

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Mariana Tomazi

UTILIZAÇÃO DO FRASS DE LARVAS DA BLACK SOLDIER
FLY (*Hermetia illucens* L.) COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL
NA PRODUÇÃO DE TABACO (*Nicotiana tabacum* L.)

Mariana Tomazi

UTILIZAÇÃO DO *FRASS* DE LARVAS DA BLACK SOLDIER FLY
(*Hermetia illucens* L.) COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL NA PRODUÇÃO
DE TABACO (*Nicotiana tabacum* L.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador (a): Prof. Dr. Andreas Kohler

Santa Cruz do Sul

2026

RESUMO

A fertilização orgânica é uma estratégia promissora para reduzir a dependência de fertilizantes minerais e contribuir para a redução de impactos ambientais, como emissões de gases de efeito estufa e contaminação do solo e da água. Esta dissertação foi desenvolvida em formato de artigos científicos, abrangendo uma revisão bibliométrica da literatura e um estudo experimental. O primeiro consistiu em uma revisão integrada de literatura e análise bibliométrica sobre o uso do *Frass*, um subproduto resultante do processo de bioconversão realizado pela larva da mosca de Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) que consiste principalmente de excrementos da larva, mas também, em menores quantidade, de exúvias larvais e de resíduo não consumido, que apresenta potencial uso como fertilizante agrícola, em tomate (*Solanum lycopersicum*) e batata (*Solanum tuberosum*). A análise identificou 14 artigos relevantes e quatro clusters temáticos: produção e agricultura circular; efeitos agrônômicos sobre crescimento, produtividade e qualidade; saúde do solo e dinâmica microbiana; e propriedades bioestimulantes e fitossanitárias. O *Frass* apresentou benefícios nutricionais e fisiológicos em tomate e efeitos de manejo sustentável em batata. O segundo estudo avaliou o efeito do *Frass* na cultura do tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) em campo, comparando diferentes combinações de *Frass* com fertilização inorgânica convencional. A substituição parcial do fertilizante mineral manteve crescimento, produtividade e qualidade química (nicotina e açúcares) da cultura próximas às do controle. Conclui-se que o *Frass* de Black Soldier Fly é uma alternativa viável e complementar para fertilização orgânica, capaz de integrar estratégias de agricultura sustentável, reduzir impactos ambientais e minimizar a dependência de insumos químicos, embora sejam necessárias pesquisas adicionais sobre padronização, doses e influência da dieta larval.

Palavras-chave: excremento larval; fertilizante orgânico; sustentabilidade; Solanaceae

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3	METODOLOGIA.....	15
	REFERÊNCIAS	17

1 INTRODUÇÃO

O uso de fertilizantes sintéticos é de extrema importância para a agricultura, devido ao esgotamento de nutrientes disponíveis no solo resultante do cultivo intensivo de lavouras. No entanto, sua aplicação excessiva causa impactos ambientais gerados pelos seus poluentes (LITSKAS, 2023; YAHAYA et al., 2023). As principais fontes de poluição são provenientes da produção e da aplicação em campo, contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e lixiviação gerando perda de nutrientes e contaminação de águas subterrâneas (WALLING; VANECKHAUTE, 2020).

Para lidar com os desafios enfrentados pela agricultura moderna, o uso dos fertilizantes orgânicos é debatido e com enorme aceitação, mesmo que os agricultores precisem melhorar seus conhecimentos para aplicação em programas de fertilização (ALLAN et al., 2022). O uso de fertilizantes orgânicos pode fornecer nutrientes essenciais, melhorar a estrutura e aumentar a atividade microbiana, aumentando assim a fertilidade do solo e a sustentabilidade da agricultura. Além disso, os fertilizantes orgânicos promovem a redução do consumo de combustíveis fósseis utilizados na produção de fertilizantes sintéticos, contribuindo ainda mais para a redução das emissões de GEE (BADAGLIACCA et al., 2024).

Devido ao aumento da população humana, a criação de insetos para a alimentação e ração é uma alternativa amplamente estudada para a produção de proteína animal, resultando também na produção de excremento nesse processo do desenvolvimento larval da criação dos insetos. O uso de excrementos de insetos como fertilizante pode ajudar a limitar o uso de agroquímicos e contribuir para o desenvolvimento da agricultura sustentável. Vários estudos, citados por Poveda (2021) em sua revisão, sugerem ser um uso eficiente como na contribuição de nutrientes para o solo e planta, especialmente o nitrogênio.

Os insetos podem transformar fluxos secundários orgânicos de baixo valor (esterco e restos de alimentos) em produtos proteicos de alto valor. Um exemplo que pode ser citado são, as larvas da mosca *Hermetia illucens* L., popularmente chamada de Black Soldier Fly (BSF), pois ela pode ser usada para biodegradação e biotransformação, se encaixando na política de economia circular (VAN HUIS, 2021). Os sistemas de bioconversão baseados em larvas de BSF são uma solução sustentável para a gestão do descarte de resíduos na fonte para utilizar completamente os resíduos alimentares (EBENEZAR et al., 2021).

Esse excremento, denominado de *Frass*, é o subproduto que consiste em excrementos da larva (em maior quantidade) e pelas exúvias larvais e o resíduo não consumido (em menores

quantidades), apresenta uma composição variável de macronutrientes, Nitrogênio (N), Potássio (P) e Fósforo (K), influenciada pela dieta alimentar proporcionada às larvas. O *Frass* pode funcionar como fertilizante orgânico para a agricultura, enriquecendo o solo com nutrientes e bactérias benéficas, fornecendo efeitos positivos no crescimento das plantas ou apenas como um condicionador de solo (objetivo de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo), se este apresentar baixo conteúdo de nutrientes (LOMONACO, et al., 2024 SCHMITT; DE VRIES, 2020)

Diversos estudos relatam e/ou comprovam que o *Frass* é considerado sustentável, beneficiando a saúde do solo e da produtividade das culturas, reduzindo assim a dependência excessiva de fertilizantes minerais (BEESIGAMUKAMA et al., 2021; MENINO et al., 2021; TANGA et al., 2022; CHAVEZ et al., 2024; LOMONACO et al., 2024)

O tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) membro da família Solanaceae, é uma importante cultura econômica em todo o mundo, sendo matéria prima para a indústria de cigarros, onde o Brasil ocupa o terceiro lugar como maior produtor de tabaco em folha (AO, 2022; DROPE et al., 2018; REN, 2015). E para o cultivo dessa grande cultura é necessário a aplicação de fertilização NPK química convencional pelos agricultores, prática essa que contribui para impactos ambientais, como alteração na qualidade do solo e da água (HUSSAIN et al., 2017).

Alternativas sustentáveis ganham interesse para mitigação desses impactos e a utilização de fertilização orgânica é uma alternativa, pois estudos já indicam que o uso de fertilizantes orgânicos (especialmente de origem animal), seja sozinho ou em conjunto ao mineral, melhoram rendimento, qualidade do tabaco e saúde do solo (CHEN et al., 2022; JIANG et al., 2022; LIU et al., 2022; WANG et al., 2024). Assim se torna necessária a busca por novas fontes orgânicas de nutrientes para uso como fertilizantes no tabaco, visando manter a qualidade do produto agrícola, mas também mitigar impactos ambientais gerados pela fertilização inorgânica convencional da plantação.

Em busca dessas alternativas sustentáveis ao uso de fertilizantes minerais, foi realizado ensaio de campo com *Frass* de BSF na substituição das adubações em diferentes arranjos com fertilizante convencional mineral para tabaco, estudo esse, qual não há registros de outras pesquisas, com intuito de observar como essa cultura amplamente disseminada na região sul do Brasil reage a esse tipo de fertilização orgânica, servindo como alternativa sustentável ao uso de fertilizantes minerais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Alterações climáticas globais assim como a degradação dos solos são questões preocupantes nos dias de hoje, além do desafio de garantir a segurança alimentar para uma população mundial cada vez maior. Nesse contexto, os fertilizantes químicos são importantes nos sistemas de produção de alimentos para aumentar a produção agrícola. No entanto a gestão de fertilizantes de N, P e K gera um conflito de objetivos, entre a segurança alimentar e problemas ambientais (mudanças climáticas, eutrofização...) (SANTORUFO et al., 2021; PENUELAS; COELLO; SARDANS, 2023).

Os gases de efeito estufa (GEE) são influenciados pelo uso de fertilizante químico de N na agricultura, pois o N_2O é liberado durante a conversão de parte do N em nitratos quando aplicado no solo (MAUCIERI et al., 2021; HAN et al., 2022). Surge assim a necessidade dos agricultores se adaptarem as novas condições ambientais, situação que destacou o interesse por fertilizantes orgânicos, sendo uma alternativa substituta para a fertilização química, uma estratégia para alcançar uma agricultura sustentável (ZHAI et al., 2022).

Um meio de obter essas novas alternativas é através da bioconversão de resíduos, processo que vem recebendo atenção nos últimos anos, com o uso de larvas de insetos reconhecidas por sua elevada capacidade de transformar resíduos orgânicos em biomassa e subprodutos de valor agregado. É o caso de *H. illucens*, também conhecida como Black Soldier Fly (BSF), pois são capazes de reciclar grande quantidade de resíduos orgânicos transformando-os em proteínas e lipídios de alto valor na forma de biomassa larval, podendo serem utilizadas para alimentação humana e animal, além de liberarem excrementos com diversas características que as tornam atraentes para uso como fertilizantes orgânicos (LOMONACO, et al., 2024; SCHMITT; DE VRIES, 2020). A integração das larvas de BSF no processo de bioconversão de resíduos otimiza a eficiência na decomposição e redução significativa do volume de resíduos, representando uma solução ambientalmente sustentável para a gestão de resíduos. (SMETANA; SCHMITT; MATHYS, 2019; SILVA; KÖHLER; DE VARGAS, 2024).

No trabalho de Watson e colaboradores (2021), os autores demonstram o alto potencial do excremento de insetos para dois empregos: como um aditivo que pode beneficiar a biomassa microbiana do solo e/ou como um fertilizante orgânico que pode fornecer nutrientes adequados para permitir o crescimento das plantas em um substrato de baixa fertilidade. Mas alguns aspectos devem ser avaliados para sua utilização eficiente, entre eles: o teor de nutrientes e a

disponibilidade do excremento para as plantas (o que depende das espécies larvais, regime alimentar, processamento e armazenamento). Além disso, as taxas e o momento ideais de aplicação do excremento, de modo a atender adequadamente à demanda nutricional da cultura.

Considerando esses aspectos, cresce o interesse científico e tecnológico pelo uso do excremento de insetos na agricultura. O setor de fertilizantes, por sua vez, necessita de sistemas de produção inovadores e sustentáveis para reduzir a poluição ambiental, associados ao uso intensivo de insumos minerais. Isso gerou um aumento no interesse por aplicações práticas dos excrementos de insetos. Com estudos em larga escala começando a explorar seu potencial na agricultura, essas pesquisas iniciais demonstraram perspectivas promissoras do uso de excremento de BSF como fonte de nutrientes para o solo e plantas (KLAMMSTEINER et al., 2020).

O *Frass* é um subproduto resultante do processo de bioconversão realizado pela larva da mosca de BSF, que consiste principalmente de excrementos da larva, mas também, em menores quantidade, de exúvias larvais e de resíduo não consumido. Essa mistura de componentes apresenta diversas características resultando em um material capaz de fornecer nutrientes e matéria orgânica ao solo, além de influenciar sua microbiota e o desenvolvimento das plantas, despertando assim o interesse do seu uso na agricultura como fertilizante orgânico (SCHMITT; DE VRIES, 2020). Neste contexto, os excrementos da BSF podem representar um elemento importante da agricultura circular sustentável pois melhoram a ciclagem e o retorno de nutrientes ao solo (GÄRTTLING; SCHULZ, 2022).

A avaliação dos efeitos da fertilização com *Frass* de BSF tem sido objeto de interesse na literatura científica, com diversos estudos buscando compreender os seus potenciais benefícios como fertilizante orgânico (SETTI et al., 2019; SMETANA; SCHMITT; MATHYS, 2019; GÄRTTLING; KIRCHNER; SCHULZ, 2020; SONG et al., 2021).

Os resultados do trabalho de Menino et al., (2021) mostraram que o uso do *Frass* apresentou efeito significativo na produção de azevém. Além disso, foram observados indícios positivos em relação a sustentabilidade da produtividade do solo, com aumento significativo de matéria orgânica, P_2O_5 e K_2O .

O estudo de Tanga e colaboradores (2022) na cultura do milho, revelou o alto valor como fertilizante do excremento de BSF. Os autores observaram que sua integração com o fertilizante mineral NPK pode ser uma alternativa promissora para melhorar a saúde do solo e promover uma produção sustentável de milho. Além disso, essa estratégia pode resultar em

maiores retornos econômicos, sendo particularmente relevante para pequenos agricultores em países de baixo e médio rendimento, ao contribuir para o aumento da renda familiar e para a segurança alimentar.

Chavez et al. (2024) concluíram em seu estudo utilizando alface e rúcula que, a qualidade nutricional melhorou utilizando *Frass* de BSF na suplementação. Além disso, a alface apresentou respostas positivas em termos de produtividade e desenvolvimento vegetativo. Resultados semelhantes já haviam sido encontrados em Dzepe et al. (2022) sugerindo que o *Frass* de BSF melhora o crescimento das culturas devido a sua disponibilidade de nutrientes, além de melhorar o rendimento da produção de alfaces.

Lomonaco et al. (2024) relatam que diversos estudos mostram que o efeito do *Frass* de BSF no crescimento das plantas dependem da cultura avaliada e da quantidade adequada aplicada. De modo geral, quando utilizado em quantidades adequadas, o frass pode apresentar efeitos benéficos no crescimento e desenvolvimento vegetativo das plantas. Esses efeitos já foram observados em outras culturas como feijão francês, tomate e couve (ANYEGA et al., 2021); Couve-Frisada (ROMANO et al., 2023); e manjerição (RADZIKOWSKA-KUJAWSKA et al., 2023).

Diversos estudos relatam resultados benéficos e promissores em diferentes culturas vegetais, indicando seu potencial para a substituição parcial ou total do fertilizante químico pelo orgânico. Nesse contexto o fertilizante de excrementos de BSF deve ser considerado uma fonte acessível e sustentável de nutrientes para melhorar a fertilidade do solo e o rendimento das culturas, além de diminuir os impactos ambientais gerados pelos fertilizantes minerais (BEESIGAMUKAMA et al., 2022).

Atualmente, a regulamentação do *Frass* de insetos como fertilizante apresenta avanços, porém ainda ocorre de forma indireta e heterogênea entre diferentes países. No Brasil, não existe uma normativa específica que defina explicitamente o *Frass*; contudo, sua produção e comercialização são enquadradas na legislação geral de fertilizantes, especialmente como fertilizante orgânico, conforme estabelecido pela Lei nº 6.894/1980, pelo Decreto nº 4.954/2004 e pela Instrução Normativa SDA nº 61/2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que dispõe sobre definições, exigências, garantias, registro e rotulagem de fertilizantes orgânicos e biofertilizantes (BRASIL, 2004; BRASIL, 2020).

No contexto internacional, a União Europeia apresenta uma regulação mais específica, no qual o *Frass* é classificado como subproduto derivado da criação de insetos, devendo atender

simultaneamente às normas sanitárias para subprodutos de origem animal (EUROPEAN COMMISSION, 2021). Esses marcos regulatórios evidenciam a crescente institucionalização do *Frass* como insumo agrícola, com ênfase em critérios de segurança sanitária, qualidade agronômica e rastreabilidade.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, a pesquisa foi estruturada em duas etapas complementares. A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliométrica da literatura, abordando os resultados disponíveis sobre o estado atual das pesquisas com *Frass* de BSF em culturas de tomate e batata. A busca bibliográfica foi realizada na base Web of Science, utilizando combinação de palavras-chave relacionadas à *black soldier fly*, frass e solanáceas. Bases adicionais (Scopus e Science Direct) foram consultadas apenas para embasamento teórico. Após triagem dos resumos, 14 artigos experimentais publicados nos últimos cinco anos foram selecionados para análise. O mapeamento bibliométrico de palavras-chave foi conduzido no software VOSviewer (v. 1.6), utilizando análise de coocorrência, método de contagem completa e critério mínimo de duas ocorrências para formação dos clusters.

A segunda etapa corresponde à parte experimental da pesquisa sobre o uso do *Frass* como fertilizante orgânico para tabaco, desenvolvido em uma área de experimentação agrícola no Centro Global de Pesquisa, Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias, da empresa Alliance One - AOB, localizado no município de Passo do Sobrado, região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

A área experimental está inserida em região de clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por verões quentes, invernos amenos e precipitação bem distribuída ao longo do ano (ALVARES et al., 2013)

O solo classificado como solos derivados de basalto da Formação Serra Geral, classificados como Latossolo Vermelho Distrófico típico segundo o *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS) (SANTOS et al., 2018), são solos profundos (> 250 cm), friáveis, bem drenados, de textura argilosa com boa proporção de areia no horizonte superficial. Apesar da boa retenção de água, são naturalmente ácidos e de baixa fertilidade, demandando calagem e adubação fosfatada e potássica (STRECK, et al., 2018).

O experimento foi conduzido de agosto a dezembro de 2024, em delineamento de blocos casualizados, com 4 repetições de 6 tratamentos de fertilização com *Frass* de *Hermetia illucens* e fertilizantes minerais convencionais. As parcelas continham 24 plantas, sendo avaliadas apenas as linhas centrais. O *Frass*, com composição aproximada NPK 04:04:2,5, foi aplicado conforme manejo de adubação de base e/ou cobertura em *Nicotiana tabacum*.

O crescimento das plantas de *Nicotiana tabacum* foi avaliado a cada 14 dias durante o ciclo experimental, utilizando quatro plantas por tratamento. Foram mensurados altura das plantas, número de folhas e dimensões foliares (comprimento e largura). A coloração das folhas foi analisada visualmente com auxílio da escala Munsell Plant Tissue Color Chart, visando identificar possíveis alterações de tonalidade entre os tratamentos.

A produtividade foi determinada por meio de cinco colheitas sequenciais das folhas, realizadas conforme o ponto de maturação fisiológica. Foram avaliados peso fresco e peso seco das folhas coletadas nas duas linhas úteis de cada parcela experimental. As amostras secas também foram utilizadas para análises químicas, determinando os teores de nicotina e açúcares totais por espectrofotometria UV/Visível.

A qualidade do tabaco curado foi avaliada conforme os critérios da Ministério da Agricultura e Pecuária, considerando classificação comercial, Índice de Qualidade do Grupo (IQG) e rendimento econômico em US\$/kg e US\$/ha. Os dados de crescimento e área foliar foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% utilizando o software BioEstat. Já as variáveis de produtividade, massa fresca e massa seca foram analisadas no PAST, com representação gráfica por boxplots. Para os dados de classificação comercial, utilizou-se ANOVA seguida do teste de Duncan quando observada significância estatística ($p < 0,05$).

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMORIM, H. C. S. et al. Insect frass composition and potential use as an organic fertilizer in circular economies. *Journal of Economic Entomology*, v. 117, n. 4, p. 1261–1268, 2024. <https://doi.org/10.1093/jee/toad234>
- ANEDO, E. O. et al. Unpacking the benefits of black soldier fly frass fertilizer towards nematode suppression and potato production. *Frontiers in Plant Science*, v. 16, p. 1509643, 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1509643>
- ANEDO, E. O., et al. Evolving dynamics of insect frass fertilizer for sustainable nematode management and potato production. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, art. 1343038, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1343038>
- 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. *Front Plant Sci.*, 2021. <https://doi-org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.3389/fpls.2021.680312>
- AO, J. C. et al. Differentially enriched fungal communities in root rot resistant and susceptible varieties of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under continuous monoculture cropping. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 1036091, 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1036091>
- ARABZADEH, G., et al. . Suppressive effect of black soldier fly larvae frass on Fusarium wilt disease in tomato plants. *Insects*, v. 15, n. 8, art. 613, 2024. <https://doi.org/10.3390/insects15080613>
- ASAD, M. A. U. et al. Nitrogen deficiency accelerates rice leaf senescence through ABA signaling and sugar metabolic shifts. *Physiologia Plantarum*, v. 177, p. e70124, 2025. <https://doi.org/10.1111/ppl.70124>
- ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL – AFUBRA. Relatório Rio de atividades Afubra 2024/2025. Passo Fundo: Afubra, 2025. Disponível em: https://issuu.com/afubra/docs/relato_rio_de_atividades_afubra_2024_2025. Acesso em: 3 set. 2025.
- AWAD, M. A. et al. Effect of Black Soldier Fly larvae frass as organic fertilizer on postharvest quality and shelf life of open-field-grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *HortScience*, v. 59, n. 11, p. 1603–1608, 2024. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18086-24>
- BADAGLIACCA, G. et al. Organic fertilizers and bio-waste for sustainable soil management to support crops and control greenhouse gas emissions in Mediterranean agroecosystems: A review. *Horticulturae*, v. 10, p. 427, 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050427>

- 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. *Front. Plant Sci.*, 11:574592, 2020b. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.574592>
- BEESIGAMUKAMA, D. et al. Low-cost technology for recycling agro-industrial residues into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly. *Waste Manag.*, 119, 183–194, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.043>
- BORKENT, A. J.; HODGE, S. Glasshouse evaluation of the Black Soldier Fly waste product HexaFrass™ as an organic fertilizer. *Insects*, v. 12, n. 11, p. 977, 2021. <https://doi.org/10.3390/insects12110977>
- BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm. Acesso em: 05 jan. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, Brasília, 15 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 10, de 13 de abril de 2007. Estabelece critérios para classificação de tabaco em folha curado. *Diário Oficial da União*, Seção 1, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/IN/IN10.htm. Acesso em: 23 ago. 2025.
- BYRAREDDY, V. et al. Sustainable Production of Robusta Coffee under a Changing Climate: A 10-Year Monitoring of Fertilizer Management in Coffee Farms in Vietnam and Indonesia. *Agronomy*, v. 9, p. 499, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090499>
- CHAVEZ, M. Y.; UCHANSKI, M.; TOMBERLIN, J. K. Impacts of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larval frass on tomato production. *Journal of Economic Entomology*, v. 116, n. 5, p. 1490–1495, 2023. <https://doi.org/10.1093/jee/toad150>
- CHAVEZ, M. Y., UCHANSKI, M., TOMBERLIN, J. K. Impacts of black soldier fly, *Hermetia illucens*, larval frass on lettuce and arugula production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 2024. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1399932>
- CHAVEZ, M. Y.; UCHANSKI, M.; TOMBERLIN, J. K. Impacts of black soldier fly, *Hermetia illucens*, larval frass on the emergence and seedling vigor of three vegetable crop species. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 11, n. 5, p. 819–832, 2025. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001263>

- CHEN, D. et al. Functional organic fertilizers can alleviate tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) continuous cropping obstacle via ameliorating soil physicochemical properties and bacterial community structure. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 10, p. 1023693, 2022. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1023693>
- CHEN, L., et al. Dual-Path valorization of organic waste via black soldier fly: synergistic enhancement of feed efficiency, crop quality, and climate mitigation in closed-loop aquaculture. *Waste Management*, v. 209, art. 115186, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115186>
- CHEN, Y. et al. Dynamic changes in physiological and biochemical properties of flue-cured tobacco of different leaf ages during flue-curing and their effects on yield and quality. *BMC Plant Biology*, v. 19, p. 555, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2143-x>
- CHOI, S., HASSANZADEH, N. BSFL frass: a novel biofertilizer for improving plant health while minimizing environmental impact. *Can. Sci. Affair J.*, 2, 41–46, 2019. <https://doi.org/10.18192/csfj.v2i220194146>
- COVIELLO, L., et al. Innovative use of *Hermetia illucens* frass extract as priming to promote tomato and wheat growth and protection. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, v. 3, n. 4, 2024. <https://doi.org/10.1002/sae2.70030>
- CUI, C.; et al. The effect of nitrogen reduction combined with biochar application on the photosynthetic function of tobacco leaves. *Journal of Plant Interactions*, v. 19, p. 2369759, 2024. <https://doi.org/10.1080/17429145.2024.2369759>
- DE SANTIS, E., et al. A multidisciplinary approach for the development of a supply chain in biomass conversion of agrifood waste mediated by larvae of *Hermetia illucens* L.: from rearing to by-product exploitation. *Agriculture*, v. 14, n. 7, art. 1010, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071010>
- DE JESUS, H. I. *et al.* Influence of soil type and temperature on nitrogen mineralization from organic fertilizers. *Nitrogen*, v. 5, n. 1, p. 47–61, 2024. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5010004>
- DEY, A.; ROY, P.; KUMAR, S. Time-dependent release of some plant nutrients from different organic amendments in a laboratory study. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, v. 8, p. 173–188, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0287-1>
- DI GIOIA, F. et al. Zinc and iron agronomic biofortification of Brassicaceae microgreens. *Agronomy*, 9:677, 2019. <https://doi.org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.3390/agronomy9110677>
- DROPE, J. et al. The Tobacco Atlas. 6. ed. Atlanta: American Cancer Society, 2018.
- EBENEEZER, S.; KUMAR, V.; RAMESH, P. Nutritional evaluation and bioconversion performance of *Hermetia illucens*. *Environmental Technology & Innovation*, v. 23, p. 101783, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101783>

- EL-GHAMRY, A. M. et al. The synergistic effects of organic composts and microelements co-application in enhancing potato productivity in saline soils. *Heliyon*, 10:e32694, 2024. <https://doi-org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.heliyon.2024.e32694>
- EL-MOGY, M. M. et al. Comparative effects of different organic and inorganic fertilisers on soil fertility. *Agric. Pol'nohospodárstvo*, 66(3):87–107, 2020.
- EPAGRI/CIRAM. Manual de Boas Práticas Agrícolas – Produção de mudas. Florianópolis: Epagri/Ciram, 2015.
- EUROPEAN COMMISSION. Regulation (EU) 2021/1925, of 5 November 2021. Amending Regulation (EU) No 142/2011 as regards insect protein and derived products. *Official Journal of the European Union*, 2021. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1925/oj>. Acesso em: 05 jan. 2026.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION of the United Nations (FAO). Tomato – Crop information. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- GAO, F. et al. Effects of Organic Fertilizer Application on Tomato Yield and Quality: A Meta-Analysis. *Applied Sciences*, v. 13, p. 2184, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13042184>
- GEBHARDT, C. A physical map of traits of agronomic importance based on potato and tomato genome sequences. *Frontiers in Genetics*, 14:1197206, 2023. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1197206>
- GEBHARDT, C. The historical role of species from the Solanaceae plant family in genetic research. *Theor. Appl. Genet.*, 129, 2281–2294, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2804-1>
- GONCHAROV, A. A. et al. Effects of black soldier fly larval frass addition on the winter wheat ecosystem: a mesocosm experiment. *European Journal of Soil Biology*, 125, 103734, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2025.103734>
- HAN, Z. et al. Impact of organic fertilizer substitution and biochar amendment on net greenhouse gas budget in a tea plantation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 326, p. 107779, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107779>
- HEISEY, S. et al. A single application of compost can leave lasting impacts on soil microbial community structure and alter cross-domain interaction networks. *Front Soil Sci.*, 2022. <https://doi-org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.3389/fsoil.2022.749212>
- HENRY, J. B.; VANN, M. C.; LEWIS, R. S. Agronomic Practices Affecting Nicotine Concentration in Flue-Cured Tobacco: A Review. *Agronomy Journal*, v. 111, n. 6, p. 3067–3075, 2019. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.04.0268>
- HOSSAIN, M. E., SHAHRUKH, S., HOSSAIN, S. A. Chemical fertilizers and pesticides: impacts on soil degradation, groundwater, and human health in Bangladesh, pp. 63–92, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95542-7_4

- HORGAN, F. G, et al. Spent coffee grounds applied as a top-dressing or incorporated into the soil can improve plant growth while reducing slug herbivory. *Agriculture*, v. 13, n. 2, art. 257, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020257>
- HUSSAIN, et al. Hazardous pollutants emissions and environmental impacts from fuelwood burned and synthetic fertilizers applied by tobacco growers in Pakistan. *Environmental Technology & Innovation*, v. 7, p. 169–181, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.02.003>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA): fevereiro de 2025. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.
- INTERNATIONAL POTATO CENTER (CIP). Potato Facts and Figures. Lima: CIP, [s.d.]. Disponível em: <https://cipotato.org/potato/potato-facts-and-figures/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- ISLAM, M. et al. Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties and the growth, yield and quality of tomato in Mymensingh, Bangladesh. *Agriculture*, 7:18, 2017. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040031>
- JIANG, S. et al. Responses of arbuscular mycorrhizal fungi occurrence to organic fertilizer: a meta-analysis of field studies. *Plant Soil*, 469(1–2), 89–105, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05153-y>
- JIANG, S., et al. Biofertilizer derived from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larval frass promotes tomato growth and suppresses bacterial wilt disease. *Bioresource Technology*, v. 440, art. 133408, 2025 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.133408>
- JIANG, Y. et al. Long-term organic fertilizer elevates soil enzyme activities and tobacco quality. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 973639, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.973639>
- KEMBOI, V. J. et al. Biocontrol potential of chitin and chitosan extracted from black soldier fly pupal exuviae against bacterial wilt of tomato. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010165>
- KISA AKYE, J. et al. Chitin-enriched insect frass fertilizer as a biorational alternative for root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) management. *Front. Plant Sci.*, 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1361739>
- KUMAR, A.; SINGH, R.; SHARMA, P. Black soldier fly larvae frass improves wheat productivity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 103, n. 9, 2023. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2227208>
- KURDI, S. et al. Too much of a good thing? Fertilizer subsidies and overapplication. *MENA Working Paper*, v. 27, 2020. <https://doi.org/10.2499/p15738coll2.133652>
- LI, M.; WANG, Y.; ZHANG, H.; LI, X. Edible insects as sustainable nutritional resources. *Foods*, v. 12, p. 4073, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12224073>

- LITSKAS, V. D. Environmental impact assessment for organic and synthetic fertilizers. *Nitrogen*, v. 4, p. 16–25, 2023. <https://doi.org/10.3390/nitrogen4010002>
- LIU, H. *et al.* Organic substitutions improve soil quality and maize yield through increasing soil microbial diversity. *Journal of Cleaner Production*, v. 347, p. 131323, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131323>
- LIU, H. *et al.* Integrated analysis of physiological and metabolic data uncovers essential dynamic mechanisms involved in the maturation of cigar tobacco leaves. *Scientific Reports*, v. 14, p. 82859, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82859-w>
- LOMONACO, G. *et al.* Larval Frass of *Hermetia illucens* as Organic Fertilizer: Composition and Beneficial Effects on Different Crops. *Insects (Basel, Switzerland)*, v. 15, n. 4, p. 293, 2024. <https://doi.org/10.3390/insects15040293>
- LOPES, I. G., YONG, J. W., LALANDER, C. Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. *Waste Manag.*, 142, 65–76, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>
- MALHEIRO, C.; SANTOS, R.; OLIVEIRA, A. Insect frass from upcycling vegetable by-products. *Journal of Environmental Management*, v. 372, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123234>
- MARTÍNEZ-DALMAU, J.; TORRES, R.; LÓPEZ, P. Nitrogen fertilization: risks and policies. *Sustainability*, v. 13, 5625, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13105625>
- MAUCIERI, C. *et al.* No-tillage effects on soil CH₄ fluxes: a meta-analysis. *Soil & Tillage Research*, v. 212, p. 105042, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105042>
- MENINO, R. *et al.* Agricultural value of black soldier fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. *Heliyon*, 7:e05855, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05855>
- MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell Plant Tissue Color Chart. Baltimore, 1952.
- NIEDZIŃSKI, T., *et al.* Release of nitrogen from fertilizers. *Agronomy*, v. 11, p. 1981, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101981>
- PEÑUELAS, J.; SARDANS, J.; RIVAS-UBACH, A. Better fertilizer use for global sustainability. *Agriculture & Food Security*, v. 12, p. 5, 2023. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
- POVEDA, J. Insect frass in the development of sustainable agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 41, n. 1, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00656-x>
- QUILLIAM, R. S. *et al.* Integrating insect frass biofertilisers into sustainable peri-urban agro-food systems. *J. Insects Food Feed*, 6(3), 315–322, 2020. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0049>

- RADZIKOWSKA-KUJAWSKA, D. et al. *Hermetia illucens* frass improves the physiological state of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its nutritional value under drought. *PLOS ONE*, v. 18, n. 1, e0280037, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280037>
- REN, X. et al. Isolation, Identification, and Autotoxicity Effect of Allelochemicals from Rhizosphere Soils of Flue-Cured Tobacco. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 63, p. 8975–8980, 2015.
- ROMANO, N., et al. Partially replacing synthetic fertilizer with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass enhances kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) production. *Technology in Horticulture*, v. 3, p. 8, 2023. <https://doi.org/10.48130/TH-2023-0008>
- RODGERS, et al. Response of Pasture Grasses to Organic Fertilizer Produced from Black Soldier Fly Frass Pasture grass response to BSF frass fertilizer. *Plants*, v. 13, n. 7, p. 943, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13070943>
- SAKURABA, Y.; TANAKA, R.; ITO, H. Nitrogen starvation-induced leaf senescence. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 1013304, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1013304>
- SALOMON, M. J.; CAVAGNARO, T. R.; BURTON, R. A. Potential of black soldier fly larvae frass (BSFL) as a novel fertilizer: impacts on tomato growth, nutrient uptake, and mycorrhizal formation. *Plant and Soil*, v. 513, n. 1, p. 417–434, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07187-4>
- SALOMONE, R.; et al. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 890–905, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.154>
- SANI, N.; YONG, J. Harnessing synergistic biostimulatory processes: a plausible approach for enhanced crop growth and resilience in organic farming. *Biology*, v. 11, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.3390/biology11010041>
- SANTORUFO, L. et al. Impact of anthropic activities on soil quality under different land uses. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 16, p. 8423, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168423>
- SANTOS, H. G. et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- SCHMITT, E.; DE VRIES, W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 25, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.005>
- SETTI, L. et al. BSF Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. *Waste Management*, v. 95, p. 278–288, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.017>

- SILVA, D. D. E.; KÖHLER, A.; DE VARGAS, D. P. Performance of larvae of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) in the bioconversion process of brewery waste and insect farming (*Ephesia kuehniella*). *Waste and Biomass Valorization*, v. 15, n. 7, p. 4043–4050, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02460-0>
- SONG, S. et al. Upcycling food waste with Black Soldier Fly larvae. *Journal of Cleaner Production*, v. 288, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125664>
- SOPHA, P.; TAN, W.; LIM, S. Liquid organic fertilizer from BSF frass. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, v. 12, n. 2, 2025.
- STRECK, E. V.; SILVA, A. M.; PEREIRA, L. C. Solos do Rio Grande do Sul. 3. ed. Porto Alegre: Emater/RS; UFRGS, 2018.
- SUN, Y.; HU, R.; ZHANG, C. Does the adoption of complex fertilizers contribute to fertilizer overuse? Evidence from rice production in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 219, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.118>
- SUSANTO, M. et al. Bio-Conversion and Decomposing With Black Soldier Fly to Promote Plant Growth. *KnE Life Sciences*, v. 7, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.18502/kls.v7i3.11172>
- TANGA, C. M.; KABABU, M. O.; NJAGI, M. New insights into the emerging edible insect industry in Africa. *Animal Frontiers*, v. 13, p. 26–40, 2023. <https://doi.org/10.1093/af/vfad039>
- TANGA, C. M.; BEESIGAMUKAMA, D.; KASSIE, M.; EGONYU, P. J. 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*, 8, n. 2, p. 185-196, 2022.
- TERFA, G. N., et al. BSF frass biofertilizer in Africa. *Reviews in Agricultural Science*, v. 9, p. 92, 2021. https://doi.org/10.7831/ras.9.0_92
- TORTOSA, G. Alternatives to Mineral Nitrogen Fertilizers in Agriculture: State of the Art, Challenges and Future Prospects. *Nitrogen*, 6(3):54, 2025. <https://doi.org/10.3390/nitrogen6030054>
- VAN HUIS, A. et al. Prospects of insects as food and feed. *Organic Agriculture*, v. 11, p. 301–308, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00290-7>
- WALLING, E.; VANECKHAUTE, C. Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. *Journal of Environmental Management*, v. 276, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111211>
- WANG, C., et al. Nutrient runoff and leaching under various fertilizer treatments and pedogeographic conditions: A case study in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) fields of the Erhai Lake basin, China. *European Journal of Agronomy*, v. 156, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127170>

- 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, 2021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.721840>
- YAHAYA, S. M. et al. Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review. *Pedosphere*, v. 33, n. 3, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012>
- YANG, J. et al. Transcriptome profiling reveals the impact of various levels of biochar application on the growth of flue-cured tobacco plants. *BMC Plant Biology*, v. 19, 2019 <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05321-z>
- ZHANG, X.; LIU, Y.; CHEN, H. Improving the Yield and Quality of Tomato by Using Organic Fertilizer and Silicon Compared to Reducing Chemical Nitrogen Fertilization. *Agronomy*, v. 14, n. 5, 2023 <https://doi.org/10.3390/agronomy14050966>
- ZHANG, X. et al. WGCNA analysis and identification of key genes in tobacco in response to different nitrogen levels. *BMC Plant Biology*, v. 25, 2025 <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06435-8>
- ZHU, R., et al. Optimizing tobacco quality and yield through the scientific application of organic-inorganic fertilizer in China: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, p. 1500544, 2024 <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1500544>
- ZAATO, P. A., et al. Black soldier fly compost enhances productivity and postharvest quality of tomato in Ghana. *Discover Sustainability*, v. 6, art. 758, 2025. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01724-6>
- ZAHN, N. H. *The Effects of Insect Frass Created by Hermetia Illucens on spring Onion Growth and Soil Fertility*. Undergraduate Dissertation Submitted for the Degree of Bachelor of Science with Honours in Environmental Science, University of Stirling, 2017. <https://www.researchgate.net/publication/321831639>
- ZHAI, Lichao et al. Partial substitution of chemical fertilizer by organic fertilizer benefits grain yield, water use efficiency, and economic return of summer maize. *Soil & Tillage Research*, v. 217, p. 105287, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105287>



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO E
DOUTORADO
**TECNOLOGIA
AMBIENTAL**



Av. Independência, 2293 - Universitário
Santa Cruz do Sul - RS
CEP 96815-900

(51) 3717-7300
www.unisc.br