de sua dieta podem inferir em ciclos reduzidos (Makkar et al., 2014; Sánches-muros et al., 2014).

A reprodução dos tenébrios é de forma sexuada, a fêmea inicia sua oviposição entre quatro e 17 dias após a cópula e possui uma capacidade ovopositar de 300 a 500 ovos (Santos, 2018). Essa capacidade de oviposição torna interessante a sua criação massal.

As larvas de Tenébrio são onívoras, porém, sua dieta deve ser formulada para conter pelo menos 20% de proteína (Morales et al., 2012). Na produção com fins comerciais as larvas são alimentadas com farelos e farinhas de cereais, como trigo, aveia e milho, e como fonte de proteína é utilizado farelo de soja, leite em pó e leveduras. Para complementar a dieta são adicionados alimentos úmidos como frutas e vegetais, com a finalidade de fornecer água e impedir o canibalismo (Hong; Han; Kim, 2020).

O sistema de criação de *Tenebrio molitor* é bastante versátil, caracterizando-se por exigir estruturas físicas de baixo custo e manejo simples. As larvas podem ser cultivadas em caixas de madeira, plástico ou outros materiais semelhantes, organizadas em unidades específicas para cada estágio de desenvolvimento, a fim de evitar o canibalismo. As condições térmicas ideais para seu crescimento situam-se entre 26 °C e 32 °C (van Huis et al., 2013; Kamimura, 2021).

O início da criação do Tenébrio originou-se em escala doméstica destinada para alimentação de animais exóticos, como lagartos, anfíbios, aves e pequenos mamíferos, além de serem amplamente utilizados como iscas na pesca (Cortes Ortiz et al., 2016).

Quando planejamos uma criação de Tenébrios para comercialização, o produto principal são as larvas, pois, são consideradas fontes altamente nutritivas, com elevado conteúdo de proteínas, lipídios, minerais e vitaminas. (Melgar;

Hernández; Salinas, 2019; Mancini et al., 2019).

Como resultante da criação do Tenébrio, o Frass, um resíduo orgânico gerado a partir da criação das larvas, torna-se uma opção de adubo orgânico, devido a sua composição química. Trabalhos indicam que ele possui concentrações de nitrogênio (3,3%), fósforo (2,8%) e potássio (2,3%), podendo ser utilizado na produção de mudas (Nyanzira et al., 2023).

Porém, conforme citado anteriormente, as larvas cultivadas em substratos não autorizados para a alimentação animal apresentam grande potencial para utilização como adubo orgânico, pois, a partir da análise química do nitrogênio em um lote de *Tenebrio molitor*, e comparando-os com alguns dos adubos orgânicos normalmente utilizados na agricultura, podemos observar esse potencial conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Teores médios de nitrogênio adubos orgânicos

Adubo orgânico	N (%)
Farinha de <i>Tenebrio molitor</i>	8,68
Cama de frango (7 e 8 lotes)	3,8
Dejeto líquido de suínos	2,8
Esterco sólido de bovinos	1,5
Vermicomposto	1,5

Fonte: Adaptado da Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016.

Com o passar do tempo, esse segmento, antes restrito a nichos específicos, passou a ganhar relevância devido às transformações do setor de produção animal.

3.4 Mercado de insetos e economia circular

Nas últimas décadas, o aumento dos preços dos insumos proteicos, como farelo de soja e farinha de peixe, sendo as principais matérias primas da nutrição animal, tem pressionado os sistemas de produção, acompanhando a crescente demanda mundial por proteína de origem animal. Nesse cenário, a criação de insetos desponta como uma alternativa promissora para assegurar a segurança alimentar global, uma vez que estudos apontam o potencial da farinha de insetos como substituto viável das fontes proteicas atualmente utilizadas na alimentação animal (Sogari et al., 2023).

O interesse científico pelo tema tem crescido de forma expressiva, com

centenas de publicações anuais que revisam e ampliam o conhecimento sobre o uso de insetos como alimento e ração (Sogari et al., 2023; Hawkey et al., 2020) a exploração sistematizada de insetos, sobretudo para fins comerciais, expandiu-se principalmente na Europa e nos Estados Unidos. Nesses mercados, ainda se enfrentam desafios estruturais, como automação de processos, redução do custo dos substratos e consolidação tecnológica por meio de patentes (Madau et al., 2020; van Huis, 2020).

Esse conjunto de fatores reforça o papel estratégico dos insetos como uma nova fonte de ingredientes para alimentação animal e como um mercado em plena expansão. Nesse contexto, a busca por maior eficiência na produção animal tem impulsionado a investigação de novas alternativas nutricionais, entre as quais se destacam os insetos.

Diversos estudos demonstram que fontes proteicas derivadas de insetos podem substituir com eficiência ingredientes convencionais nas dietas animais, contribuindo para o aumento da produtividade e reduzindo custos e impactos ambientais (Veldkamp, Bosch, 2015).

A adoção dos insetos como insumo para alimentação animal conecta-se diretamente aos princípios da economia circular, ao promover sistemas produtivos mais eficientes e ambientalmente sustentáveis. A produção de insetos exige menos água e solo, apresenta emissões significativamente menores de gases de efeito estufa e de amônia em comparação com a pecuária convencional, e ainda reduz o risco de transmissão de zoonoses (Hawkey et al., 2020; Lange e Nakamura, 2021). Além disso, muitos sistemas de criação empregam resíduos orgânicos ou subprodutos agroindustriais como substratos de alimentação, transformando materiais de baixo valor em proteína de alta qualidade, o que fortalece sua inserção em cadeias produtivas circulares (de Carvalho et al., 2020).

A crescente demanda global por proteína animal, associada à necessidade de mitigar a conversão de novas áreas naturais para a agricultura, reforça a importância da criação de insetos como solução sustentável e compatível com a conservação da biodiversidade (Zuk et al., 2022).

Espécies como a mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*), o tenébrio (*Tenebrio molitor*) e a mosca doméstica (*Musca domestica*) destacam-se por características desejáveis para a produção em larga escala, incluindo rápido crescimento, alta eficiência de conversão alimentar, dieta variada e resistência a

doenças (Zuk et al., 2022; Hawkey et al., 2020). Entre essas, o *Tenebrio molitor* tem recebido atenção significativa na pesquisa e no setor comercial, consolidando seu papel em sistemas produtivos sustentáveis e alinhados à economia circular (Sogari et al., 2019).

A proteína oriunda de insetos destaca-se não apenas pelo valor nutricional elevado, mas também pelo baixo impacto ambiental, quando comparada a outras fontes proteicas. De acordo com o World Economic Forum (2018), os impactos ambientais associados à produção de diferentes espécies, incluindo emissões de gases de efeito estufa (GEE), demanda alimentar, uso da terra e consumo de água estão apresentados na Tabela 3, permitindo uma análise comparativa entre os sistemas de produção.

Tabela 3 - Comparativo entre os impactos ambientais gerados por diferentes fontes de proteína.

Impactos ambientais	Insetos	Aves	Suínos	Bovinos
Emissões de GEE (g/kg vivo)	2	NA	1.130	2.850
Alimentação (kg de ração/kg vivo)	1,7	2,5	5	10
Uso de terra (m ² /g de proteína)	18	51	63	254
Uso de água (L/g de proteína)	23	34	57	112

Fonte: World Economic Forum (2018)

A cadeia produtiva de insetos tem sido acompanhada por uma crescente valorização de seus subprodutos, alinhando-se diretamente aos princípios da economia circular.

A produção massal gera resíduos que, quando utilizados corretamente, podem reduzir custos de descarte e criar oportunidades produtivas. Entre esses coprodutos destacam-se gorduras, quitina e substratos residuais, materiais que podem ser convertidos em biodiesel, surfactantes, agentes de proteção vegetal e, especialmente, fertilizantes (Sogari et al., 2023).

Entre todos os subprodutos, o Frass (resíduo composto por fezes, restos de dieta não consumida e exúvias) é o que apresenta maior relevância quantitativa.

O Frass contém elevada concentração de nutrientes e microrganismos benéficos, o que o torna um insumo promissor para uso agrícola (Beesigamukama et al., 2023). Em um cenário global de crescente restrição ao uso de agroquímicos,

produtos derivados de insetos surgem como alternativas sustentáveis para o desenvolvimento de biofertilizantes (Barragán et al., 2022).

Por fim, os sistemas produtivos baseados nos princípios da economia circular, os coprodutos do *Tenebrio molitor*, incluindo o Frass e a própria farinha oriunda das larvas, as quais não podem ser destinadas para alimentação, apresentam grande potencial como fontes alternativas de fertilizantes orgânicos, contribuindo para reduzir a dependência de insumos sintéticos e fortalecendo a sustentabilidade agrícola.

3.5 Eficiência agronômica

A eficiência agronômica é um conceito utilizado no manejo de fertilizantes e no desempenho produtivo dos sistemas agrícolas. De forma geral, define-se como a capacidade converter os insumos, sobretudo os fertilizantes, de promover o crescimento vegetal e aumentar a produtividade em relação à quantidade de nutriente aplicado (Drinkwater e Snapp, 2007).

Desse modo, demonstra a relação entre o fornecimento dos nutrientes e o quanto de fato foram absorvidos e utilizados pelas plantas, sendo um indicador importante para avaliar produtividade, sustentabilidade e impactos ambientais do manejo nutricional (Gourley et al., 2012).

A eficiência agronômica está diretamente relacionada à resposta da planta em função da dose de fertilizante. Uma aplicação ideal implica aportar os nutrientes em quantidade, forma e momento adequados para suprir as demandas nutricionais das plantas, quando a aplicação excede a demanda, ocorre redução da eficiência e aumento das perdas para o ambiente, incluindo lixiviação, volatilização ou imobilização no solo (Sutton et al., 2013).

Por outro lado, sub dosagens reduzem o crescimento vegetal e resultam em baixa produtividade. Assim, o equilíbrio entre oferta e demanda é central no manejo fertilizante de precisão.

Diversos fatores interferem na eficiência agronômica. Entre os fatores ligados ao fertilizante, destacam-se solubilidade, forma química, velocidade de liberação e propriedades físicas do produto (Vaneckhaute et al., 2013).

Fertilizantes altamente solúveis tendem a disponibilizar nutrientes mais rapidamente, porém estão mais sujeitos às perdas ambientais. Já produtos de liberação gradual como muitos biofertilizantes e ou adubos orgânicos apresentam uma

dinâmica mais lenta, favorecendo maior sincronização entre oferta e demanda.

As características do solo exercem forte influência sobre a disponibilização e o aproveitamento dos nutrientes. O pH afeta diretamente a solubilidade de P, a nitrificação e a disponibilidade de micronutrientes; a textura influencia a retenção de água e íons; e o teor de matéria orgânica regula a CTC, a atividade microbiana e a proteção coloidal de nutrientes (Hillel, 2008).

Solos com matéria orgânica baixa apresentam menor capacidade de retenção, favorecendo perdas, já solos bem estruturados, tendem a apresentar maior eficiência de uso.

Em relação às plantas, a eficiência agrônômica depende da demanda nutricional específica de cada espécie, de seu potencial genético, de características fisiológicas como taxa de absorção radicular e capacidade de translocação, além de interações metabólicas internas. Cultivares mais eficientes tendem a apresentar maior acúmulo de biomassa por unidade de nutriente absorvido, resultando em maior eficiência de uso (Matjaz et al., 2010).

A eficiência agrônômica pode ser avaliada por diferentes indicadores. Entre os mais utilizados estão o incremento de biomassa ou produtividade por unidade de nutriente aplicado, a concentração e acúmulo de nutrientes nos tecidos, a eficiência de utilização de nutrientes, o balanço de nutrientes no solo e o acompanhamento de alterações nas propriedades edáficas ao longo do tempo (Parn et al., 2012). Esses indicadores permitem compreender tanto a resposta agrônômica quanto os riscos de acúmulo ou deficiência.

No caso de biofertilizantes e fertilizantes orgânicos, a eficiência agrônômica apresenta características diferentes dos solúveis. Esses produtos tendem a liberar nutrientes de forma gradual, o que pode aprimorar a sincronia entre mineralização e demanda vegetal. A microbiota do solo desempenha papel essencial nesse processo, conduzindo transformações bioquímicas que liberam nitrogênio, fósforo e enxofre de estruturas orgânicas (Fehrenbach et al., 2008). Também trazem benefícios adicionais, que incluem a melhoria da estrutura do solo, aumento da retenção de água, aporte de carbono orgânico e estímulo à atividade biológica (LNE, 2006).

Os biofertilizantes provenientes da digestão anaeróbia apresentam elevados teores de nutrientes prontamente assimiláveis e desempenho agrônômico similar ou superior ao de fertilizantes convencionais, quando bem manejados. Esse efeito é resultante da degradação da matéria orgânica pelos microrganismos anaeróbios, os

quais promovem a mineralização parcial dos nutrientes, especialmente do nitrogênio, convertido para a forma amoniacal (NH_4), além de aumentar a solubilização de fósforo e potássio. Como consequência, o material pós-digestão apresenta menor relação C/N e maior concentração de nutrientes minerais, favorecendo sua disponibilidade logo após a aplicação no solo (Vaneekhaute et al., 2013b).

A relevância da eficiência agrônômica aumenta ainda mais em sistemas de economia circular, que visam reduzir resíduos, reciclar nutrientes e substituir insumos sintéticos por fontes renováveis. O reaproveitamento de biomassa residual, como esterco, lodos, resíduos agroindustriais etc. Permite fechar ciclos biogeoquímicos, reduzindo pressões ambientais associadas à produção de fertilizantes minerais e às perdas de nutrientes (Vaneekhaute et al., 2014). Ao mesmo tempo, melhora-se a autossuficiência nutricional das propriedades rurais e diminui-se a dependência externa de insumos. Estratégias baseadas em economia circular promovem ainda menor emissão de gases de efeito estufa, melhor balanço de carbono e maior sustentabilidade econômica e ambiental.

Assim, a eficiência agrônômica constitui um indicador integrador da qualidade do manejo nutricional, da sustentabilidade ambiental e da eficiência produtiva dos sistemas agrícolas. Seu aprimoramento depende da combinação de genética vegetal, manejo do solo, tecnologias fertilizantes e práticas agrônômicas capazes de maximizar a utilização dos nutrientes e minimizar perdas, contribuindo para sistemas alimentares mais resilientes, produtivos e ambientalmente responsáveis.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

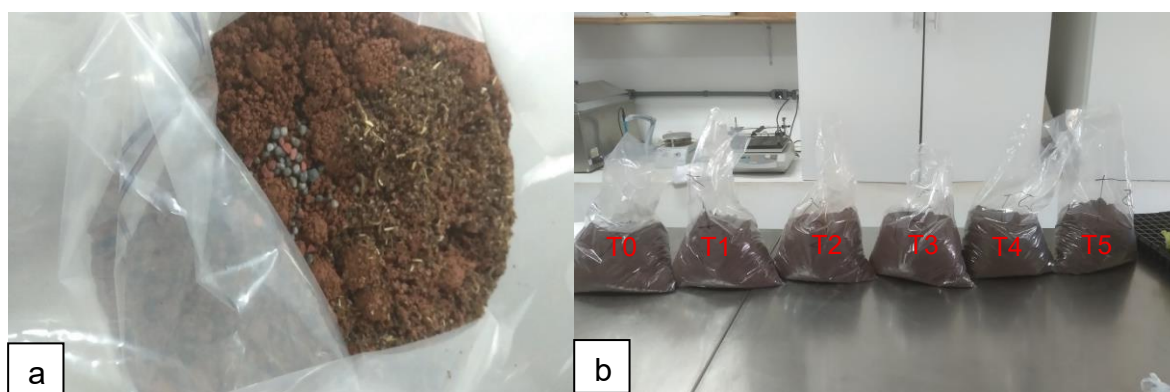
O experimento foi conduzido no Laboratório de Ecologia do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), localizado no município de Lages, Estado de Santa Catarina.

A condução do experimento iniciou em 05 de setembro de 2025, com a correção da acidez do solo através da aplicação de carbonato de cálcio puro para análise, pretendendo elevar o pH para 6,0, valor considerado adequado para o cultivo da alface, conforme recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016). Durante o período de incubação do corretivo, o pH do solo foi monitorado semanalmente, utilizando o método descrito por Tedesco et al. (1995), até sua estabilização, a qual ocorreu após 55 dias, em 30 de outubro de 2025.

Em 02 de novembro de 2025, os tratamentos foram incorporados ao solo, em seguida os solo disposto nos vasos e por fim o transplântio das mudas da alface e à irrigação inicial. As plantas foram conduzidas por um período de 30 dias, sendo a colheita realizada em 02 de dezembro de 2025.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos e cinco repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram em: T0 – controle (apenas correção da acidez do solo); T1 – adubação convencional; T2 – farinha de *Tenebrio molitor* (50% do N recomendado + P e K); T3 – farinha de *Tenebrio molitor* (100% do N recomendado + P e K); T4 – farinha de *Tenebrio molitor* (200% do N recomendado + P e K); e T5 – farinha de *Tenebrio molitor* (50% do N) associada a sulfato de amônio (50% do N), com suplementação de P e K (Figura 2).

Figura 2 - (a) Acondicionamento dos tratamentos ao solo, (b) Tratamentos com suas respectivas doses de fertilizantes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A farinha de *Tenebrio molitor* utilizada no experimento foi obtida a partir do projeto de pesquisa denominado estruturação de processos produtivos e laboratoriais de uma biofábrica de insetos, desenvolvido no IFSC – Campus Lages, aprovado no edital MultiLab 2023 da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC).

As larvas que originaram a farinha foram criadas em farelo de trigo. Após o abate, as larvas foram submetidas a resfriamento para facilitar o processo de trituração, realizado em liquidificador, resultando na obtenção da farinha. Posteriormente, o material foi armazenado em congelador a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, a fim de preservar suas características químicas até o momento da aplicação ao solo.

A quantidade de farinha utilizada para a adubação da alface foi definida com base no teor de nitrogênio determinado por análise química da farinha (Tabela 4 e

Anexo A), no teor de matéria orgânica do solo e na exigência nutricional da cultura, conforme as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016).

Tabela 4 - Análise de nitrogênio total da farinha de Tenébrio.

Amostra	Umidade 65°C	N (%)
Farinha Tenébrio	9,51	8,68

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Todos os tratamentos, com exceção do controle, tiveram os teores de fósforo e potássio corrigidos de acordo com as exigências nutricionais da alface, conforme as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016). A correção de P e K foi realizada utilizando a formulação 0-18-18, enquanto a fonte de nitrogênio mineral convencional utilizada foi o sulfato de amônio.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, coletado na camada superficial de 0–20 cm de profundidade, e os resultados da análise química encontram-se apresentados no Anexo B.

O solo foi disposto sobre lona preta para secagem em casa de vegetação e posteriormente, peneirado em malha de 4 mm, visando à remoção de torrões, cascalhos e fragmentos de rocha. Em seguida, o solo foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade de 1 L, contendo aproximadamente 1 kg de solo cada (Figura 3). A umidade do solo foi ajustada para 60% da capacidade máxima de retenção de água, conforme a norma ISO 11268-2.

Figura 3 - Acondicionamento do solo no vaso e pesagem.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para o monitoramento da perda de água, dez vasos foram pesados

aleatoriamente duas vezes por semana, sendo realizada irrigação com água destilada sempre que necessário.

Foram utilizadas mudas de alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar Vera, sendo transplantada uma muda por vaso. Todos os insumos foram aplicados previamente ao plantio. A condução do experimento ocorreu em ambiente com temperatura e umidade controladas, equipado com painéis de LED programados para um fotoperíodo de 12 horas diárias (Figura 4).

Figura 4 - Iluminação artificial.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Ao final do experimento, as plantas foram retiradas dos vasos e a massa fresca foi determinada pesando-as em balança analítica. Em seguida às pesagens, as plantas foram secas em estufa de circulação de ar a 60 °C até atingirem peso constante.

Com os dados obtidos, serão submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e de homogeneidade de Bartlett ($p > 0,05$). Em seguida, será realizada a análise de variância ANOVA. Por fim, caso atendido os pressupostos da one-way ANOVA ($p < 0,05$), as médias serão comparadas pelo teste de Dunnett e Tukey ($p < 0,05$) em níveis de significância de 5%, e os *outliers* identificados e excluídos pelo teste de Grubbs ($p < 0,05$).

Acerca do teste de Dunnett, foram realizadas duas análises separadamente, a primeira, todos os tratamentos (T1; T2; T3; T4; T5) foram comparados ao tratamento controle (T0). Na segunda, retirando o tratamento controle (T0), os tratamentos (T2; T3; T4; T5) foram comparados ao tratamento de adubação convencional (T1)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta dos dados de massa fresca, a tabela 5 demonstra os resultados obtidos referente a cada tratamento.

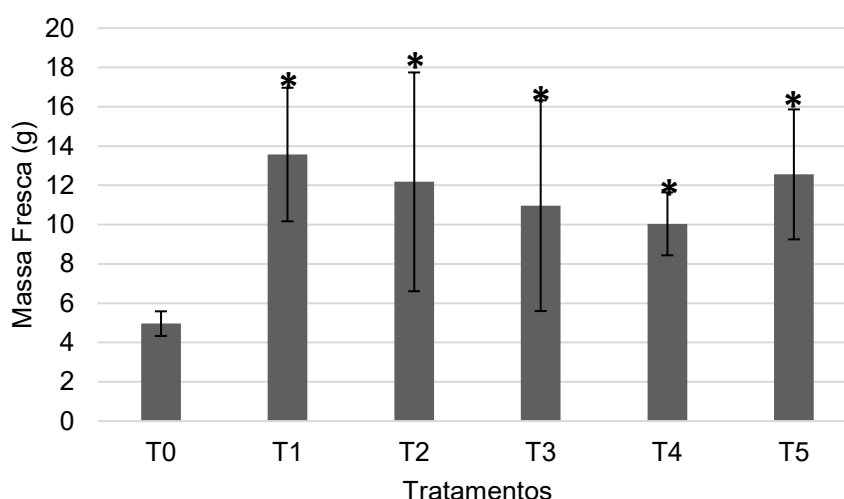
Tabela 5 – Resultados dos tratamentos sobre a massa fresca da alface.

Tratamentos	Massa Fresca (g)
T0 (Controle)	4,961
T1 (Adubação Convencional)	13,568
T2 (Farinha de Tenébrio 50% de N+P, K)	12,178
T3 (Farinha de Tenébrio 100% de N+P, K)	10,964
T4 (Farinha de Tenébrio 200% de N+P, K)	10,039
T5 (Farinha de Tenébrio 50% de N + 50% N convencional + P, K)	12,558

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Na primeira análise do teste de Dunnett (Figura 5), todos os tratamentos, (T1; T2; T3; T4; T5), apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento controle (T0).

Figura 5 - Massa fresca da alface sob o efeito dos tratamentos: T0 – controle; T1 – adubação convencional; T2 – Farinha de Tenébrio 50% N; T3 – farinha de Tenébrio 100 N; T4 – farinha de Tenébrio 200% N; T5 – farinha de Tenébrio 50% N + sulfato de amônio 50%.



* Indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O tratamento T1 apresentou o maior acúmulo de massa fresca (13,568 g), esse resultado pode estar associado ao fato de que os fertilizantes químicos disponibilizam

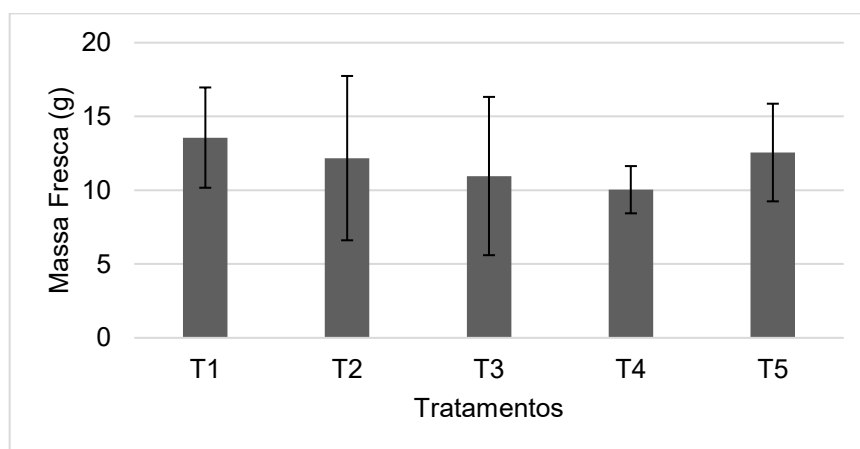
rapidamente os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas, conforme demonstrado em diversos estudos (Cardoso e KLAR, 2011; Blat et al., 2011; Henrichsen et al., 2018; Tavares et al., 2019).

Em segundo lugar, na produção de massa fresca, ficou o tratamento T5 (12,558) esse resultado pode indicar, uma associação positiva entre o fertilizante químico, qual disponibiliza prontamente os nutrientes e a ação benéfica do adubo orgânico, pois Matos et al. (2011), atribuem esse tipo desenvolvimento nas melhorias das condições físico-químicas do solo promovida pelo uso de adubo orgânico, Silva et al. (2011), observaram maior acúmulo de biomassa em alfaces adubadas com adubos orgânicos devido ao aumento na capacidade de retenção de água e melhoria nas propriedades físico-químicas.

Já os tratamentos T2 (12,178 g); T3(10,9644 g) e T4(10,039 g) indica que os resíduos orgânicos utilizados promoveram incremento no desenvolvimento foliar da cultura, conseqüentemente, no ganho de massa fresca, esse efeito provavelmente é relacionado a disponibilidade gradual de macro e micronutrientes, principalmente nitrogênio, essencial para o crescimento vegetativo (Santos et al., 2019).

A Partir dos resultados referentes à segunda análise de Dunnett (Figura 6), os tratamentos (T2; T3; T4; T5), não apresentaram diferença significativa, em relação ao tratamento com adubação convencional (T1).

Figura 6 - Massa fresca da alface sob o efeito dos tratamentos: T0 – controle T1 – adubação convencional; T2 – Farinha de Tenébrio 50% N; T3 – farinha de Tenébrio 100 N; T4 – farinha de Tenébrio 200% N; T5 – farinha de Tenébrio 50% N + sulfato de amônio 50%.



* Indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Esse resultado indica que, quando os tratamentos (T2; T3; T4; T5) comparados com o tratamento (T1), na condição experimental submetida, os

tratamentos não foram capazes de promover incrementos na massa fresca das plantas para serem diferentes do Tratamento (T1).

Esse resultado, pode estar ligado ao fato de que os fertilizantes orgânicos por depender da mineralização da matéria orgânica, a liberação dos nutrientes é mais lenta em relação aos fertilizantes solúveis. Segundo Damatto et al. (2006), alguns insumos orgânicos, a conversão do nitrogênio da forma orgânica para mineral ocorrem 50% no primeiro ano, 20% no segundo ano e 30% após o terceiro ano. Porém para Van Raij et al., (1996) e Borges, (2021), a liberação dos nutrientes de forma mais lenta e gradual, se torna uma vantagem, pois, proporciona disponibilidade ao longo do tempo e que favorece o melhor aproveitamento pela planta, entretanto, como o experimento teve duração de 30 dias, esse efeito pode não ter sido evidenciado.

Utilizando com base de fertilizante orgânico gerado a partir da criação de Tenébrios, em experimentos com tomateiros, a aplicação de 2% de Frass, resíduo orgânico gerado a partir da criação do Tenébrio, resultou em um aumento significativo no peso fresco da parte aérea da planta (Blakstad et al., 2023).

O Frass de *Tenebrio molitor* destaca-se como uma importante fonte de nitrogênio (N), apresentando liberação lenta ao solo (Houben et al., 2021). Contudo, a velocidade dessa liberação pode não coincidir com a capacidade de absorção das plantas.

Em estudo com azevém, verificou-se que o Frass, liberou N mais rapidamente do que a planta consegue absorver, levando os autores a recomendarem o uso de inibidores de nitrificação para reduzir perdas e otimizar a absorção (Watson et al., 2021b).

Em substrato de turfa, o Frass aplicado entre 5 e 10 g/dm³ elevou significativamente o teor de N após duas semanas (Nogalska et al., 2022), enquanto outro estudo observou aumento do N mineral no solo após quatro semanas, (Watson et al., 2021a).

A compostagem também favorece a liberação de N, conforme observado após 32 dias de compostagem do Frass (He et al., 2021). Assim, a dinâmica do N proveniente do Frass depende fortemente do tempo de permanência no solo e apresenta comportamento complexo, portanto, pode-se pressupor que a farinha de *Tenebrio* pode estar sujeita a condições semelhantes às relatadas.

Diversos trabalhos demonstram que os efeitos dos fertilizantes orgânicos variam conforme a cultura, o solo e a fonte utilizada. Enquanto alguns trabalhos

relatam ausência de efeitos, como descrito por Pinto et al. (2011) na cultura do melão, outros indicam respostas contrastantes. Já Braz e Santos (2018) observaram que a aplicação de 5% de adubo orgânico à base de casca de banana favoreceu a germinação e o crescimento inicial de plântulas de pepino, enquanto concentrações mais elevadas apresentaram efeito negativo.

Resíduos orgânicos de natureza ácida, como por exemplo, esterco, urina e restos vegetais, inicialmente liberam ácidos orgânicos durante sua decomposição, promovendo acidificação do meio e intensa atividade microbiana mesófila, com elevação da temperatura dos resíduos entre 40 e 45 °C e liberação de CO₂ (Kiehl, 2004; Tuomela et al., 2000). Na etapa subsequente, bases são liberadas e reagem com esses ácidos, formando compostos de caráter alcalino, enquanto ácidos húmicos originam humatos ao interagirem com elementos básicos, elevando o pH frequentemente acima de 8,0 (Kiehl, 2004).

Assim, a compostagem prévia de resíduos orgânicos é fundamental para estabilizar o material e evitar a acidificação inicial do solo causada pela liberação de H⁺ durante a decomposição de matéria orgânica fresca.

Wangen et al. (2015) avaliando níveis de borra de café adicionados ao substrato na produção de mudas de alface, verificaram que níveis mais altos que 10% de borra mostrou efeito negativo no desenvolvimento das plantas. Kiehl (2010) aponta que para utilizar a borra de café é preciso fazer sua compostagem antes e não utilizar diretamente no solo como fertilizante orgânico.

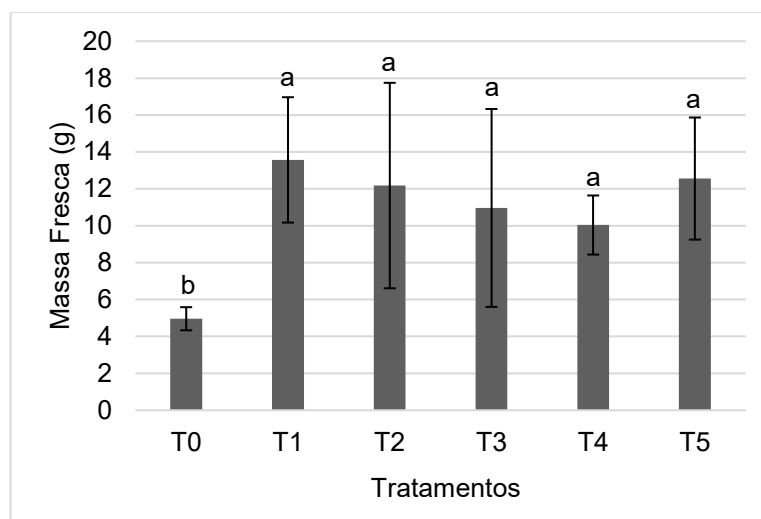
A ausência de diferença significativa entre as doses mais elevadas e farinha de Tenébrio (T4) e o tratamento com adubação convencional (T1), além do citado anteriormente, pode também estar relacionada ao teor inicial de nutrientes no solo, a dose escolhida e ao tempo de condução do experimento

A análise dos dados pelo teste de Dunnett, serviu como um indicador para verificar se existem diferenças significativas entre os tratamentos e os controles mencionados, pois um dos objetivos do experimento incluía comparações específicas entre os tratamentos e um padrão de referência que foram o T0 e T1, ou seja, esse teste é utilizado quando se deseja comparar cada tratamento, diretamente com um tratamento controle ou com um tratamento considerado padrão.

Todavia, o teste de Tukey, também foi utilizado, porque o experimento envolveu fontes diferentes de fertilizantes, exigindo uma comparação simultânea entre todos os tratamentos, e permite identificar, quais fontes diferem entre si quando

comparadas as massas frescas da alface, fornecendo uma comparação completa entre todos os tratamentos avaliados. Dito isso, a figura 7 apresenta o resultado dos dados pelo teste de Tukey.

Figura 7 - Massa fresca da alface sob o efeito dos tratamentos: T0 – controle T1 – adubação convencional; T2 – Farinha de Tenébrio 50% N; T3 – farinha de Tenébrio 100 N; T4 – farinha de Tenébrio 200% N; T5 – farinha de Tenébrio 50% N + sulfato de amônio 50%.



Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Ao analisar as médias dos tratamentos, podemos observar que somente o tratamento T0 (controle) diferiu significativamente de todos os tratamentos (T1; T2; T3; T4; T5). Enquanto, os tratamentos T1; T2; T3; T4; T5 não apresentaram diferenças significativas entre si.

Esse efeito, nas condições experimentais estudadas, pode estar associado a alguns fatores. O primeiro refere-se à adubação mineral, que disponibiliza nutrientes de forma imediata às plantas, embora, fertilizantes nitrogenados sintéticos estão sujeitos a perdas mais elevadas, quando comparados aos fertilizantes orgânicos, cuja liberação é lenta e gradual, favorecendo a absorção no momento adequado. Além disso, os adubos orgânicos promovem melhorias em diversos atributos do solo.

O estudo conduzido por Esashika e Oliveira (2013) demonstra que, embora a adubação química forneça altas concentrações de nutrientes prontamente disponíveis, plantas submetidas à adubação química e à adubação orgânica apresentaram os maiores teores de macronutrientes não diferindo entre si nas avaliações feitas sobre os teores foliares dos macronutrientes em plantas de acerola.

De forma semelhante, Ribeiro et al. (2014) observaram baixa produção de frutos e menor teor de sólidos solúveis quando se aplicaram cinzas como fertilizante, enquanto o esterco bovino apresentou desempenho comparável ao da adubação química.

6 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que todos os tratamentos com adubação, sejam com fertilizantes minerais ou a utilização de farinha de *Tenebrio*, aumentaram significativamente a massa fresca da alface em comparação ao controle (T0).

Embora a adubação convencional (T1) tenha apresentado o maior valor de massa fresca, os tratamentos com resíduos orgânicos (T2, T3, T4 e T5) não diferiram estatisticamente de T1, mostrando que esses insumos têm potencial de substituir parcial ou totalmente os fertilizantes químicos sem prejuízo produtivo em cultivos de ciclo curto, como no caso da alface, na condição experimental estudada.

Desse modo, a utilização de resíduos orgânicos que seriam descartados ou mesmo, os resíduos destinados para criação de insetos, é uma estratégia interessante, tanto para o tratamento desses resíduos, quanto para o desenvolvimento de bioinsumos, pois esses organismos são capazes de se desenvolverem em diversos tipos resíduos orgânicos, convertendo-os em produtos de maior valor agregado, como a farinha das larvas, para elaboração de insumos destinado à alimentação animal e o Frass como biofertilizante, nesse contexto, o *Tenebrio molitor* torna-se um importante agente de biotransformação.

Essa abordagem apresenta potencial para reduzir os custos associados ao tratamento convencional de resíduos orgânicos, diminuindo a necessidade de sua destinação em aterros, bem como para reduzir a dependência de insumos importados, podendo contribuir para a diminuição dos custos de produção. Além disso, favorece a reciclagem de nutrientes e o desenvolvimento de bioinsumos, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e da economia circular.

Embora os efeitos da fertilização orgânica podem ser mais evidentes em cultivos de maior duração, os resultados indicam forte potencial para uso futuro de fertilizantes orgânicos e organominerais (associação de fertilizante mineral e orgânico) em sistemas produtivos sustentáveis e economicamente viáveis.

Por fim, são necessários estudos que avaliem tanto a utilização de resíduos

orgânicos considerados apropriados quanto inapropriados para a criação de insetos destinados à alimentação animal, para a produção de farinha de *Tenebrio molitor* como biofertilizante, bem como a realização de experimentos em diferentes tipos de solo e substratos e com culturas de ciclos mais longos, com intuito de compreender mais profundamente o potencial da aplicação desse insumo.

7 REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A. Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. 400 p.

ARCANJO, M. C. Nascimento. Utilização de resíduos de frutos típicos do Brasil na produção e composição nutricional da larva de *Tenebrio Molitor*. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS. Mercado de fertilizantes 2017/2020. In: Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: <https://anda.org.br/recursos>. Acesso em: 21 maio 2025.

BEEBIGAMUKAMA, D.; TANGA, C. M.; SEVGAN, S.; EKESI, S.; KELEMU, S. Waste to value: global perspective on the impact of entomocomposting on environmental health, greenhouse gas mitigation and soil bioremediation. *Science of the Total Environment*, v. 902, p. 166067, 2023

BARRAGÁN-FONSECA, K. Y.; NURFIKARI, A.; VAN DE ZANDE, E. M.; WANTULLA, M.; VAN LOON, J. J.; DE BOER, W.; DICKE, M. Insect Frass and exuviae to promote plant growth and health. *Trends in Plant Science*, v. 27, p. 646–654, 2022.

BLAT, S.F.; BRANCO, R.B.F.; TRANI, P.E. Desempenho de cultivares de alface crespa em Riberão Preto (SSP) o cultivo de primavera. *Pesquisa & Tecnologia*, 8(105) 1-9, 2011.

BORGES, A. L. Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

BLINK/CROPLIFE BRASIL. Dados de mercado de bioinsumos – safra 2024/2025. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/publicacao/bioinsumos-do-brasil-dados-de-mercado-do-setor/>. Acesso em: jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Dispõe sobre a produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, a pesquisa, a experimentação, a embalagem, a rotulagem, a propaganda, o transporte, o armazenamento, as taxas, a prestação de serviços, a destinação de resíduos e embalagens e os incentivos à produção de bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal, inclusive sobre a produção com objetivo de uso próprio. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 23 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Dispõe sobre os produtos, processos e tecnologias de base biológica destinados à produção agropecuária, aquícola e florestal. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 26 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Ofício-circular nº 33/2023/CGI/DIPOA/SDA/MAPA. Disponível em:

https://wikisda.agricultura.gov.br/manual_fiscalizacao_aa/manual_autocontrole_aa/circ_2023-33_aa_processamento_de_insetos.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Ofício-Circular nº 33/2023/CGI/DIPOA/SDA/MAPA, de 7 de julho de 2023. Assunto: Alimentação animal. Procedimentos de registro, fiscalização, rotulagem e trânsito de produtos à base de insetos para alimentação animal. Brasília, DF, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 maio 2020, p. 105–106.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares. Brasília, DF: MMA, 2022. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos 2018. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2020.

BRAZ D. B.; SANTOS L. C. Desenvolvimento inicial da plântula de pepino em função da adubação orgânica de casca de banana. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Metropolitana de Anápolis, Anápolis, Goiás, 2018.

CARVALHO VIDAL, M.; PEREIRA DIAS, R. Bioinsumos a partir das contribuições da Agroecologia. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 18, n. 1, p. 171–192, 2023.

CARVÃO, F. F. M. Efeito da utilização de diferentes substratos no valor nutritivo de tenébrions (*Tenebrio molitor* L.). 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Zootécnica) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2020

CORTES ORTIZ, J. A. et al. Insect mass production technologies. In: DOSSEY, A. T.; MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G. (ed.). Insects as sustainable food ingredients. London: Academic Press, 2016. p. 153–201.

DAMATTO JUNIOR, E. R.; BOAS, R. L. V.; LEONEL, S.; FERNANDES, D. M. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 28, n. 3, p. 546-549, 2006

DE CARVALHO, N. M.; MADUREIRA, A. R.; PINTADO, M. E. The potential of insects as food sources – a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 60, p. 3642–3652, 2020. DOI: 10.1080/10408398.2019.1703170.

DE SOUZA, M.S.; SALMAN, A.K.D.; ANJOS, M.R.; SAUSEN, D.; PEDERSOLI, M.A.; PEDERSOLI, N.R.N.B. Serviços ecológicos de insetos e outros artrópodes em sistemas agroflorestais. Revista Educamazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente, v.20, n.1, p.22-35, 2018.

DRINKWATER, L. E.; SNAPP, S. S. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. *Advances in Agronomy*, v. 92, p. 163–186, 2007.

ERISMAN, J. W., SUTTON, M. A., GALLOWAY, J., KLIMONT, Z. AND W. WINIWARTER. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience* Vol.1, pp 636- 639, 2008.

ERRICO, S.; SPAGNOLETTA, A.; VERARDI, A.; MOLITERNI, S.; DIMATTEO, S.; SANGIORGIO, P. *Tenebrio molitor* as a source of interesting natural compounds, their recovery processes, biological effects, and safety aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 21, p. 148–197, 2022.

FEHRENBACH, H.; GIEGRICH, J.; REINHARDT, G.; SAYER, U.; GRETZ, M.; LANJE, K. Criteria for a sustainable use of bio-energy on a global scale. Dessau-Roßlau, Germany: German Federal Environment Agency, 2008.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Biofertilizers market size, share & COVID-19 impact analysis, by type (nitrogen-fixing, phosphate-solubilizing, and others), by application (soil treatment, seed treatment, and others), by crop type (cereals, pulses & oilseeds, fruits & vegetables, and others), and regional forecast, 2022–2029. Pune, India: Fortune Business Insights, 2022. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/biofertilizers-market-102748>. Acesso em: 25 jun. 2025.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. *Entomologia Agrícola*. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP: FEALQ, 2002, 920p.

GHOSH, S., LEE, S.-M., JUNG, C., E MEYER-ROCHOW, V. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, volume: 20, p.686-694, 2017.

GOLD, M.; TOMBERLIN, J.K.; DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; MATHYS, A. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: a review. *Waste Management*, v. 82, p. 302–318, 2018.

GOURLEY, C. J. P.; AARONS, S. R.; POWELL, J. P. Nitrogen use efficiency and manure management practices in contrasting dairy production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 147, p. 73–81, 2012.

GRAU, T.; VILCINSKAS, A.; JOOP, G. Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the productions of food and feed. *Zeitschrift für Naturforschung*, v.72, n.9/10, p.337-349, 2017.

HARSÁNYI, E.; JUHÁSZ, C.; KOVÁCS, E.; HUZSVAI, L.; PINTÉR, R.; FEKETE, G.; VARGA, Z.I.; ALEKSZA, L.; GYURICZA, C. Evaluation of organic wastes as substrates for rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* larvae as

alternative feed supplements. *Insects*, v. 11, p. 604, 2020.

HAWKEY KJ, LOPEZ-VISO C, BRAMELD JM, PARR T, SALTER AM. Insects: a potential source of protein and other nutrients for feed and food. *Annual Review of Animal Bioscience*, v. 9, p. 333–354, 2020.

HE, L.; ZHANG, Y.; DING, M. Q.; LI, M. X.; DING, J.; BAI, S. W.; et al. Sustainable strategy for lignocellulosic crop wastes reduction by *Tenebrio molitor* Linnaeus (mealworm) and potential use of mealworm Frass as a fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, v. 325, p. 129301, 2021.

HENRICHSEN, L. H.; PERUZZO, R.; ECKISTEIN, A. M.; MENDES, F. O.; TRAMONTINI, L. S.; ROSA, S. F. Utilização de diferentes doses de fertilizante mineral na avaliação de componentes produtivos da alface americana. 7° MOEPEX, 2018.

HILLEL, D. *Soil in the environment: crucible of terrestrial life*. New York: Academic Press, 2008.

HONG, J.; HAN, T.; KIM, Y. Y. Mealworm (*Tenebrio molitor* larvae) as an alternative protein source for monogastric animal: a review. *Animals*, v. 10, n. 11, p. 2068, 2020
IHS MARKIT. Annual New Product Introductions: Biological vs Conventional. Disponível em: <https://ihsmarkit.com/research-analysis/biologicals_innovation.html>. Acesso em: 5 dez. 2023.

HOUBEN, D.; DAOULAS, G.; DULAURENT, A. M. Assessment of the short-term fertilizer potential of mealworm Frass using a pot experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 5, p. 1–10, 2021

INTERNATIONAL Plant Nutrition Institute - IPNI. Evolução do consume aparente de N, P e K e total de NPK no Brasil. 2017.

IWANICKI, N. S; DELALIBERA JUNIOR, I. Panorama dos bioinsumos no Brasil e no mundo. *Visão Agrícola, Piracicaba*, n. 15, p. 10–14, 2025.

KAMIMURA, R. *Agregação de valor à nutrição a partir do uso de farinha de insetos: aves e suínos*, Editora Científica Digital, 2021

KIEHL, E. J. *Novo fertilizantes orgânicos/ Edmar José Kiehl, 1ª edição do autor*, Piracicaba, 2010

KIEHL, E. J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 4. ed. Piracicaba: 2004. 173 p.

LANGE, K. W.; NAKAMURA, Y. Edible insects as future food: chances and challenges. *Journal of Future Foods*, v. 1, p. 38–46, 2021. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2021.10.001.

LNE – Department of Life Science, Nature and Energy. Development of an expert system for advising carbon management in agricultural soils. Brussels, 2006. (Report LA BOD/STUD 2006 01 04).

MADAU, F. A., ARRU, B., FURESI, R., & PULINA, P. Insect farming for feed and food

production from a circular business model perspective. *Sustainability*, v. 12, p. 5418, 2020.

MAKKAR, H.P.S., TRAN, G., HEUZÉ, V. AND ANKERS, P. State of the art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, v. 197, p. 1–33, 2014. ISSN 0377-8401.

MANCINI, S.; FRATINI, F.; TUCCINARDI, T.; DEGL'INNOCENTI, C.; PACI, G. Effects of different blanching treatments on microbiological profile and quality of the mealworm (*Tenebrio molitor*). *Journal Of Insects as Food and Feed*, v. 5, n. 3, p. 225-234, 2019.

MANUAL. Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016.

MATJAZ, O.; BOGOMIR, M.; PETER, V. Biogas production from maize hybrids. *Biomass and Bioenergy*, v. 15, p. 38–45, 2010.

MAZZARO, Márcio A. T.; VIDAL, Mariane C.; FROTA, Lucy F. Bioeconomia e os bioinsumos. In: PARRA, Rafaela A. (org.). *Direito aplicado ao agronegócio*. 3. ed. Londrina, PR: Editora Thoth, 2022. p. 573–591.

MELGAR L, G.; HERNÁNDEZ A, A.; SALINAS C, A. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 18, n. 4, p. 1166–1191, 2019.

MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G.; KAY, S.; SHAPIRO-ILAN, D. I.; TEDDERS, W. L. Impact of adult weight, density, and age on reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, v. 47, n. 3, p. 208–220, 2012. ISSN 0749-8004.

MORUZZO, R.; RICCIOLI, F.; ESPINOSA DIAZ, S.; SECCI, C.; POLI, G.; MANCINI, S. Mealworm (*Tenebrio molitor*): potential and challenges to promote circular economy. *Animals*, v. 11, p. 2568, 2021.

NOGALSKA, A.; PRZEMIENIECKI, S. W.; KRZEBIETKE, S. J.; ZAŁUSKI, D.; KOSEWSKA, A.; SKWIERAWSKA, M.; SIENKIEWICZ, S. The effect of mealworm Frass on the chemical and microbiological properties of horticultural peat in an incubation experiment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 21, 2022.

NYANZIRA A, MACHONA O, MATONGORERE M, CHIDZWONDO F, MANGOYI R. Analysis of Frass Excreted by *Tenebrio molitor* for Use as Fertilizer. *Entomology and Applied Science Letters*, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 29-37, 2023.

PARN, J.; PINAY, G.; MANDER, U. Indicators of nutrient transport from agricultural catchments under temperate climate: a review. *Ecological Indicators*, v. 22, p. 4–15, 2012.

PARRA, J.R.P. A evolução das dietas artificiais e suas interações em ciência e

tecnologia. In: PANIZZI, A.R.; PARRA, J.P.R. (Ed). Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas. Embrapa: Brasília, 2009, p.91-174.

PINTO, J. M.; COSTA, N. D.; SILVA, D. J.; LIMA, M. A. C.; GAVA, C.; CALGARO, M. Aplicação de biofertilizantes em cultivo orgânico de melão. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 21., 2011, Petrolina. Anais... Petrolina: ABID, 2011.

POVEDA, J. Insect Frass in the development of sustainable agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 41, p. 1–10, 2021

REETZ, H. F. Fertilizantes e seu uso eficiente. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p. (IFA, maio 2016).

RIBEIRO, S. A.; MATIAS, S. S. R.; SOUSA, R. R.; ALIXANDRE, T. F.; SOUZA, W. O. Aplicação de fontes orgânicas e mineral no desenvolvimento e produção do melão no sul do Estado do Piauí. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v. 9, n. 1, p. 320-325, jan./mar. 2014.

RUMBOS, C. I., KARAPANAGIOTIDIS, I. T., MENTE, E., PSOFAKIS, P. & ATHANASSIOU, C. G. Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Sci. Rep.* 10, 1–10 (2020).

SANTOS, G C. Climatização de criadouro de Tenébrio Molitor utilizando arduino e célula Peltier. 2018. 7 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo de Automação Industrial) – Instituto Federal de Educação, Lagarto, 2018

SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, R. A.; LIMA, F. S. Respostas agronômicas da alface à aplicação de esterco orgânico. *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, v. 9, n. 2, p. 85–92, 2019.

SIEMIANOWSKA, E., KOSEWSKA, A., ALJEWICZ, M., SKIBNIEWSKA, K., POLAK-JUSZCZAK, L., JAROCKI, A. AND JĘDRAS, M. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences*, v. 4, n. 6, p. 287–291, 2013.

SOGARI, G.; BELLEZZA ODDON, S.; GASCO, L.; VAN HUIS, A.; SPRANGHERS, T.; MANCINI, S. Recent advances in insect-based feeds: from animal farming to the acceptance of consumers and stakeholders. *Animal*, v. 17, 2023.

SOGARI, G.; AMATO, M.; BIASATO, I.; CHIESA, S.; GASCO, L. The potential role of insects as feed: a multi-perspective review. *Animals*, v. 9, p. 119, 2019. DOI: 10.3390/ani9040119.

SUPERIOR HEALTH COUNCIL. Food safety aspects of insects intended for human consumption. Scientific Committee of the Federal Agency for the Safety of the Food Chain, v. 9160, p. 1-23, 2014.

SUTTON, M. A.; BLEEKER, A.; HOWARD, C. M.; BEKUNDA, M.; GRIZZETTI, B.; DE VRIES, W.; VAN GRINSVEN, H. J. M.; ABROL, Y. P.; ADHYA, T. K.; BILLEN, G.; DAVIDSON, E. A.; DATTA, A.; DIAZ, R.; ERISMAN, J. W.; LIU, X. J.; OENEMA, O.; PALM, C.; RAGHURAM, N.; REIS, S.; SCHOLZ, R. W.; SIMS, T.; WESTHOEK, H.;

ZHANG, F. S. Our Nutrient World: the challenge to produce more food and energy with less pollution. Edinburgh: Centre for Ecology and Hydrology, 2013.

TAVARES, A. T., VAZ, J. C., HAESBAERT, F. M., REYES, I. D. P., ROSA, P. H. L., FERREIRA, T. A., & NASCIMENTO, I. R. Adubação npk como promotor de crescimento em alface, 2019.

TEDESCO, M.J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

THEODORO, S.H.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. *Agriculturas*, v. 10, n. 1, p. 22–28, 2013.

TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*, v.72, 169-183, 2000.

UNIVERSITY OF THESSALY; STAVROS NIARCHOS FOUNDATION. Evaluation of various commodities. [S.l.]: University of Thessaly, 2020.

VAN BROEKHOVEN, S. Quality and safety aspects of mealworms as human food. 2015. Tese (Doutorado) – Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 2015.

VAN BROEKHOVEN, S.; OONINCX, D.G.; VAN HUIS, A.; VAN LOON, J.J. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, v. 73, p. 1–10, 2015.

VAN HUIS, A. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 6, p. 27–44, 2020. DOI: 10.3920/JIFF2019.0017.

VAN HUIS, A.; VAN ITTERBEECK, H.; VANTOMME, P. Edible insects: future prospects for food and feed security. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, 2. ed. Campinas: IAC, 1996.

VANEECKHAUTE, C.; MEERS, E.; MICHELS, E.; CHRISTIAENS, P.; TACK, F. M. G. Ecological and economic benefits of the application of bio-based mineral fertilizers in modern agriculture. *Biomass and Bioenergy*, v. 49, p. 239–248, 2013a.

VELDKAMP, T.; BOSCH, G. Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, v. 5, n. 3, p. 45–50, 2015.

WANGEN, D. R. B.; CARDOSO, M. T. R.; FREITAS, R. O.; FERNANDES, E. F.; DUARTE, G. M.; PINTO, A. F. J. Borra de café na produção de mudas de alface, *Lactuca sativa* L. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, p. 518-524, 2015

WORLD ECONOMIC FORUM. Alternative proteins: The global food system's protein transition. Geneva: WEF, 2018.

WATSON, C.; SCHLOSSER, C.; VOGERL, J.; WICHERN, F. Excellent excrement? Frass impacts on a soil's microbial community, processes and metal bioavailability. *Applied Soil Ecology*, v. 168, p. 104110, 2021.

WATSON, C.; PREIBING, T.; WICHERN, F. Plant nitrogen uptake from insect Frass is affected by the nitrification rate as revealed by urease and nitrification inhibitors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 5, p. 721840, 2021.

ZONTA, E.; STAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Cap. 14. p.263 -303.

ZUNZUNEGUI, I.; MARTÍN-GARCÍA, J.; SANTAMARÍA, Ó.; POVEDA, J. Analysis of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) frass as a resource for a sustainable agriculture in the current context of insect farming industry growth. *Journal of Cleaner Production*, v. 460, 2024.

ŻUK-GOŁASZEWSKA, K.; GAŁĘCKI, R.; OBREMSKI, K.; SMETANA, S.; FIGIEL, S.; GOŁASZEWSKI, J. Edible insect farming in the context of the EU regulations and marketing – an overview. *Insects*, v. 13, p. 446, 2022. DOI: 10.3390/insects13050446.

8 ANEXOS

ANEXO A – LAUDO DA ANÁLISE QUÍMICA DA FARINHA DE TENÉBRIO UTILIZADA NO EXPERIMENTO.

Amostra	Umidade 65°C	N ⁽¹⁾	P ₂ O ₅ ⁽³⁾	K ₂ O ⁽²⁾	COT ⁽⁵⁾	M.O %	pH ⁽⁴⁾	Relação C/N ⁽⁵⁾	CE (µS/cm) 10g:100	Relação ⁽⁵⁾ CTC/C
..... %										
01	9,51	8,68	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

(1) Teor total.

(2) Teor solúvel em água.

(3) Teor Total, determinado pelo método espectrofotométrico do ácido molibdovanadofosfórico.

(4) pH em CaCl₂ 0,01M (1:5).

(5) COT (Carbono orgânico Total), relação C/N, CTC, relação CTC/C, Ni e Si, **Resultados expressos em base seca.**

(6) CE - Condutividade Elétrica a 25°C, relação 10:100.

Metodologia Utilizada: Metodologia descrita no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (MAPA, 2017), métodos analíticos aprovados pela IN nº 37/2017.

ANEXO B – LAUDO DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO UTILIZADO NO EXPERIMENTO.

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm ³	Ca cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³
20002		--	38	4,8	5,7	11,7	116,0	3,7	1,3	2,5	0,9

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm ³	CTC pH7,0 cmolc/dm ³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
20002		6,23	9,97	25,78	37,53	2,98	25,53	9,03	2,83	8,58	3,03

METODOLOGIAS: Argila - densimetria; pH água e SMP - potenciometria; P - Mehlich-1/ colorimetria; K - Mehlich-1/fotometro de chamas; MO - espectroscopia; Al, Ca e Mg - KCl/ espectrofotometria de absorção atômica; Os demais parâmetros são obtidos por cálculo.

