



JOÃO PEDRO FERREIRA GUIMARÃES

**GORDURA DE LARVAS DE MOSCA-SOLDADO NEGRA
(*Hermetia illucens*) EM SUBSTITUIÇÃO AO ÓLEO DE SOJA
NA DIETA DE FRANGOS DE CORTE**

**LAVRAS-MG
2024**

JOÃO PEDRO FERREIRA GUIMARÃES

**GORDURA DE LARVAS DE MOSCA-SOLDADO NEGRA (*Hermetia illucens*) EM
SUBSTITUIÇÃO AO ÓLEO DE SOJA NA DIETA DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na área de concentração em Produção e Nutrição de Não Ruminantes para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dr^a. Luciana de Paula Naves
Orientadora

Dr^a. Ligia Uribe Gonçalves
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Guimarães, João Pedro Ferreira.

Gordura de larvas de mosca-soldado negra (*Hermetia illucens*) em substituição ao óleo de soja na dieta de frangos de corte / João Pedro Ferreira Guimarães. - 2024.

70 p. : il.

Orientador(a): Luciana de Paula Naves.

Coorientador(a): Ligia Uribe Gonçalves.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Ácidos graxos. 2. Energia metabolizável. 3. Nutrição animal. I. Naves, Luciana de Paula. II. Gonçalves, Ligia Uribe. III. Título.

JOÃO PEDRO FERREIRA GUIMARÃES

**GORDURA DE LARVAS DE MOSCA-SOLDADO NEGRA (*Hermetia illucens*) EM
SUBSTITUIÇÃO AO ÓLEO DE SOJA NA DIETA DE FRANGOS DE CORTE**

**BLACK SOLDIER FLY LARVAE FAT (*Hermetia illucens*) AS A REPLACEMENT
FOR SOYBEAN OIL IN THE BROILER DIET**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na área de concentração em Produção e Nutrição de Não Ruminantes para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 20 de agosto de 2024.

Dra. Luciana de Paula Naves – UFLA

Dr. Júlio César dos Santos Nascimento – UFRPE

Dr. Sérgio Turra Sobrane Filho – UFJ

Profª. Drª. Luciana de Paula Naves
Orientadora

**LAVRAS-MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial à minha esposa, Daiane Ferreira. Sua paciência, apoio inabalável e amor foram pilares fundamentais durante todo este processo. Seu encorajamento constante e compreensão nos momentos de desafio foram cruciais para que eu pudesse me dedicar plenamente a este trabalho.

Agradeço profundamente à minha Mãe, Andreia, por seu amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditar em mim. Aos meus amigos Estêvão, Túlio, José e Samuel, sou grato pela compreensão durante os momentos de ausência e pelas palavras de incentivo que sempre me motivaram a seguir em frente e buscar evolução.

À minha orientadora, Luciana Naves, minha sincera gratidão. Sua orientação perspicaz, paciência e encorajamento para a busca contínua de melhoria, foram fundamentais para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. Sua dedicação em me guiar e incentivar ao longo deste percurso foi inestimável e inspiradora.

Agradeço aos membros do Grupo de Estudo em Nutrição e Produção de Aves de Corte (GENPAC), que auxiliaram nas coletas de dados em campo e análises laboratoriais. A contribuição de vocês e dedicação foram essenciais para a realização deste projeto.

Agradeço às agências de fomento FAPEMIG, CNPq e CAPES, cujo suporte financeiro foi indispensável para a execução desta pesquisa.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, professores e técnico desta estimada instituição, por contribuir para meu desenvolvimento científico e pessoal.

Por fim, um agradecimento especial a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para superar os desafios ao longo desta jornada. Sua presença constante foi uma fonte de inspiração e conforto em momentos difíceis.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto, meu mais sincero e profundo agradecimento. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo e, sem vocês, nada disso seria possível.

*” O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas
admiráveis.”*

(José de Alencar)

RESUMO

A produção comercial de insetos já é uma realidade em muitos países e está crescendo rapidamente no Brasil, destacando-se como uma importante fonte alternativa para a nutrição animal. A espécie *Hermetia illucens* (do inglês *black soldier fly*), conhecida por sua notável capacidade de bioconversão e alto valor nutricional, é promissora como ingrediente na nutrição animal. A gordura extraída das larvas de *black soldier fly* (GBSF) pode ser substituta potencial do óleo de soja em rações para não ruminantes. No entanto, ainda é incipiente o conhecimento sobre o valor energético da GBSF para frangos de corte, assim como o nível ótimo de substituição ao óleo de soja. Portanto, objetivou-se com este estudo determinar a energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio (EMA_n) da GBSF para frangos de corte e avaliar a substituição em níveis crescentes do óleo de soja (OS) pela GBSF sobre o desempenho produtivo, histomorfometria intestinal, qualidade e perfil de ácidos graxos da carne. Para determinar a EMA_n e avaliar a GBSF sobre o desempenho zootécnico das aves, dois experimentos foram conduzidos. No primeiro experimento, foi realizado um ensaio metabólico com base no método de coleta total de excretas, utilizando-se duas dietas: dieta referência (DR) isonutritiva baseada em milho e farelo de soja sem adição de gordura suplementar e DR com 10% de substituição total (peso por peso) da DR pela fonte lipídica de GBSF. O delineamento foi inteiramente casualizado sendo cada dieta avaliada em doze repetições de 3 aves por unidade experimental. Para o segundo experimento, as dietas experimentais foram formuladas com níveis de substituição em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% em relação ao óleo de soja, distribuídas em delineamento inteiramente casualizado com dez repetições de dez aves por unidade experimental. Os valores determinados da GBSF para frangos de corte com base na matéria natural foram de 9.010 kcal/kg (EMA) e 9.027 kcal/kg (EMA_n). Não houve diferença ($P>0,05$) para o desempenho produtivo, histomorfometria de jejuno e parâmetros físico-químicos da carne. Já a substituição do óleo de soja por GBSF afetou ($P<0,05$) o rendimento de peito, teor de colágeno, teor de gordura e perfil de ácidos graxos. Em conclusão, a GBSF apresenta-se como uma alternativa nutricionalmente viável ao óleo de soja na alimentação de frangos, com valor energético semelhante e pode ser usada sem comprometer o desempenho, histomorfometria intestinal e a qualidade da carne.

Palavras-chave: ácidos graxos; alimento alternativo; alimento para animais; avicultura; bioconversão.

ABSTRACT

The commercial production of insects is already a reality in many countries and is growing rapidly in Brazil, standing out as an important alternative source for animal nutrition. The species *Hermetia illucens* (black soldier fly), known for its remarkable bioconversion capacity and high nutritional value, is promising as an ingredient in animal nutrition. The fat extracted from black soldier fly larvae (BSFL fat) can be a potential substitute for soybean oil in feed for non-ruminants. However, knowledge about the energy value of BSFL fat for broilers is still incipient, as well as the optimal level of substitution for soybean oil. Therefore, this study aimed to determine the apparent metabolizable energy corrected for nitrogen balance (AMEn) of BSFL fat for broilers and to evaluate the replacement at increasing levels of soybean oil (SO) by BSFL fat on productive performance, intestinal histomorphometry, quality, and fatty acid profile of the meat. To determine the AMEn and evaluate BSFL fat on the zootechnical performance of poultry, two experiments were conducted. In the first experiment, a metabolic trial was carried out based on the total excreta collection method, using two diets: a reference diet (RD) isonutritive based on corn and soybean meal without the addition of supplemental fat and RD with 10% total replacement (weight by weight) of RD by the lipid source of BSFL fat. The design was completely randomized with each diet evaluated in twelve replicates of 3 birds per experimental unit. For the second experiment, the experimental diets were formulated with replacement levels of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% in relation to soybean oil, distributed in a completely randomized design with ten replicates of ten birds per experimental unit. The values determined for BSFL fat for broilers based on natural matter were 9,010 kcal/kg (AME) and 9,027 kcal/kg (AMEn). There was no difference ($P>0.05$) for productive performance, jejunum histomorphometry, and physicochemical parameters of the meat. However, the replacement of soybean oil by BSFL fat affected ($P<0.05$) breast yield, collagen content, fat content, and fatty acid profile. In conclusion, BSFL fat is a nutritionally viable alternative to soybean oil in broiler feeding, with similar energy value and can be used without compromising performance, intestinal histomorphometry, and meat quality.

Keywords: fatty acids; alternative feed; animal food; poultry; bioconversion.

IMPACTOS SOCIAIS, TECNOLÓGICOS, ECONÔMICOS E CULTURAIS

O estudo demonstrou que a gordura de larvas da mosca-soldado negra (GBSF) pode substituir óleo de soja na dieta de frangos de corte sem comprometer o desempenho zootécnico das aves, abrindo caminho para a utilização de um ingrediente alternativo e sustentável na nutrição animal. Adicionalmente, a substituição do óleo de soja pela GBSF resultou em um aumento no rendimento de peito, um corte de alto valor comercial, o que representa um benefício econômico para a indústria avícola. As análises histomorfológicas do jejuno não revelaram diferenças significativas entre os tratamentos, sugerindo que a inclusão da GBSF não compromete a saúde intestinal das aves. Do ponto de vista social, a utilização da GBSF como ingrediente alternativo na nutrição animal contribui para a diversificação da produção agrícola, com geração de renda e emprego em áreas rurais. Além disso, a produção de insetos, como a mosca-soldado negra, demanda menor uso de recursos naturais, como água e terra, em comparação com a produção de grãos tradicionalmente utilizados na alimentação animal, promovendo a preservação ambiental e a redução da emissão de gases de efeito estufa. O estudo demonstrou a viabilidade técnica da substituição do óleo de soja pela GBSF em dietas para frangos de corte, abrindo caminho para a aplicação prática dessa tecnologia em escala comercial. No âmbito econômico, a utilização da GBSF como ingrediente alternativo na nutrição animal apresenta potencial para reduzir os custos de produção, especialmente em um cenário de alta nos preços do milho e do farelo de soja. Adicionalmente, a produção de insetos em larga escala pode gerar novas oportunidades de negócios e investimentos, impulsionando o desenvolvimento econômico regional. O presente estudo representa um avanço significativo na busca por alternativas sustentáveis para a produção animal, com potencial para gerar impactos positivos nas dimensões social, tecnológica e econômica. A utilização da gordura de larvas da mosca-soldado negra como ingrediente na dieta de frangos de corte contribui para a segurança alimentar, a geração de renda e emprego, o desenvolvimento tecnológico e a preservação ambiental.

SOCIAL, TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND CULTURAL IMPACTS

The study demonstrated that black soldier fly larvae fat (BSFL fat) can replace soybean oil in the diet of broilers without compromising the zootechnical performance of the birds, paving the way for the use of an alternative and sustainable ingredient in animal nutrition. Additionally, the replacement of soybean oil with BSFL fat resulted in an increase in breast yield, a high commercial value cut, which represents an economic benefit for the poultry industry. Histomorphological analyzes of the jejunum did not reveal significant differences between treatments, suggesting that the inclusion of BSFL fat does not compromise the intestinal health of the birds. From a social point of view, the use of BSFL fat as an alternative ingredient in animal nutrition contributes to the diversification of agricultural production, with income generation and employment in rural areas. Furthermore, the production of insects, such as the black soldier fly, demands less use of natural resources, such as water and land, compared to the production of grains traditionally used in animal feed, promoting environmental preservation and the reduction of greenhouse gas emissions. The study demonstrated the technical feasibility of replacing soybean oil with BSFL fat in broiler diets, paving the way for

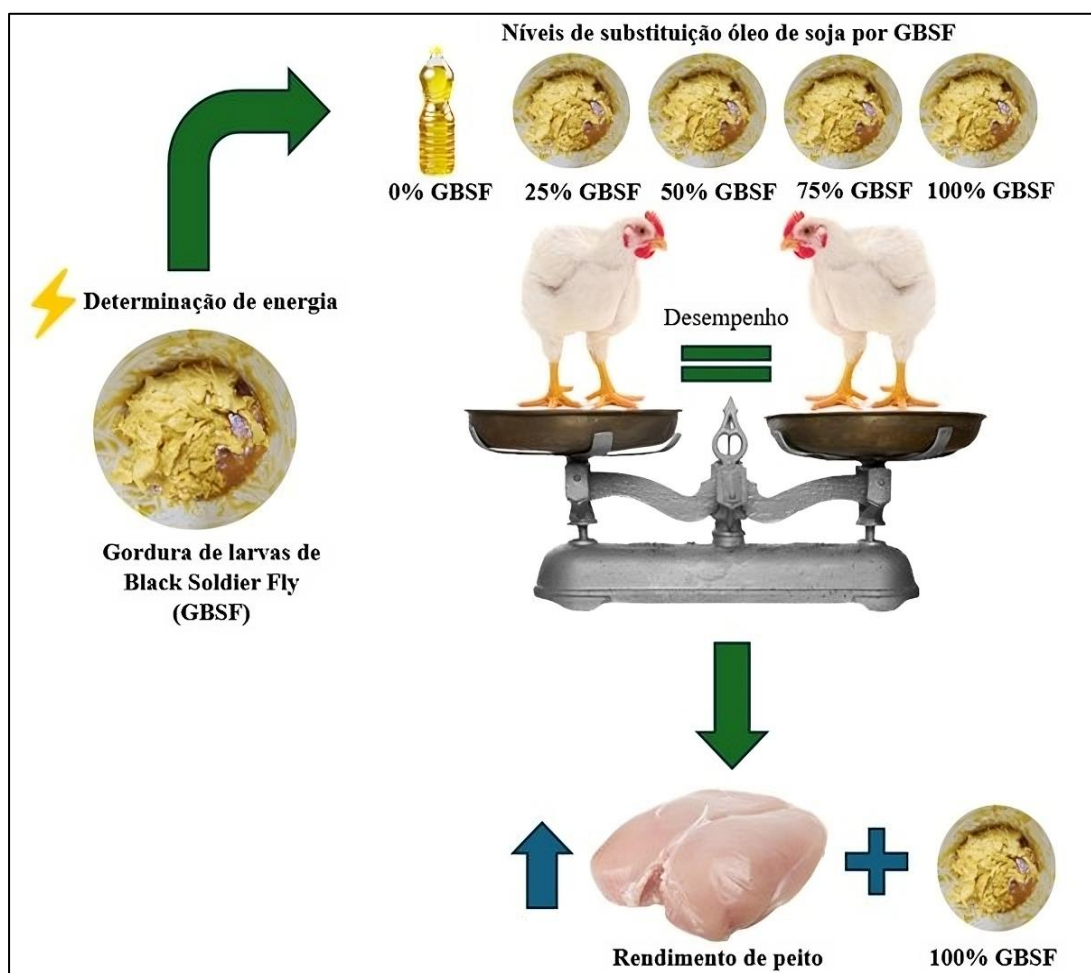
the practical application of this technology on a commercial scale. In the economic sphere, the use of BSFL fat as an alternative ingredient in animal nutrition has the potential to reduce production costs, especially in a scenario of high corn and soybean meal prices. Additionally, large-scale insect production can generate new business and investment opportunities, driving regional economic development. This study represents a significant advance in the search for sustainable alternatives for animal production, with the potential to generate positive impacts on social, technological and economic dimensions. The use of black soldier fly larvae fat as an ingredient in broiler diets contributes to food security, income and employment generation, technological development and environmental preservation.

TEMPLATE PARA RESUMO INTERPRETATIVO E RESUMO GRÁFICO DAS TESES E DISSERTAÇÕES DO PPGZ

Elaborado por **João Pedro Ferreira Guimarães** e orientado por **Luciana de Paula Naves**

A produção de frangos de corte busca, entre outros fatores, maximizar o crescimento e a conversão alimentar. A energia presente na dieta é crucial para atingir esse objetivo, e a gordura da larva de black soldier fly (GBSF) surge como uma alternativa promissora. Determinar a energia da GBSF é essencial para formular dietas precisas e eficientes, garantindo que os frangos recebam a quantidade ideal de energia para o seu desenvolvimento.

Objetivo deste estudo foi determinar a energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio (EMA_n) e, em seguida, avaliar níveis crescentes (0, 25, 50, 75 e 100%) de substituição do óleo de soja por GBSF nas dietas de frangos de corte sobre o desempenho, rendimento de carcaça e corte e histomorfometria intestinal. Foi determinada EMA_n de 9.027 kcal/kg da GBSF. Não houve diferença no desempenho e histomorfometria intestinal, mas houve aumento no rendimento de peito em dietas com 100% de GBSF. Conclui-se que a GBSF pode ser uma alternativa excelente de alimento.



Determinação da energia metabolizável da gordura de Black soldier fly (GBSF) e avaliação de níveis de substituição do óleo de soja por GBSF em dietas de frangos de corte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de vida da <i>Hermetia illucens</i>	18
Figura 2 – Gordura de larvas de black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>) em temperatura ambiente (A), em início de derretimento no banho maria a 40°C (B) e após completo derretimento à 40°C (C).....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Determinação da energia bruta, caracterização e composição química da gordura de black soldier fly e do óleo de soja.	30
Tabela 2 – Ingredientes e composição nutricional, com base na matéria natural, das dietas utilizadas no Experimento I.....	33
Tabela 3 – Ingredientes e composição nutricional, com base na matéria natural, das dietas utilizadas no Experimento II.....	39
Tabela 4 – Perfil de ácidos graxos (% total dos AG identificados), com base na matéria natural, determinado nas das dietas experimentais fornecidas aos frangos no período de 22 a 38 dias de idade.....	41
Tabela 5 – Valor energético da gordura de black soldier fly para frangos de corte, determinado no Experimento I.	45
Tabela 6 – Efeitos dos níveis de substituição de óleo de soja por GBSF em dietas de frangos de corte sobre desempenho zootécnico da fase 22 a 38 dias e rendimentos de carcaça e cortes aos 38 dias.	46
Tabela 7 – Efeitos dos níveis de substituição de óleo de soja por GBSF em dietas de frangos de corte sobre histomorfometria de jejuno (38 dias).....	48
Tabela 8 – Parâmetros físico-químicos relacionados à qualidade de carne de peito de frangos em função dos níveis de substituição e sexo (38 dias).....	57
Tabela 9 – Composição centesimal relacionados à qualidade de carne de peito de frangos em função dos níveis de substituição e sexo (38 dias).	61
Tabela 10 – Composição de ácidos graxos (% total dos AG identificados), com base na matéria natural, determinado no peito de frango aos 38 dias de idade.	64

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	15
1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Uso de insetos alimentícios.....	17
2.2. Uso da gordura de larvas de <i>Hermetia illucens</i> na nutrição de aves	20
2.3. Qualidade de carne.....	21
2.4. Determinação de energia metabolizável	22
REFERÊNCIAS.....	22
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....	28
ARTIGO 1 – SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO DE SOJA POR GORDURA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO NEGRA: VALOR ENERGÉTICO DA GORDURA, DESEMPENHO PRODUTIVO E HISTOMORFOMETRIA INTESTINAL DE FRANGOS DE CORTE	28
1. INTRODUÇÃO.....	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	29
2.1. Comitê de ética	29
2.2. Gordura de BSF e óleo de soja utilizados	30
2.3. Experimento I: Valor energético da GBSF para frangos de corte	32
2.3.1. Aves, dietas e procedimentos.....	32
2.3.2. Coleta total de excretas, análises laboratoriais e equações utilizadas.....	35
2.4. Experimento II: Nível ótimo de substituição do óleo de soja pela GBSF em dietas isoenergéticas para frangos	37
2.4.1. Aves, delineamento e dietas experimentais	37
2.4.2. Instalações e condições ambientais	37
2.4.3. Parâmetros avaliados	42
2.4.3.1. Desempenho zootécnico e rendimento de carcaça e cortes	42
2.4.3.2. Histomorfometria intestinal	44
2.4.3.3. Análises estatísticas	44
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1. Experimento I	45
3.2. Experimento II.....	46
4. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS.....	49

ARTIGO 2- QUALIDADE DA CARNE DO PEITO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM RAÇÃO CONTENDO GORDURA DA LARVA DA MOSCA-SOLDADO NEGRA EM SUBSTITUIÇÃO AO ÓLEO DE SOJA	52
1. INTRODUÇÃO	52
2. MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1. Comitê de Ética	53
2.2. Animais e delineamento experimental.....	53
2.3. Instalações e condições ambientais.....	54
2.4. Parâmetros avaliados.....	54
2.4.1. Qualidade, composição centesimal e perfil de ácidos graxos no peito	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4. CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS.....	68

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

A alimentação animal representa um dos principais custos nos sistemas de produção e os principais ingredientes utilizados atualmente na nutrição de aves são o milho e o farelo de soja. A formação de monoculturas para atender às demandas do mercado pode causar impactos ambientais negativos como desflorestamento, emissão de gases de efeito estufa e elevado consumo de água (MEKONNEN; GERBENS-LEENES, 2020). Em busca de alternativas alimentares sustentáveis, certos insetos destacam-se como uma alternativa promissora, demandando pouca água e espaço para produção, emitindo menos gases de efeito estufa e amônia, além de possuírem excelentes níveis nutricionais (LI et al., 2023; LUMANLAN; WILLIAMS; JAYASENA, 2022; OONINCX et al., 2010).

A produção de insetos para o consumo humano e animal, apesar de ser um setor ainda emergente, apresenta grande potencial de crescimento, como relatado por Van Huis (2016). Dobermann et al. (2021) destacam que a escalabilidade da produção, a garantia da segurança alimentar e a promoção da aceitação dos insetos como alimento são alguns dos desafios a serem superados para que o setor atinja seu potencial máximo.

A regulamentação do setor está avançando em diversos países, como na União Europeia, que já aprovou o uso de insetos em alimentos (UNIÃO EUROPEIA, 2015). No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2018) exige autorização prévia para a comercialização de insetos como alimento, mas o Ofício-Circular nº 33/2023/CGI/DIPOA/SDA/MAPA do Ministério da Agricultura representa um avanço na regulamentação da produção de insetos para a alimentação animal (BRASIL, 2023). O desenvolvimento de tecnologias, a regulamentação e a mudança de percepção do consumidor são cruciais para que a produção de insetos atinja seu potencial máximo e contribua para um sistema alimentar mais sustentável.

Na nutrição de aves, fontes convencionais de proteína e lipídio nas dietas são, respectivamente, o farelo e o óleo de soja, cuja produção exige grandes quantidades de espaço e água, além de competirem como alimento para humanos. Com o crescimento contínuo da população humana, a busca por alternativas sustentáveis na nutrição animal tornou-se uma necessidade urgente. Nesse contexto, as larvas da mosca-soldado negra (BSF), cientificamente conhecida como *Hermetia illucens*, têm se destacado como uma alternativa promissora.

As larvas da BSF, em seu processo de bioconversão, acumulam uma quantidade expressiva de gordura que, ao ser extraída na produção de farinha desengordurada, pode representar de 7% a 39% com base na matéria seca (BARRAGAN-FONSECA; DICKE; VAN

LOON, 2017). Além disso, a gordura dessas larvas é rica em ácidos graxos de cadeia média, que são preferencialmente utilizados para o metabolismo energético dos animais (BELGHIT et al., 2019).

Apesar de seu potencial, a utilização da gordura de larvas de BSF como ingrediente nas dietas avícolas ainda não é plenamente compreendida, principalmente devido à variação significativa em seu perfil lipídico. É necessária uma investigação mais aprofundada sobre seus efeitos no desempenho, qualidade da carne e saúde intestinal das aves.

Nos últimos anos, o conhecimento sobre a produção de larvas de BSF tem avançado significativamente. Pesquisas têm cada vez mais focado na utilização da farinha de larvas como um componente nutritivo em rações animais, demonstrando seu potencial na substituição parcial de ingredientes convencionais. No entanto, uma nova possibilidade tem emergido com o processamento industrial das larvas para a obtenção da gordura de BSF (GBSF), ampliando ainda mais seu uso na nutrição animal.

Com o avanço das técnicas de processamento industrial, a oferta de GBSF no mercado tem aumentado. Esse crescimento é crucial, pois permite uma maior disponibilidade desse ingrediente sustentável para formulação de dietas avícolas e colabora para a redução do seu custo. A importância de estudos sobre o aproveitamento da GBSF na nutrição de frangos de corte se justifica pela necessidade de se formular dietas balanceadas utilizando-se níveis ideais de GBSF para otimizar o desempenho das aves e a qualidade da carne produzida.

Um aspecto fundamental a ser investigado é o impacto da GBSF durante a fase de maior consumo de ração nos frangos de corte. As fases de crescimento e final representam a fase em que as aves consomem a maior quantidade de alimento e, consequentemente, qualquer alteração na dieta pode ter efeitos significativos no crescimento e na saúde das aves. Portanto, conhecer o valor energético da gordura de BSF para frangos nestas fases é essencial para formular dietas balanceadas. No entanto, há poucos estudos científicos relatando a energia metabolizável aparente da GBSF (CHOBANOVA et al., 2024; KIERONCZYK et al., 2022a; PATTERSON et al., 2021), o que justifica a necessidade de mais pesquisas nessa área. Consequentemente, o conhecimento sobre o nível ótimo de substituição do óleo de soja pela GBSF em dietas isoenergéticas para frangos de corte ainda é limitado (CHEN et al., 2022; CULLERE et al., 2019; DABBOU et al., 2021; KIERONCZYK et al., 2020, 2022b; KIM et al., 2020, 2021; SCHAFER et al., 2023; SCHIAVONE et al., 2018).

Assim, objetiva-se com o presente trabalho contribuir para a compreensão do potencial da GBSF como um ingrediente alternativo e eficiente na nutrição de frangos de corte, abordando suas implicações no desempenho das aves e na qualidade da carne de frangos de

corte. A realização deste estudo durante a fase de 22 a 38 dias permitirá avaliar os efeitos da GBSF no momento de maior impacto nutricional, fornecendo dados essenciais para futuras formulações de dietas equilibradas e sustentáveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Uso de insetos alimentícios

O consumo de insetos na alimentação animal é comum há milhares de anos, devido ao hábito natural de caça de alimentos na natureza. A partir das décadas de 1960 e 1970, pesquisas sobre o uso de insetos na alimentação animal ganharam força (CALVERT; MARTIN; MORGAN, 1969), e com significativas pesquisas focadas em aves (HALE, 1973; TEOTIA; MILLER, 1973) e suínos (NEWTON et al., 1977). A necessidade de transformar os sistemas agroalimentares para que sejam mais eficientes, inclusivos, resilientes e sustentáveis é cada vez mais urgente para garantir a segurança alimentar e nutrição para todos (FAO, 2021). Nesse contexto, os insetos alimentícios despontam como excepcionais fontes de alimento, com alto valor nutricional. Muitas espécies são capazes de converter resíduos orgânicos em biomassa rica em nutrientes, apresentando quantidades expressivas de proteínas, aminoácidos, gordura, minerais e vitaminas (OONINCX; FINKE, 2021; ZOU et al., 2024).

O uso de insetos alimentícios não limita-se somente à alimentação animal e humana, mas pode ser usado também para produção de cosméticos, produtos para cuidados pessoais, biodiesel, fertilizantes entre tantas outras formas (FRANCO et al., 2022; NGUYEN et al., 2019; SURYATI et al., 2023; VERHEYEN et al., 2018).

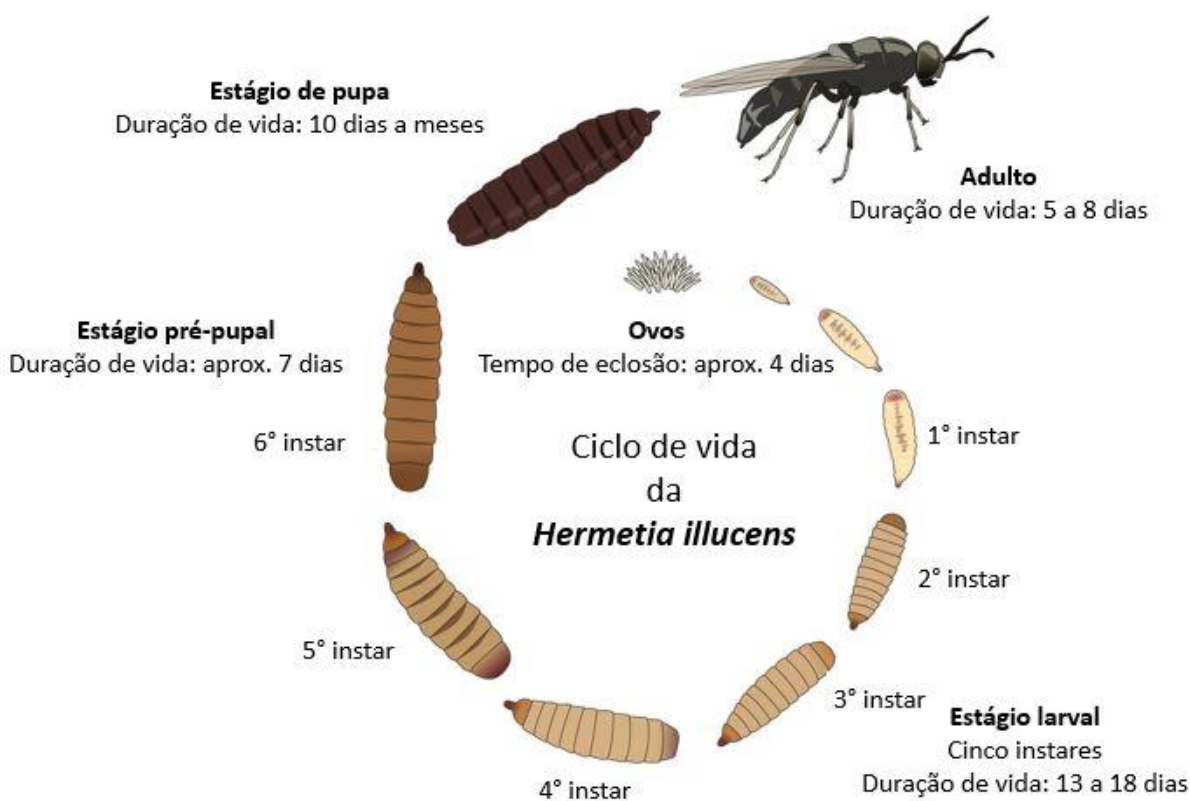
Nos últimos anos a grande preocupação em sustentabilidade e segurança alimentar tem ganhado proporção em discussões internacionais, devido às tendências que preveem um crescimento populacional de 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,4 bilhões em 2100 (ONU, 2022) o que demanda maior produção de alimentos, resultando em pressão cada vez maior sobre o meio ambiente. Em um estudo de metanálise foi observado que o crescimento em demanda de alimentos global está entre 35 e 56% entre 2010 e 2050 além da mudança da população em risco de fome de -91% para +8% neste mesmo período (VAN DIJK et al., 2021).

E para mitigar o risco de fome da população, existe uma grande variedade de insetos que são utilizados para alimentação humana. Como exemplo, a China há mais de 3000 anos tem o hábito de consumo de insetos, com mais de 300 espécies classificadas taxonomicamente com valor comestível (FENG et al., 2020). Para a alimentação humana, as principais espécies são os grilos (*Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus bimaculatus*) e a larva-da-farinha (*Tenebrio molitor*) (VAN HUIS, 2022). Já para a alimentação animal, diversas espécies

demonstram grande potencial, incluindo os grilos (*Acheta domesticus*; *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus bimaculatus*), a mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*), e a larva-da-farinha (*Tenebrio molitor*) (ALLEGRETTI; SCHMIDT; TALAMINI, 2017; APRI; KOMALASARI., 2020; NIKOLETTA, 2019).

Uma espécie que tem ganhado destaque é a *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae), conhecida mundialmente como “*Black Soldier Fly*” ou na língua portuguesa como mosca-soldado negra, por apresentar ciclo de vida curto, facilidade de cultivo, alta capacidade de degradar vários tipos de substratos, além de alta eficiência para bioconversão de resíduos orgânicos sólidos. As fases de vida da BSF correspondem a cinco estágios (ovo, larva, pré-pupa, pupa e adultos) que totalizam aproximadamente 45 dias, observando-se alta taxa de sobrevivência a temperaturas entre 27 e 30°C (Figura 1)(TOMBERLIN; ADLER; MYERS, 2009).

Figura 1 – Ciclo de vida da *Hermetia illucens*.



Fonte: Adaptado de De Smet et al. (2018).

O período de maior interesse para o uso na nutrição animal é o larval devido às maiores concentrações de nutrientes (proteína e lipídeos), seguido de pré-pupas e pupas. Contudo, a partir da fase de pré-pupa, há um processo de esclerotização da cutícula, que envolve o

endurecimento e escurecimento da camada externa do inseto por meio de ligações cruzadas entre moléculas de quitina e proteínas, e incorporação de melanina. Esse processo diminui a digestibilidade da cutícula, especialmente para animais monogástricos, devido ao aumento da resistência da quitina à digestão (DE SMET et al., 2018). De acordo com Smets et al. (2020) as quantidades de matéria seca para as fases larval (27,74%), pré-pupa (35,67%) e pupa (39,95%) foram determinadas, juntamente com as concentrações de proteína (38,86%, 31,81%, 31,27%), lipídeos (40,96%, 47,65%, 39,85%) para cada fase, respectivamente, todas baseadas na matéria seca. Já em levantamento da literatura realizado por Hancz et al. (2024), a BSF possui proteína bruta entre 45,1 e 56,1 % e gordura bruta de 9,3 e 36,1% com base na matéria seca. Essa grande variação pode ser atribuída a vários fatores como dieta, sexo, estágio de desenvolvimento e método de processamento.

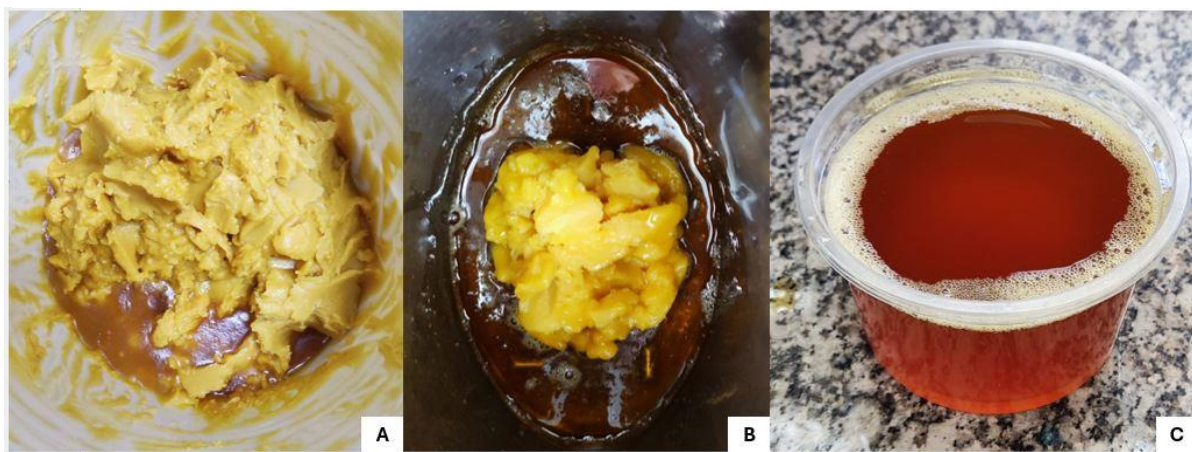
É possível encontrar diversos substratos que são utilizados como fonte de alimento para BSF, de modo geral, são compostos por resíduos orgânicos de misturas heterogêneas de sobras agroalimentares (ADDEO et al., 2024a; GANESAN et al., 2024; ODDON et al., 2024). De acordo com Addeo et al. (2024b) ao testar quatro diferentes tipos de substratos (controle feito com ração para frango de corte; 50%/50% resíduos vegetais e de resíduos de açougue; 75%/25% vegetais e açougue; e 100% composto por vegetais) foi observado que o perfil de ácidos graxos na gordura de larvas BSF, apresentou efeitos positivos com substrato composto totalmente por vegetais. O perfil continha menor teor de ácidos graxos saturados e maior quantidade de ácidos graxos poliinsaturados ômega 3.

A BSF pode ser abatida por congelamento (em ar ou nitrogênio líquido), fervura/branqueamento, aquecimento em fornos ou moagem/trituração, embora outros métodos tenham sido avaliados e desenvolvidos recentemente. Todavia, destaca-se que a escolha do método de abate das larvas deve observar a legislação vigente (ainda escassa, porém em desenvolvimento) e ser viável economicamente (BARRETT et al., 2023, 2024). A partir do abate é realizada a secagem e separação/extração dos produtos e seus derivados. Produtos proteicos geralmente são disponibilizados em forma de larvas integrais, farinha parcialmente ou altamente desengordurada (DABBOU et al., 2018; SCHIAVONE et al., 2017, 2019). Já a gordura pode ser extraída por métodos de prensagem mecânica e com fluido supercrítico de CO₂ (HURTADO-RIBEIRA et al., 2023; KIERONCZYK et al., 2022c; ROZALI et al., 2022).

2.2. Uso da gordura de larvas de *Hermetia illucens* na nutrição de aves

A gordura de BSF possui perfil de ácidos graxos variável e, portanto, pode apresentar-se com consistência de levemente pastosa até mais sólida em temperatura ambiente. Quanto mais o teor de ácidos graxos saturados na gordura, mais sólida será à temperatura ambiente devido ao maior ponto de fusão. Contudo, uma característica interessante sobre a gordura de BSF é que seu perfil lipídico possui uma grande quantidade de ácidos graxos saturados de cadeia média, sendo o principal o ácido láurico (C12:0), que confere ponto de fusão (44°C) maior para a gordura (SURYATI et al., 2023). Então, dependendo do estado físico em que se encontra, pode ser necessário prévio aquecimento antes de ser associada aos demais ingredientes nos misturadores. Este aquecimento melhora a qualidade da mistura durante o preparo da ração, entretanto, deve manter o bom perfil nutricional da GBSF (Figura 2).

Figura 2 – Gordura de larvas de *black soldier fly* (*Hermetia illucens*) em temperatura ambiente (A), em início de derretimento no banho maria a 40°C (B) e após completo derretimento à 40°C (C).



Fonte: Do autor.

A quantidade de ácidos graxos saturados (AGS) na gordura varia de 36,2 a 75,6%, sendo que a quantidade de ácido láurico varia de 7,5 a 52,1% (EWALD et al., 2020). A alta proporção de AGS confere a essas gorduras uma consistência que pode estar entre sólida e pastosa em temperatura ambiente.

Há na literatura científica pesquisas com gordura de BSF na nutrição de frangos de corte visando determinar os níveis ideais de substituição de fontes lipídicas convencionais nas dietas. Kim et al. (2020) avaliaram níveis de substituição do óleo de soja por gordura de GBSF (50 e 100%) em frangos Ross 308 durante um período de cinco semanas e não constataram diferença no desempenho zootécnico, mas observaram diferenças no perfil de ácidos graxos na carne de peito. Já Chen et al. (2022) testaram níveis de substituição (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) do óleo

de soja por óleo de larvas de BSF na dieta de frangos da linhagem Kebao durante um período de 28 dias e concluíram que não houve comprometimento do desempenho, embora 50% de substituição tenha demonstrado melhorias na capacidade antioxidantes e imunológica plasmática.

Em pesquisa realizada por Schafer et al. (2023), ao avaliarem a inclusão de 0%, 2,5% e 5% de gordura de GBSF em dietas de frangos Cobb 500 durante um período de 35 dias, observaram que para o período experimental total não houve diferença nas variáveis desempenho, coeficiente de digestibilidade ileal e diversidade microbiana cecal.

Embora haja algumas pesquisas científicas sobre o tema, ainda não há recomendações claras sobre os níveis ideais de inclusão e substituição, nem sobre quais seriam as porcentagens ótimas. Contudo, de modo geral, observa-se que os frangos conseguem digerir, absorver e metabolizar a GBSF presente na dieta mantendo adequado desempenho zootécnico.

2.3. Qualidade de carne

A carne de frango é uma das mais consumidas no mundo, com um grande apreço pelo mercado consumidor devido sua versatilidade para culinária e suas características nutricionais (FAO, 2022). Os alimentos que são fornecidos e consumidos pelas aves podem mudar as características organolépticas de sua carcaça que é um ponto muito importante para a qualidade da carne (MURAWSKA et al., 2021).

A utilização de GBSF vem sendo investigada também nos quesitos de mudança de características de qualidade e sensoriais. Cullere et al. (2019) avaliaram diferentes níveis de substituição (0, 50 e 100%) do óleo de soja por GBSF em frangos de corte aos 48 dias de idade e observaram que as características de qualidade, composição nutricional e sensorial não foram alteradas pelos tratamentos, contudo, a incorporação da GBSF alterou o perfil de ácidos graxos nos cortes de peito e pernas, com aumento ($P < 0,0001$) de AGS em comparação a fração de poliinsaturados (PUFA). Além disso, houve aumento da relação n-6/n-3 quando incluída a gordura de BSF. Resultados semelhantes encontraram Kim et al. (2020), com aumento das proporções (%) em carne de peito dos AGS e em substituição do óleo de soja de 100% (28,72), 50% (27,58) e 0% (27,16) por GBSF, mas sem alterações para os parâmetros de análise sensorial (cor, sabor, suculência, firmeza e preferência geral).

Estas diferenças podem ser justificadas em função de variações no perfil de ácidos graxos das larvas, o que tem se tornado tema de interesse em pesquisas, com o objetivo de entender como modular esse perfil através de diferentes substratos (EWALD et al., 2020; SAADOUN et al., 2020; SCHREVEN et al., 2021; SIDDIQUI et al., 2022).

2.4. Determinação de energia metabolizável

As fontes lipídicas utilizadas na formulação de rações para aves são provenientes de óleos vegetais e gorduras animais. A determinação precisa dos valores energéticos dessas fontes é crucial para cada espécie e categoria animal, a fim de otimizar o desempenho e a saúde dos animais pelo uso de dietas balanceadas.

Em pesquisa realizada por Kierończyk et al. (2022a), foram utilizados 400 frangos de corte da linhagem Ross 308 para determinar a energia metabolizável aparente (EMA) e aparente corrigida para balanço de nitrogênio (EMA_n), de GBSF para frangos em diferentes idades. Foi utilizado quatro tratamentos: dieta basal sem ou com inclusão (30, 60 e 90 g/kg de GBSF). A coleta de amostra de excretas foi realizada aos 14, 28 e 35 dias de idade das aves. Para determinar os valores de EMA e EMA_n foi utilizado o método de regressão linear simples, obtendo-se os valores de EMA de 9 049 kcal/kg e de EMA_n de 9 019 kcal/kg, respectivamente. Além disso, a idade das aves afetou significativamente ($P < 0,001$) os níveis de EMA e EMA_n devido a imaturidade do sistema digestório das aves para digestão e metabolismo de gorduras dietéticas e, portanto, foi recomendado pelos autores modelo de regressão para cada período.

Já Chobanova et al. (2024) investigaram o valor energético da gordura de larvas de BSF em frangos de corte fêmeas da linhagem Ross 308. Os autores utilizaram um método de substituição, em que a gordura foi incluída em dietas à base de milho-trigo-soja. A coleta de excretas foi realizada do 27º ao 31º dia de idade das aves. Os resultados mostraram que a gordura de BSF apresentou EMA de 36,50 MJ/kg (8.718 kcal/kg) de matéria seca (MS) e EMA_n de 35,60 MJ/kg (8.503 kcal/kg) de MS. Os autores destacaram que os valores energéticos da gordura das larvas foram superiores aos observados para a farinha de larvas de mosca-soldado negra BSF desengordurada e a farinha de larvas secas com gordura.

Até o presente momento, estes foram os únicos trabalhos publicados que determinaram a energia da GBSF para frangos de corte. Para melhor elucidar a energia metabolizável aparente e aparente corrigida da GBSF para frangos de cortes da linhagem Cobb (muito utilizada no Brasil), pesquisas em diversas fases de criação devem ser realizadas.

REFERÊNCIAS

ADDEO, N. F. et al. Fatty acid profile of black soldier fly larvae and frass as affected by different growing substrates. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 11, p. 1–15, 2024b.

ADDEO, N. F. et al. Mineral profile and heavy metals bioaccumulation in black soldier fly (*Hermetia illucens*, L.) larvae and frass across diverse organic substrates. **Italian Journal of Animal Science**, v. 23, n. 1, p. 179–188, 2024a.

ALLEGRETTI, G.; SCHMIDT, V.; TALAMINI, E. Insects as feed: Species selection and their potential use in Brazilian poultry production. **World's Poultry Science Journal**, v. 73, n. 4, p. 928–937, 2017.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Novel food: Orientações para a submissão de petições de avaliação de segurança para alimentos com alegação de novidade**. Brasília: ANVISA, 2018.

APRI, A. D; KOMALASARI, K. **Feed and animal nutrition: Insect as animal feed**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...** Department of Nutrition and Feed Technology, Faculty of Animal Science, IPB University, Bogor, Indonesia: Institute of Physics Publishing, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/465/1/012002>.

BARRAGAN-FONSECA, K. B.; DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed - a review. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 3, n. 2, p. 105–120, 2017.

BARRETT, M. et al. Grinding as a slaughter method for farmed black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Empirical recommendations to achieve instantaneous killing. **Animal Welfare**, v. 33, 2024.

BARRETT, M. et al. Welfare considerations for farming black soldier flies, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): a model for the insects as food and feed industry. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 9, n. 2, p. 119–148, 2023.

BELGHIT, I. et al. Insect-based diets high in lauric acid reduce liver lipids in freshwater Atlantic salmon. **Aquaculture Nutrition**, v. 25, n. 2, p. 343–357, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Ofício-Circular nº 33/2023/CGI/DIPOA/SDA/MAPA**. Brasília: MAPA, 2023.

CALVERT, C. C.; MARTIN, R. D.; MORGAN, N. O. House fly pupae as food for poultry. **Journal of Economic Entomology**, v. 62, n. 4, p. 938-, 1969.

CHEN, X. Y. et al. Effects of black soldier fly larvae oil on growth performance, immunity and antioxidant capacity, and intestinal function and microbiota of broilers. **Journal of applied poultry research**, v. 31, n. 4, p. 100292, 2022.

CHOBANOVA, S. et al. Metabolizable Energy Value of Fat and Meals Obtained from Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) for Broiler Chickens. **Poultry**, v.3, n. 3, p. 298–306, 2024.

CULLERE, M. et al. Meat quality and sensory traits of finisher broiler chickens fed with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae fat as alternative fat source. **Animals**, v. 9, n. 3, 2019.

DABBOU, S. et al. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 9, n. 1, 2018.

DABBOU, S. et al. Modified Black Soldier Fly Larva Fat in Broiler Diet: Effects on Performance, Carcass Traits, Blood Parameters, Histomorphological Features and Gut Microbiota. **Animals (Basel)**, v. 11, n. 6, p. 1837, 2021.

DE SMET, J. et al. Microbial Community Dynamics during Rearing of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) and Impact on Exploitation Potential. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 84, n. 9, 2018.

DOBERMANN, A.; et al. Opportunities and hurdles of insect farming. **Trends in Plant Science**, v. 26, n. 12, p. 1253-1267, 2021.

EWALD, N. et al. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. **Waste Management**, v. 102, p. 40–47, 2020.

FENG, Y. et al. Overview of edible insect resources and common species utilisation in China. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 6, n. 1, p. 13–25, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses**. Rome, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World livestock – livestock production and health atlas**. Rome, 2022.

FRANCO, A. et al. Lipids from Insects in Cosmetics and for Personal Care Products. **Insects**, v. 13, n. 1, 2022.

GANESAN, A. R. et al. Food waste-derived black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval resource recovery: A circular bioeconomy approach. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 184, p. 170–189, 2024.

HALE, O. M. Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. **Journal of the Georgia Entomological Society**, v. 8, n. 1, p. 16–20, 1973.

HANCZ, C. et al. The Role of Insects in Sustainable Animal Feed Production for Environmentally Friendly Agriculture: A Review. **Animals**, v. 14, n. 7, 2024.

HURTADO-RIBEIRA, R. et al. Evaluation of the interrelated effects of slaughtering, drying, and defatting methods on the composition and properties of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae fat. **Current Research in Food Science**, v. 7, 2023.

KIERONCZYK, B. et al. First report of the apparent metabolisable energy value of black soldier fly larvae fat used in broiler chicken diets. **Animal**, v. 16, n. 11, 2022a.

KIERONCZYK, B. et al. From waste to sustainable feed material: the effect of *hermetia illucens* oil on the growth performance, nutrient digestibility, and gastrointestinal tract morphometry of broiler chickens. **Annals of Animal Science**, v. 20, n. 1, p. 157–177, 2020.

KIERONCZYK, B. et al. *Hermetia illucens* fat affects the gastrointestinal tract selected microbial populations, their activity, and the immune status of broiler chickens. **Annals of animal science**, v. 22, n. 2, p. 663–675, 2022b.

KIERONCZYK, B. et al. Replacement of soybean oil with cold-extracted fat from *Hermetia illucens* in young turkey diets: Effects on performance, nutrient digestibility, selected organ measurements, meat and liver tissue traits, intestinal microbiota modulation, and physiological. **Animal Feed Science and Technology**, v. 286, 2022c.

KIM, B. et al. Effects of Dietary Supplementation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Oil on Broiler Health. **The Journal of Poultry Science**, v. 58, n. 4, p. 222–229, 2021.

KIM, B. et al. Evaluation of black soldier fly larvae oil as a dietary fat source in broiler chicken diets. **Journal of animal science and technology**, v. 62, n. 2, p. 187–197, 2020.

LI, M. J. et al. Edible Insects: A New Sustainable Nutritional Resource Worth Promoting. **Foods**, v. 12, n. 22, 2023.

LUMANLAN, J. C.; WILLIAMS, M.; JAYASENA, V. Edible insects: environmentally friendly sustainable future food source. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 10, p. 6317–6325, 2022.

MEKONNEN, M. M.; GERBENS-LEENES, W. The water footprint of global food production. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.

MURAWSKA, D. et al. Partial and total replacement of soybean meal with full-fat black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in broiler chicken diets: Impact on growth performance, carcass quality and meat quality. **Animals**, v. 11, n. 9, p. 2715, 2021.

NEWTON, G. L. et al. Dried *hermetia-illucens* larvae meal as a supplement for swine. **Journal of Animal Science**, v. 44, n. 3, p. 395–400, 1977.

NGUYEN, H. C. et al. Biodiesel Production from Insects: From Organic Waste to Renewable Energy. **Current Organic Chemistry**, v. 23, n. 14, p. 1499–1508, 2019.

NIKOLETTA, H. Insects as animal feed. **Magyar Allatorvosok Lapja**, v. 141, n. 2, p. 117- 128 WE- Science Citation Index Expanded (SCI), 2019.

ODDON, S. B. et al. Black soldier fly life history traits can be influenced by isonutrient-waste-based diets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 23, n. 1, p. 331–341, 2024.

OONINCX, D. et al. An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. **PLOS ONE**, v. 5, n. 12, 2010.

OONINCX, D. G. A.; FINKE, M. D. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. **Journal of insects as food and feed**, v. 7, n. 5, p. 639–659, 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. Divisão de População. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**. Nova York: ONU, 2022.

PATTERSON, P. H. et al. The impact of dietary Black Soldier Fly larvae oil and meal on laying hen performance and egg quality. **Poultry Science**, v. 100, n. 8, 2021.

ROZALI, N. S. et al. Study on the extraction of black soldier fly (*hermetia illucens*) larvae oil by using mechanical press method. **Journal of Sustainability Science and Management**, v. 17, n. 12, p. 49–66, 2022.

SAADOUN, J. H. et al. Lipid profile and growth of black soldier flies (*Hermetia illucens*, Stratiomyidae) reared on by-products from different food chains. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 9, p. 3648–3657, 2020.

SCHAFER, L. et al. Effect of replacement of soybean oil by *Hermetia illucens* fat on performance, digestibility, cecal microbiome, liver transcriptome and liver and plasma lipidomes of broilers. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 14, n. 1, 2023.

SCHIAVONE, A. et al. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on carcass traits, breast meat quality and safety. **Animal**, v. 13, n. 10, p. 2397–2405, 2019.

SCHIAVONE, A. et al. Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. **Animal**, v. 12, n. 10, p. 2032–2039, 2018.

SCHIAVONE, A. et al. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, n. 1, 2017.

SCHREVEN, S. J. J. et al. Life on a piece of cake: Performance and fatty acid profiles of black soldier fly larvae fed oilseed by-products. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 7, n. 1, p. 35–49, 2021.

SIDDIQUI, S. A. et al. Manipulation of the black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*; Diptera: Stratiomyidae) fatty acid profile through the substrate. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 8, n. 8, p. 837–855, 2022.

SMETS, R. et al. Sequential Extraction and Characterisation of Lipids, Proteins, and Chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae, Prepupae, and Pupae. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 12, p. 6455–6466, 2020.

SURYATI, T. et al. Lauric Acid from the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Its Potential Applications. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 13, 2023.

TEOTIA, J. S.; MILLER, B. F. Fly pupae as a dietary ingredient for starting chicks. **Poultry Science**, v. 52, n. 5, p. 1830–1835, 1973.

TOMBERLIN, J. K.; ADLER, P. H.; MYERS, H. M. Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. **Environmental Entomology**, v. 38, n. 3, p. 930–934, 2009.

UNIÃO EUROPEIA. Parlamento Europeu. Conselho. **Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001**. Jornal Oficial da União Europeia, L 327, 11 de dezembro de 2015.

VAN DIJK, M. et al. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010-2050. **Nature Food**, v. 2, n. 7, p. 494- +, 2021.

VAN HUIS, A. Edible insects are the future? **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 75, n. 3, p. 294-305, 2016.

VAN HUIS, A. Edible insects: Challenges and prospects. **Entomological Research**, v. 52, n. 4, p. 161–177, 2022.

VERHEYEN, G. R. et al. Insects as an Alternative Source for the Production of Fats for Cosmetics. **Journal of Cosmetic Science**, v. 69, n. 3, p. 187- 202 WE- Science Citation Index Expanded (SCI), 2018.

ZOU, X. et al. Applications of insect nutrition resources in animal production. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, 2024.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 – SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO DE SOJA POR GORDURA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO NEGRA: VALOR ENERGÉTICO DA GORDURA, DESEMPENHO PRODUTIVO E HISTOMORFOMETRIA INTESTINAL DE FRANGOS DE CORTE

1. INTRODUÇÃO

A avicultura, setor de grande importância econômica no Brasil e no mundo, enfrenta o desafio constante de otimizar a produção de frangos de corte buscando alternativas alimentares que aliem sustentabilidade, custo-benefício e qualidade do produto final. Nesse contexto, a crescente demanda por alimentos e a preocupação com a segurança alimentar global impulsionam a busca por ingredientes alternativos e inovadores na nutrição animal.

Os ingredientes convencionais como o milho e o farelo de soja, embora amplamente utilizados, apresentam desafios relacionados à sustentabilidade ambiental e à competição com a produção de alimentos para consumo humano. A formação de monoculturas para atender à demanda do mercado pode levar a impactos negativos como desmatamento, emissão de gases de efeito estufa e consumo excessivo de água (MEKONNEN; GERBENS-LEENES, 2020). Além disso, a volatilidade dos preços desses ingredientes no mercado internacional exige a busca por alternativas que garantam a estabilidade dos custos de produção.

Diante desse cenário, os insetos comestíveis e seus co-produtos emergem como uma solução promissora e sustentável para a nutrição animal. Sua capacidade de converter resíduos orgânicos em biomassa de alto valor nutricional, aliada ao baixo impacto ambiental e à alta eficiência na conversão alimentar, os torna candidatos ideais para substituir ingredientes convencionais (LI et al., 2023; LUMANLAN; WILLIAMS; JAYASENA, 2022; OONINCX et al., 2010).

Entre as diversas espécies de insetos com potencial para uso na alimentação animal, a mosca-soldado negra (BSF), *Hermetia illucens*, destaca-se pela sua notável capacidade de bioconversão e pelo elevado teor de nutrientes em suas larvas, incluindo proteínas, aminoácidos, lipídios, minerais e vitaminas (OONINCX; FINKE, 2021; ZOU et al., 2024). A gordura de BSF (GBSF), co-produto da produção de farinha de insetos, possui um perfil lipídico rico em ácidos graxos de cadeia média, como o ácido láurico (C12:0) que confere propriedades funcionais e nutricionais relevantes para a alimentação animal (BELGHIT et al., 2019).

A utilização da GBSF na nutrição de frangos de corte apresenta um enorme potencial, especialmente na substituição do óleo de soja, tradicionalmente utilizado como fonte de energia nas rações. Estudos recentes têm demonstrado que a inclusão da GBSF em dietas para frangos não compromete o desempenho zootécnico das aves e pode trazer benefícios adicionais, como a melhoria da saúde intestinal e a modulação da microbiota (DABBOU et al., 2021; KIEROŃCZYK et al., 2020, 2022b).

No entanto, para que a GBSF seja utilizada de forma eficiente e segura na nutrição de frangos de corte, é fundamental determinar seu valor energético específico para essa espécie. A energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMA_n) é um parâmetro essencial para a formulação de dietas balanceadas e para garantir o máximo aproveitamento dos nutrientes presentes na GBSF. Além disso, a determinação do nível ótimo de substituição do óleo de soja pela GBSF em dietas isoenergéticas é crucial para otimizar o desempenho das aves.

Diante do exposto, o presente estudo foi conduzido para a determinação da EMA_n da GBSF para frangos de corte e avaliação dos efeitos da substituição crescente do óleo de soja pela GBSF em dietas isoenergéticas sobre o desempenho zootécnico, rendimento de carcaça e cortes e histomorfometria intestinal de frangos de corte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos com frangos de corte no Setor de Avicultura da Universidade Federal de Lavras, Brasil. O Experimento I foi realizado para determinar a energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMA_n) e o coeficiente de metabolizabilidade aparente da energia bruta (CMEB) da gordura de *Black Soldier Fly* (GBSF) para frangos. Posteriormente, o nível ótimo de substituição do óleo de soja pela GBSF em dietas isoenergéticas para frangos foi determinado no Experimento II, considerando-se os efeitos sobre parâmetros de desempenho zootécnico, rendimento de carcaça e cortes e histomorfometria intestinal.

2.1. Comitê de ética

Todos os procedimentos experimentais utilizados nesta pesquisa foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Lavras, sob o protocolo nº 020/2023 e protocolo nº 7434150823.

2.2. Gordura de BSF e óleo de soja utilizados

Os dois experimentos foram realizados utilizando-se lote único da GBSF (código PRD00007) fabricada pela BSF Nutrição e Biotecnologia Ltda (CYNS[®], Piracicaba, São Paulo, Brasil). Seguindo protocolos de ambiência, sanidade e nutrição otimizados, padronizados e praticados pela empresa, as larvas de BSF foram criadas até atingirem idade aproximada de 14 dias e peso médio entre 150 mg. As larvas foram abatidas por fervura, secas em estufa a 85°C por 2 horas e prensadas a frio obtendo-se a GBSF. O óleo de soja comum foi comprado do mercado local em Lavras, Minas Gerais, Brasil. A energia bruta, caracterização e composição química da GBSF e óleo de soja constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Determinação da energia bruta, caracterização e composição química da gordura de *black soldier fly* e do óleo de soja.

(Continua)		
Item (com base na matéria natural)	Gordura de <i>black soldier fly</i>	Óleo de soja
Energia bruta (kcal/kg) ¹	9.054	9.379
Acidez em ácido oleico (%) ²	0,53	0,19
Índice de peróxido (meq/kg) ³	8,41	2,57
Matéria seca (g/kg) ⁴	998,8	999,9
Extrato etéreo (g/kg) ⁵	999,3	991,9
Perfil de ácidos graxos (%) ⁶		
C6:0	<0,0003	0,01
C8:0	0,01	<0,0003
C10:0	0,78	<0,0003
C11:0	0,01	<0,0003
C12:0	35,21	0,01
C14:0	7,15	0,09
C14:1	0,10	<0,0003
C15:0	0,12	0,02
C16:0	17,75	12,01
C16:1n-7	2,48	0,10
C17:0	0,35	0,11
C18:0	3,55	2,03
C18:1n-9 <i>cis</i>	16,94	29,08
C18:1n-9 <i>trans</i>	0,05	0,06

Tabela 1 – Determinação da energia bruta, caracterização e composição química da gordura de *black soldier fly* e do óleo de soja.

Item (Com base na matéria natural)	(Conclusão)	
	Gordura de <i>black soldier fly</i>	Óleo de soja
C18:2 <i>n</i> -6 <i>cis</i>	13,79	49,84
C18:2 <i>n</i> -6 <i>trans</i>	0,01	0,01
C18:3 <i>n</i> -3	0,76	5,58
C18:3 <i>n</i> -6	0,05	0,02
C20:0	0,09	0,48
C20:1 <i>n</i> -9	0,06	0,24
C20:2	0,03	0,04
C20:3	0,03	<0,0003
C20:4 <i>n</i> -6	0,26	<0,0003
C20:5 <i>n</i> -3	0,19	<0,0003
C21:0	0,12	0,04
C22:0	0,03	0,59
C22:1 <i>n</i> -9	0,01	<0,0003
C23:0	<0,0003	0,06
C24:0	<0,0003	0,21
ΣAGS	65,17	15,65
ΣAGMI	19,63	29,48
ΣAGPI	15,13	55,49
ΣAGIT	34,76	84,97
ΣAG <i>trans</i>	0,06	0,07
Σ _w -3	0,95	5,58
Σ _w -6	14,14	49,87
Σ _w -9	17,06	29,39
Relação Σ _w -6/ Σ _w -3	14,88	8,94

AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poliinsaturados; AGIT: ácidos graxos insaturados totais; AG*trans*: ácidos graxos *trans*.

¹Determinada em bomba calorimétrica (modelo C200, IKA®, Stauten, Germany). ²Método n° 28 (CBAA, 2013). ³Método n° 32 (CBAA, 2013). ⁴Método 934.01 (AOAC, 2005). ⁵Procedimento Am 5-04 (AOCS, 2017). ⁶Método 996.06 (AOAC, 2005). Ácidos graxos em concentração abaixo do limite de quantificação (<0,0003) na GBSF e óleo de soja: (C4:0), (C13:0), (C15:1), (C17:1), (C22:2*n*-6), (C22:6*n*-3) e (C24:1*n*-9).

A GBSF exibe consistência pastosa à temperatura ambiente (aproximadamente 25°C).

Por este motivo, antes de ser incorporada na ração, a GBSF foi aquecida a 40°C em banho-

maria de acordo com o descrito por Kierończyk et al. (2022a), passando para o estado líquido. Desta maneira, garantiu-se adequada qualidade de mistura da ração no misturador utilizado (MR-500, BENEDETTI, São Paulo, Brasil). Realizamos o perfil de ácidos graxos em amostras de GBSF antes e após o aquecimento e constatamos que não houve alteração maior que 2,18% nos teores destes nutrientes, comprovando que tal procedimento pode ser empregado sem comprometer a composição de ácidos graxos da GBSF.

2.3. Experimento I: Valor energético da GBSF para frangos de corte

2.3.1. Aves, dietas e procedimentos

Noventa pintainhos de corte Cobb-500 de um dia de idade (45 de cada sexo) adquiridos de incubatório comercial foram alojados como lote único em um galpão convencional para frangos, onde permaneceram até os 21 dias de idade. Este período foi denominado de pré-experimental, durante o qual os frangos foram manejados conforme o padrão recomendado pelo manual da linhagem (Cobb, 2018). Água e ração farelada foram fornecidas *ad libitum*, sendo o plano alimentar constituído de rações formuladas para atender as exigências nutricionais nas fases pré-inicial (1 a 7 dias) e inicial (8 a 21 dias) (Tabela 2).

Tabela 2 – Ingredientes e composição nutricional, com base na matéria natural, das dietas utilizadas no Experimento I.

	Período pré-experimental		Período experimental
	1 a 7 dias	8 a 21 dias	(Dieta referência) ¹ 22 a 30 dias
Ingredientes (g/kg)			
Milho	553,73	623,84	635,73
Farelo de soja, 45%	377,34	320,87	299,3
Óleo de soja	22,88	16,21	29,33
Fosfato bicálcico, 18,5%	25,68	16,30	14,86
Calcário calcítico	5,08	7,40	6,93
Sal comum	5,46	5,47	5,48
DL-Metionina, 99%	3,56	3,39	3,00
L- Lisina HCL, 99%	2,52	2,90	2,30
L-Treonina, 98,5%	1,24	1,10	0,59
Suplemento vitamínico ²	1,00	1,00	1,00
Suplemento mineral ³	1,00	1,00	1,00
Cloreto de colina, 60%	0,50	0,50	0,50
Salinomicina, 24%	0,25	0,25	0,00
Composição nutricional calculada ⁴ e determinada ⁵ (g/kg)			
EMA _n calculada (kcal/kg)	2.950	3.000	3.100
Extrato etéreo determinado	49,90	45,00	64,20
Proteína bruta calculada	220,00	200,00	190,00
Proteína bruta determinada	217,00	220,00	197,0
Lisina digestível calculado	12,60	11,60	10,60
Met + Cys digestível calculado	9,40	8,80	8,20
Treonina digestível calculado	8,60	7,80	7,00
Triptofano digestível calculado	2,10	1,80	1,90
Matéria mineral determinada	60,40	51,00	47,60
Cálcio total calculado	9,60	8,00	7,40
Fósforo disponível calculado	5,80	4,00	3,70
Sódio total calculado	2,30	2,30	2,30

EMA_n: energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio. Met + Cys: metionina + cisteína.

¹Na dieta teste, a gordura de *Black Soldier Fly* (GBSF) substituiu a dieta referência em 100 g/kg. ²Níveis por kg de suplemento: ácido fólico (902,5 mg), ácido pantotênico (12,0 g), biotina (77,0 mg), niacina (40,0 g), selênio (349,60 mg), vitamina A (8.800.000,0 UI), vitamina B₁ (2.499,0 mg), vitamina B₁₂ (16.200,0 mcg), vitamina B₂ (5.704,0 mg), vitamina B₆ (3.998,4 mg), vitamina D₃ (3.000.000,0 UI), vitamina E (30.000,0 UI), vitamina K₃ (2.198,1 mg). ³Níveis por Kg de suplemento: cobre (7,0 g), ferro (50,0 g), iodo (1.500,0 mg), manganês (67,5 g), zinco (45,6 g). ⁴Calculado baseado no manual da linhagem (COBB, 2022). ⁵Determinado em laboratório utilizando-se as metodologias de códigos 920.39, 990.03, e 942.05 para a determinação dos teores de extrato etéreo, proteína bruta e matéria mineral, respectivamente (AOAC, 2005).

No 22º dia de idade, os frangos foram pesados individualmente e selecionados por faixa de peso, sendo 72 animais transferidos para uma sala de metabolismo contendo gaiolas de arame galvanizado (50 x 50 x 50 cm) equipadas individualmente com bebedouro e comedouro do tipo calha com borda para evitar desperdícios de ração. Cada gaiola alojou três frangos totalizando o uso de 24 gaiolas metabólicas (unidades experimentais; repetições). O peso médio inicial dos frangos foi semelhante entre as unidades experimentais ($3,436 \text{ Kg} \pm 0,020$).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), constituído de duas dietas fareladas (dieta referência e dieta teste; Tabela 2) avaliadas em 12 repetições de três frangos. A dieta referência era a base de milho e farelo de soja, não continha GBSF e foi formulada considerando a composição dos alimentos relatada por Rostagno et al. (2017) e as exigências nutricionais baseadas no manual da linhagem (COBB, 2022). Como a GBSF é uma fonte lipídica, a dieta teste consistiu na dieta referência substituída em 10% pela GBSF (proporção de 900 g de ração referência mais 100 g de GBSF), conforme o recomendado por Sakomura & Rostagno (2016) para a avaliação de ingredientes energéticos. Água e as rações foram fornecidas *ad libitum*.

O período experimental teve duração de oito dias (22 a 30 dias de idade), sendo os cinco dias iniciais destinados à adaptação dos frangos às gaiolas e dietas, seguidos de três dias (RODRIGUES et al., 2005) para a coleta total de excretas.

2.3.2. Coleta total de excretas, análises laboratoriais e equações utilizadas

Abaixo de cada gaiola havia uma bandeja coletora de excretas forrada com plástico resistente. A coleta total de excretas foi realizada duas vezes ao dia, às 8h00 e 17h00, durante o período de 72 horas. As excretas de cada unidade experimental foram armazenadas em sacos plásticos identificados e mantidas em freezer a -4°C até o último dia de coleta para evitar fermentação e perda de nutrientes. As rações e sobras foram pesadas, respectivamente, no 27º e 30º dia de idade dos frangos para o cálculo do consumo de ração durante o período de coleta das excretas. Amostras de aproximadamente 400 g das rações também foram mantidas a -4°C até o momento das análises laboratoriais.

Encerrado o período da coleta, as excretas foram descongeladas, pesadas, homogeneizadas e aproximadamente 400 g de cada unidade experimental foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas. Posteriormente, as amostras de excretas pré-secas e rações foram moídas em moinho tipo faca, com peneira de 16 mesh e crivos de 1

mm e armazenadas à temperatura ambiente até a realização das análises laboratoriais. A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica (modelo C200, IKA®, Stauten, Germany). Os teores de matéria seca e nitrogênio foram determinados, respectivamente, pelos métodos 934.01 e 990.03 da AOAC (2005).

Considerando os resultados das análises, a energia metabolizável aparente (EMA) e EMA corrigida para o balanço de nitrogênio (EMA_n) foram calculadas utilizando-se as equações propostas por Matterson et al. (1965):

$$EMA \text{ da DR ou DT} = \frac{(EB \text{ ingerida} - EB \text{ excretada})}{MS \text{ ingerida}} \quad (1)$$

$$EMA \text{ do ingrediente} = EMA \text{ da DR} + \left[\frac{(EMA \text{ da DT} - EMA \text{ da DR})}{\left(\frac{g \text{ ingrediente}}{g \text{ ração}} \right)} \right] \quad (2)$$

$$Balanço \text{ de nitrogênio (BN)} = N \text{ ingerido} - N \text{ excretado} \quad (3)$$

$$EMAn \text{ da DR ou DT} = \frac{[EB \text{ ingerida} - (EB \text{ excretada} \pm 8,22 \times BN)]}{MS \text{ ingerida}} \quad (4)$$

$$EMAn \text{ do ingrediente} = EMAn \text{ da DR} + \left[\frac{(EMAn \text{ da DT} - EMAn \text{ da DR})}{\left(\frac{g \text{ ingrediente}}{g \text{ ração}} \right)} \right] \quad (5)$$

Em que: DR = dieta referência; DT = dieta teste; EB = energia bruta; MS = matéria seca.

Para calcular o coeficiente de metabolizabilidade aparente da energia bruta (CMAEB) da GBSF para frangos, a seguinte equação foi utilizada:

$$CMAEB = \frac{EB \text{ ingerida} - EB \text{ excretada}}{EB \text{ ingerida}} \quad (6)$$

2.4. Experimento II: Nível ótimo de substituição do óleo de soja pela GBSF em dietas isoenergéticas para frangos

2.4.1. Aves, delineamento e dietas experimentais

Seiscentos e sessenta pintainhos de corte Cobb-500 (330 de cada sexo) de um dia de idade foram adquiridos de incubatório comercial, sexados e alojados em um galpão convencional para frangos, onde permaneceram até os 21 dias de idade. Este período foi denominado de pré-experimental, durante o qual os frangos foram manejados conforme o padrão recomendado pelo manual da linhagem (COBB, 2018). Água e ração farelada foram fornecidas *ad libitum*, sendo o plano alimentar constituído de rações formuladas para atender as exigências nutricionais nas fases pré-inicial (1 a 7 dias), inicial (8 a 21 dias) (Tabela 3).

No 22º dia de idade, os frangos foram pesados individualmente e selecionados por faixa de peso. Em seguida, 500 animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, sendo avaliados cinco níveis de substituição do óleo de soja pela GBSF (0, 25, 50, 75 e 100%) em rações fareladas. Cada dieta foi avaliada em dez repetições, sendo cinco repetições constituídas de frangos de corte macho e cinco repetições constituídas de frangos de corte fêmea. Portanto, o sexo não foi considerado como fonte de variação. O peso médio inicial dos frangos foi semelhante entre as unidades experimentais ($8,434 \text{ Kg} \pm 0,032$).

A ração basal sem GBSF foi formulada considerando-se a composição dos alimentos relatada por Rostagno et al. (2017) e as exigências nutricionais do manual da linhagem (COBB, 2022). As demais rações foram formuladas com níveis crescentes de substituição do óleo de soja pela GBSF, considerando-se o valor de EMA_n determinado para a GBSF no Experimento I. Água e as rações experimentais foram fornecidas *ad libitum* no período de 22 a 38 dias (Tabela 3). Os perfis de ácidos graxos das dietas experimentais constam na Tabela 4.

2.4.2. Instalações e condições ambientais

Um galpão semi-automatizado convencional para frangos de corte foi utilizado, o qual internamente é dividido em boxes (unidades experimentais; repetições). Cada box (2,0 x 1,5 m) teve o piso coberto com maravalha nova e foi equipado com um bebedouro pendular, um comedouro tubular e uma lâmpada de infravermelho (250 W incandescente, Kian, China) que foi ligada para o aquecimento do ambiente sempre que necessário, até o empenamento dos frangos.

O programa de luz adotado consistiu em 0 h de escuro (1 a 7 dias de idade), 12 h de escuro (8 a 15 dias de idade), 10 h de escuro (16 a 23 dias de idade) e 8 h de escuro (24 a 38

dias de idade). O manejo dos ventiladores e das cortinas laterais foi realizado manualmente, conforme necessário. A temperatura e umidade relativa do ambiente foram monitoradas e registradas utilizando-se termo-higrômetro (K29-5070H, KASVI, China). As temperaturas e umidade relativas médias foram de $31,4 \pm 5,2^{\circ}\text{C}$ e $35,0 \pm 19,6\%$ de 1 a 7 dias, $26,1 \pm 4,9^{\circ}\text{C}$ e $65,0 \pm 18,9\%$ de 8 a 14 dias, $26,5 \pm 4,3^{\circ}\text{C}$ e $69,5 \pm 17,5 \%$ de 15 a 21 dias e $25,3 \pm 4,2^{\circ}\text{C}$ e $62,0 \pm 16,6 \%$ de 22 a 38 dias de idade.

Tabela 3 – Ingredientes e composição nutricional, com base na matéria natural, das dietas utilizadas no Experimento II.

(Continua)

Ingredientes (g/kg)	Período pré-experimental		Período experimental (22 a 38 dias de idade)				
	1 a 7 dias de idade	8 a 21 dias de idade	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)				
			0	25	50	75	100
Milho	553,73	623,84	635,46	634,24	632,50	631,33	629,58
Farelo de soja, 45%	377,34	320,87	299,23	300,58	302,39	303,69	305,50
Óleo de soja	22,88	16,21	29,39	22,00	14,70	7,35	0,00
Gordura de <i>Black Soldier Fly</i>	0,00	0,00	0,00	7,35	14,70	22,00	29,40
Fosfato bicálcico, 18,5%	25,68	16,30	14,86	14,85	14,84	14,83	14,81
Calcário calcítico	5,08	7,40	6,94	6,93	6,92	6,92	6,91
Sal comum	5,46	5,47	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48
DL-Metionina, 99%	3,56	3,39	3,00	2,99	2,97	2,96	2,94
L- Lisina HCL, 99%	2,52	2,90	2,30	2,26	2,20	2,16	2,11
L-Treonina, 98,5%	1,24	1,10	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51
Suplemento vitamínico ¹	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Suplemento mineral ²	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cloreto de colina, 60%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Salinomicina, 24%	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 3 – Ingredientes e composição nutricional, com base na matéria natural, das dietas utilizadas no Experimento II.

		(Conclusão)					
Ingredientes (g/kg)	Período pré-experimental		Período experimental (22 a 38 dias de idade)				
			Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)				
	1 a 7 dias de idade	8 a 21 dias de idade	0	25	50	75	100
Composição nutricional calculada ³ e determinada ⁴ (g/kg)							
EMA _n calculada (kcal/kg) ⁵	2.950	3.000	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100
Extrato etéreo determinado	47,30	35,10	55,90	56,00	57,10	57,40	57,90
Proteína bruta calculada	220,00	200,00	190,00	190,46	191,07	191,52	192,30
Proteína bruta determinada	220,00	210,00	193,00	194,10	196,90	197,10	198,50
Lisina digestível calculado	12,60	11,60	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60
Met + Cys digestível calculado	9,40	8,80	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20
Treonina digestível calculado	8,60	7,80	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Triptofano digestível calculado	2,10	1,80	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
Matéria mineral determinada	61,00	50,10	46,70	49,60	46,60	41,80	49,50
Cálcio total calculado	9,60	8,00	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40
Fósforo disponível calculado	5,80	4,00	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
Sódio total calculado	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30

¹Níveis por kg de suplemento: ácido fólico (902,5 mg), ácido pantotênico (12,0 g), biotina (77,0 mg), niacina (40,0 g), selênio (349,60 mg), vitamina A (8.800.000,0 UI), vitamina B₁ (2.499,0 mg), vitamina B₁₂ (16.200,0 mcg), vitamina B₂ (5.704,0 mg), vitamina B₆ (3.998,4 mg), vitamina D₃ (3.000.000,0 UI), vitamina E (30.000,0 UI), vitamina K₃ (2.198,1 mg). ²Níveis por kg de suplemento: cobre (7,0 g), ferro (50,0 g), iodo (1.500,0 mg), manganês (67,5 g), zinco (45,6 g). ³calculado baseado no manual da linhagem (COBB, 2022). ⁴Determinado em laboratório utilizando-se as metodologias de códigos 920.39, 990.03, e 942.05 para a determinação dos teores de extrato etéreo, proteína bruta e matéria mineral, respectivamente (AOAC, 2005). ⁵Considerando-se o valor de EMA_n determinado para a GBSF no Experimento I.

Tabela 4 – Perfil de ácidos graxos (% total dos AG identificados), com base na matéria natural, determinado nas das dietas experimentais fornecidas aos frangos no período de 22 a 38 dias de idade.

(Continua)

Perfil de ácidos graxos (%) ¹	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)				
	0	25	50	75	100
C10:0	0,07	0,15	0,18	0,35	0,37
C12:0	0,19	3,54	5,64	10,39	15,63
C13:0	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03
C14:0	1,09	0,00	2,42	3,12	3,46
C14:1	0,08	0,10	0,15	0,16	0,09
C15:0	0,15	0,15	0,18	0,19	0,12
C16:0	15,30	16,99	18,97	17,30	17,42
C16:1 <i>n</i> -7	0,41	1,22	1,92	1,21	1,51
C17:0	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20
C18:0	5,24	4,79	5,40	5,07	4,52
C18:1 <i>n</i> -9 <i>cis</i>	27,68	29,25	28,06	24,30	24,30
C18:1 <i>n</i> -9 <i>trans</i>	0,00	0,00	0,00	0,44	0,29
C18:2 <i>n</i> -6 <i>cis</i>	44,39	38,25	32,53	32,34	28,97
C18:3 <i>n</i> -3	0,25	0,30	0,24	0,20	0,16
C18:3 <i>n</i> -6	0,00	0,03	0,05	0,04	0,04
C20:0	0,32	0,31	0,27	0,28	0,26
C20:1 <i>n</i> -9	3,57	2,77	2,19	1,86	1,36
C20:2	0,05	0,08	0,08	0,07	0,04
C20:3 <i>n</i> -3	0,00	0,00	0,07	0,10	0,08
C20:3 <i>n</i> -6	0,05	0,15	0,17	0,14	0,08
C20:4 <i>n</i> -6	0,32	1,00	0,71	0,71	0,48
C20:5 <i>n</i> -3	0,17	0,14	0,10	0,12	0,09
C21:0	0,12	0,12	0,12	0,18	0,15
C22:0	0,27	0,26	0,20	0,16	0,13
C22:6 <i>n</i> -3	0,04	0,10	0,05	0,08	0,04
C24:0	0,07	0,11	0,11	0,15	0,17
ΣAGS	22,99	26,60	33,70	37,42	42,45
ΣAGMI	31,74	33,34	32,31	28,78	27,55
ΣAGPI	45,27	40,05	33,99	32,79	30,00

Tabela 4 – Perfil de ácidos graxos (% total dos AG identificados), com base na matéria natural, determinado nas dietas experimentais fornecidas aos frangos no período de 22 a 38 dias de idade.

(Conclusão)

Perfil de ácidos graxos (%) ¹	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)				
	0	25	50	75	100
Σ AGIT	77,01	73,40	66,30	62,58	57,55
Σ AG <i>trans</i>	0,00	0,00	0,00	0,44	0,29
Σ w-3	0,46	0,54	0,45	0,50	0,38
Σ w-6	44,76	39,43	33,46	33,23	29,58
Σ w-9	27,68	29,25	28,06	25,55	24,59
Relação Σ w-6/ Σ w-3	97,30	73,02	74,36	66,46	77,84
Relação Σ w-3/ Σ w-6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Relação Σ AGPI/ Σ AGS	1,97	1,51	1,01	0,90	0,71

AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poliinsaturados; AGIT: ácidos graxos insaturados totais; AG*trans*: ácidos graxos *trans*.

¹Determinado segundo a metodologia laboratorial descrita por Marçal et al. (2024).

2.4.3. Parâmetros avaliados

2.4.3.1. Desempenho zootécnico e rendimento de carcaça e cortes

O desempenho dos frangos foi determinado no período de 22 a 38 dias de idade. O consumo de ração foi determinando considerando-se a quantidade de ração fornecida menos as sobras no período. O ganho de peso dos frangos foi obtido subtraindo-se o peso aos 38 dias do peso aos 22 dias de idade. A conversão alimentar foi calculada dividindo-se o consumo de ração pelo ganho de peso no período, para cada unidade experimental. A mortalidade foi monitorada diariamente, registrada e considerada para a correção dos parâmetros de desempenho avaliados, conforme metodologia n° 3 proposta por Sakomura e Rostagno (2016).

No 38° dia de idade, um frango de cada unidade experimental foi selecionado de acordo com o peso médio da parcela (peso médio $\pm$ 3%), correspondendo a dez aves por tratamento (cinco de cada sexo). Após jejum alimentar de 8 horas, os frangos foram pesados, insensibilizados por eletronarcose, seguido de sangria, escaldados, depenados e eviscerados descartando-se os pés e a cabeça. As carcaças foram pesadas, embaladas em sacos plásticos identificados e resfriados à 5 °C em freezer por 24 horas. Portanto, o rendimento de carcaça foi realizado 24 horas *post mortem*, considerando-se o peso da carcaça limpa (sem cabeça e pés) em relação ao peso vivo do animal em jejum. Após registro do peso das carcaças, estas foram

divididas em cortes (peito, coxa, sobrecoxa, dorso, asas e pescoço) para determinar o rendimento dos cortes, que foi realizado em relação ao peso da carcaça eviscerada. Para determinar o percentual de gordura abdominal, a deposição lipídica na região entre a Bursa de *Fabricius* e a cloaca foi pesada e relativizada com o peso da carcaça eviscerada.

2.4.3.2. Histomorfometria intestinal

No momento da evisceração dos frangos, fragmentos de aproximadamente 6 cm de comprimento de jejuno (a partir da porção distal da alça duodenal até o divertículo de Meckel) foram lavados com água destilada para retirar o conteúdo de digesta e mantidos em solução de formol 10% tamponado por no mínimo 48 horas. Na sequência, os fragmentos foram desidratados em uma série crescente de etanol, diafanizados em xilol e incluídos em blocos com parafina. A microtomia dos blocos foi realizada em seções transversais de 4-5 μ m de espessura, sendo os cortes mergulhados em água de banho-maria para esticar o tecido quando, então, foram posicionados distendidos em uma lâmina de vidro histológica e secos em estufa a 60°C por 1 hora.

Os cortes histológicos foram corados com hematoxilina e eosina. Os campos histológicos foram observados utilizando-se microscópio óptico (Olympus CX31; objetiva de 10x) equipado com câmera digital (Olympus SC30) acoplado ao sistema de aquisição de imagens (AnalySIS getIT). As imagens foram analisadas por meio do software Image J (versão 1.54g) calibrado de acordo com escala de imagem, de forma a se medir um total de 15 unidades de vilo-criptas intactas e bem orientadas. Os seguintes parâmetros foram mensurados: altura da vilosidade, desde a base até o ápice da vilosidade; largura da vilosidade, aproximadamente no meio da vilosidade; profundidade da cripta intestinal, da mucosa até a base da vilosidade; largura da cripta e razão vilo/cripta, dividindo a altura do vilo pela profundidade da cripta.

2.4.3.3. Análises estatísticas

Os dados foram analisados com o software R (R Development Core Team, 2024). O teste de Shapiro-Wilk avaliou a normalidade dos dados e o teste de Bartlett foi utilizado para verificar homogeneidade das variâncias. Os dados com distribuição normal foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e aplicado o teste F para verificar se houve diferença no efeito dos tratamentos. Quando o teste F foi significativo ao nível de 0,05 as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey. Os dados com distribuição não normal foram submetidos à análise de variância não paramétrica aplicando o teste de Box-Cox e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Experimento I

O valor energético da GBSF para frangos de corte foi determinado, com base na matéria natural, em 9.010 kcal/kg de energia metabolizável aparente (EMA), 9.027 kcal/kg de energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMA_n) e 82,65% de coeficiente de metabolizabilidade aparente da energia bruta (CMAEB). Com base na matéria seca a EMA é de 9.021 kcal/kg e EMA_n de 9.038 kcal/kg e com CMAEB de 82,62% (Tabela 5).

Tabela 5 – Valor energético da gordura de *black soldier fly* para frangos de corte, determinado no Experimento I.

	Com base na matéria natural	Com base na matéria seca
EMA (kcal/kg)	9.010	9.021
EMA _n (kcal/kg)	9.027	9.038
CMAEB (g/kg)	826,45	826,22

EMA: energia metabolizável aparente (EMA). EMA_n: energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio. CMAEB: coeficiente de metabolizabilidade aparente da energia bruta.

Na presente pesquisa, utilizando frangos de corte Cobb 500, o valor energético da GBSF foi determinado em 9.010 kcal/kg de EMA e 9.027 kcal/kg de EMAN, valores similares aos encontrados por Kieronczyk et al. (2022a) (9.049 kcal/kg EMA e 9.019 kcal/kg EMAN) em frangos Ross 308 machos. É importante notar que Kieronczyk et al. (2022a) utilizaram aves mais jovens e um método de determinação de energia metabolizável distinto do nosso, o que pode explicar as pequenas diferenças observadas. Por outro lado, Chobanova et al. (2024) reportaram valores inferiores (8.692 kcal/kg EMA e 8.478 kcal/kg de EMAN) em frangos Ross 308 fêmeas. Esses valores de energia estão em matéria natural. Apesar do método de determinação de Chobanova et al. (2024) ser semelhante do presente estudo, os valores foram diferentes. Como já observado por Kieronczyk et al. (2022a), o valor energético da GBSF pode variar em função da idade dos frangos. Além disso, a variação entre as energias determinadas em cada trabalho pode ter variado devido a composição da GBSF, as metodologias aplicadas para determinar a energia, sexo e idades diferentes das aves.

Portanto, em geral, os resultados do presente estudo e da literatura consultada indicam que a GBSF é uma fonte de energia de alto valor para frangos de corte, com níveis de energia

metabolizável comparáveis aos do óleo de soja de 8.790 kcal/kg de energia metabolizável (ROSTAGNO et al., 2024), comumente utilizado na alimentação de aves.

3.2. Experimento II

A substituição crescente do óleo de soja (OS) pela GBSF não influenciou ($P > 0,05$) o desempenho zootécnico dos frangos de corte de 22 a 38 dias de idade, incluindo o peso final, consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar. No entanto, a substituição de 100% do OS pela GBSF resultou em maior ($P < 0,05$) rendimento de peito em comparação aos demais tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6 – Efeitos dos níveis de substituição de óleo de soja por GBSF em dietas de frangos de corte sobre desempenho zootécnico da fase 22 a 38 dias e rendimentos de carcaça e cortes aos 38 dias.

Item	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)					P-valor	CV %
	0	25	50	75	100		
Peso aos 21 dias (kg)	0,843	0,836	0,843	0,843	0,843	0,9953	5,44
Consumo de ração (kg)	2,81	2,80	2,77	2,70	2,77	0,8712	9,00
Ganho de peso (kg)	1,83	1,84	1,85	1,83	1,83	0,9908	11,06
Conversão alimentar (kg:kg)	1,55	1,55	1,51	1,49	1,54	0,9591	13,45
Peso vivo pós jejum (kg)	2,65	2,62	2,66	2,62	2,67	0,9872	9,34
Rendimento de carcaça (%)	69,57	70,50	68,78	69,20	69,40	0,5490	3,28
Peito (%)	36,81 ^{ab}	36,27 ^{ab}	36,13 ^b	36,24 ^b	38,43 ^a	0,0231	4,67
Regressão: $y = 0,4079x^2 - 2,1261x + 38,668$							
Coxa + Sobrecoxa (%)	30,17	30,60	30,68	30,36	30,04	0,9361	6,32
Asa (%)	10,75	10,46	10,73	10,70	10,56	0,8607	6,56
Gordura abdominal (%)	0,85	1,13	1,08	1,02	1,01	0,4513	33,50

Este resultado corrobora com outros estudos que investigaram o uso de óleo de insetos em dietas de frangos de corte (SCHIAVONE et al., 2017, 2018; KIEROŃCZYK et al., 2020). A ausência de efeitos prejudiciais no desempenho produtivo sugere que a GBSF pode substituir completamente o óleo de soja sem comprometer o crescimento das aves, possivelmente devido ao seu alto valor energético e perfil de ácidos graxos que atendem às necessidades nutricionais dos frangos.

Entretanto, alguns estudos mostram resultados diferentes em relação ao rendimento de peito. Enquanto no presente estudo observou-se uma resposta quadrática para o rendimento de peito com a inclusão da GBSF, outros autores não encontraram efeito significativo da GBSF

nesse parâmetro. Dabbou et al. (2021), por exemplo, não relataram diferenças no rendimento de peito em frangos de corte alimentados com MBSF (gordura de larva de BSF modificada). Da mesma forma, Kim et al. (2020) não observaram alterações no rendimento de peito com a inclusão de óleo de BSF na dieta.

Sakai et al. (2022) demonstraram que o ácido mirístico aumenta a expressão da proteína β -tubulina em miotubos C2C12, um componente essencial dos microtúbulos, que desempenham papel crucial na estrutura e função das células musculares. O aumento da β -tubulina pode favorecer o desenvolvimento e a hipertrofia muscular, o que poderia explicar, em parte, o aumento do rendimento de peito observado no presente estudo. Além disso, os autores observaram que o ácido mirístico aumentou os níveis da enzima diacilglicerol quinase δ (DGK δ), que participa da sinalização celular e do metabolismo lipídico. É possível que a DGK δ esteja envolvida na regulação do crescimento muscular e na deposição de gordura, contribuindo para o efeito do ácido mirístico no rendimento de peito.

Wang et al. (2018) investigaram o efeito do ácido láurico no metabolismo muscular e demonstraram que este ácido graxo promove a formação de fibras musculares glicolíticas do tipo IIb em células C2C12. As fibras do tipo IIb são caracterizadas por sua rápida contração e alta capacidade de geração de força, o que pode contribuir para o aumento da massa muscular. Além disso, o ácido láurico aumentou a expressão de genes envolvidos na glicólise, como a hexoquinase 2 (HK2) e a lactato desidrogenase (LDH), indicando um aumento no metabolismo energético muscular. Esses resultados sugerem que o ácido láurico pode ter um papel importante no desenvolvimento muscular e na deposição de proteínas, o que pode estar relacionado ao aumento do rendimento de peito observado no presente estudo.

Embora os estudos de Sakai et al. (2022) e Wang et al. (2018) tenham investigado os efeitos do ácido mirístico e do ácido láurico separadamente, é plausível que a ação conjunta desses ácidos graxos contribua para o aumento do rendimento de peito observado no presente estudo. A GBSF apresenta ambos os ácidos graxos em sua composição, o que pode resultar em um efeito sinérgico no metabolismo muscular e na deposição de gordura. Zeitz et al. (2015) observaram que dietas ricas em ácido láurico e mirístico melhoraram a taxa de conversão alimentar e o rendimento da carne de peito de frango, corroborando a hipótese de que esses ácidos graxos podem ter um efeito positivo no desenvolvimento muscular.

Essa divergência nos resultados pode ser atribuída a diversos fatores, como a idade das aves, o tipo de linhagem utilizada, as condições experimentais e o manejo, a composição da

dieta basal e a variação na composição de ácidos graxos da GBSF entre os estudos. O aumento no rendimento de peito pode estar relacionado à alteração no metabolismo lipídico promovida pela GBSF, que possui um perfil de ácidos graxos diferente do óleo de soja. Além disso, é importante ressaltar que o aumento no rendimento de peito observado no presente estudo, especialmente com 100% de substituição do óleo de soja, é um resultado relevante para a indústria avícola, já que o peito é um corte de alto valor comercial.

Em relação à histomorfometria intestinal, não houve diferença ($P > 0,05$) entre os tratamentos para as variáveis de altura de vilo, largura de vilo, profundidade de cripta, largura de cripta e relação vilo/cripta no jejuno dos frangos aos 38 dias de idade (Tabela 7).

A inclusão da GBSF em substituição parcial ou total ao óleo de soja na dieta de frangos de corte em fase de finalização, não resultou em efeitos sobre a morfometria intestinal (DABBOU et al., 2021; SCHIAVONE et al., 2018).

Em ambos os estudos, a altura e a profundidade das criptas, bem como a relação altura de vilo:profundidade das criptas, não foram afetadas pela inclusão da GBSF na dieta. Resultados semelhantes foram observados por Kim et al. (2021) quando o óleo de soja foi substituído em 50% e 100% na dieta de frangos de corte. Os autores não observaram diferenças significativas na altura e profundidade das criptas no íleo de frangos de corte alimentados com dietas contendo GBSF em comparação com aqueles alimentados com dietas controle.

A ausência de efeitos da GBSF na morfometria intestinal sugere que sua inclusão na dieta não compromete a saúde intestinal dos frangos de corte. Adicionalmente, a altura das vilosidades, um indicador da capacidade de absorção de nutrientes, não foi negativamente afetada pela substituição do óleo de soja pela GBSF.

Tabela 7 – Efeitos dos níveis de substituição de óleo de soja por GBSF em dietas de frangos de corte sobre histomorfometria de jejuno (38 dias).

Item	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)					SEM	P-valor	CV %
	0	25	50	75	100			
Altura de vilo (μm)	876,423	895,283	837,694	824,558	823,395	21,5760	0,783	17,92
Largura de vilo (μm)	141,684	147,909	141,629	137,589	136,284	2,5141	0,642	12,61
Profundidade de cripta (μm)	107,822	109,336	101,800	99,048	113,854	3,1753	0,607	21,11
Largura de cripta (μm)	52,318	52,578	52,755	52,601	52,693	1,1482	1,000	15,44
Relação vilo/cripta (μm)	16,394	16,400	16,397	16,653	14,907	0,4242	0,715	18,57

4. CONCLUSÕES

A gordura de larvas da mosca-soldado negra (GBSF) demonstrou ser uma fonte de energia viável para frangos de corte, com valor de energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio de 9.027 kcal/kg. A inclusão da GBSF em dietas isoenergéticas, substituindo o óleo de soja em até 100%, não alterou a histomorfometria do jejuno nem prejudicou o desempenho zootécnico das aves de 22 a 38 dias de idade, indicando que a GBSF pode substituir completamente o óleo de soja sem afetar negativamente o crescimento e a eficiência alimentar. Adicionalmente, a substituição total do óleo de soja pela GBSF resultou em um aumento significativo no rendimento de peito, um corte de alto valor comercial, o que representa um benefício econômico relevante para a indústria avícola.

REFERÊNCIAS

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official Procedure**. Rapid Determination of Oil/ Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction. Am 5-04. p. 1-4, 2017.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analyses of the Association of Analytical Chemists**. 18. ed. 2005.

BELGHIT, I. et al. Insect-based diets high in lauric acid reduce liver lipids in freshwater Atlantic salmon. **Aquaculture Nutrition**, v. 25, n. 2, p. 343–357, 2019.

CBAA - **Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal**. Guia de Métodos Analíticos. 4ª ed. São Paulo, Sindirações, 2013.

CHOBANOVA, S. et al. Metabolizable Energy Value of Fat and Meals Obtained from Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) for Broiler Chickens. **Poultry**, v.3, n. 3, p. 298–306, 2024.

COBB VANTRESS. **Broiler Management Guide**. 112 p, 2018.

COBB VANTRESS. **Cobb 500 Performance & Nutrition Supplement**. 16 p, 2022.

DABBOU, S. et al. Modified Black Soldier Fly Larva Fat in Broiler Diet: Effects on Performance, Carcass Traits, Blood Parameters, Histomorphological Features and Gut Microbiota. **Animals (Basel)**, v. 11, n. 6, p. 1837, 2021.

KIERONCZYK, B. et al. First report of the apparent metabolisable energy value of black soldier fly larvae fat used in broiler chicken diets. **Animal**, v. 16, n. 11, 2022a.

KIERONCZYK, B. et al. From waste to sustainable feed material: the effect of *Hermetia illucens* oil on the growth performance, nutrient digestibility, and gastrointestinal tract morphometry of broiler chickens. **Annals of Animal Science**, v. 20, n. 1, p. 157-177, 2020.

KIEROŃCZYK, B. et al. *Hermetia illucens* fat affects the gastrointestinal tract selected microbial populations, their activity, and the immune status of broiler chickens. **Annals of animal science**, v. 22, n. 2, p. 663–675, 2022b.

KIM, B. et al. Effects of dietary supplementation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on broiler health. **Journal of Poultry Science**, 58(4), 222-229, 2021.

KIM, Y. B. et al. Black soldier fly larvae oil as an alternative fat source in broiler nutrition. **Poultry Science**, v. 99, n. 7, p. 3133-3143, 2020.

LI, M. J. et al. Edible Insects: A New Sustainable Nutritional Resource Worth Promoting. **Foods**, v. 12, n. 22, 2023.

LUMANLAN, J. C.; WILLIAMS, M.; JAYASENA, V. Edible insects: environmentally friendly sustainable future food source. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 10, p. 6317–6325, 2022.

MARCAL, J. O. et al. Sexual maturity, slaughter age, and sex on meat fatty acid composition of chickens raised in a free-range system. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 131, 2024.

MATTERSON, L. D. et al. The metabolizable energy of feed ingredients for chicken. Connecticut: **Agricultural Experiment Station**. 1965. p.11 (Research Report, 7).

MEKONNEN, M. M.; GERBENS-LEENES, W. The water footprint of global food production. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 10, 2020.

OONINCX, D. et al. An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. **PLOS ONE**, v. 5, n. 12, 2010.

OONINCX, D. G. A.; FINKE, M. D. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. **Journal of insects as food and feed**, v. 7, n. 5, p. 639–659, 2021.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing Viena: 2024.

RODRIGUES, P. B. et al. Influência do tempo de coleta e metodologias sobre a digestibilidade e o valor energético de rações para aves. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 882–889, maio 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300021>

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2017. 488p.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 5.ed. Viçosa: UFV, 2024. 531p.

SAKAI, H. et al. Myristic acid increases β -tubulin protein levels in C2C12 myotubes via diacylglycerol kinase δ . **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 600, p. 114-119, 2022.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 2. edição. Jaboticabal: Funep, 2016. 262 p.

SCHIAVONE, A. *et al.* Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. **Animal**, v. 12, n. 10, p. 2032-2039, 2018.

SCHIAVONE, A. *et al.* Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: Effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. **Italian Journal of Animal Science**, v. 16, n. 1, p. 93-100, 2017.

WANG, D. *et al.* Lauric acid promotes skeletal muscle fibre switch to glycolytic type through TLR4 signalling. **Journal of Cellular and Molecular Medicine**, v. 22, n. 8, p. 3918-3927, 2018.

ZEITZ, J. O. *et al.* Effects of dietary fats rich in lauric and myristic acid on performance, intestinal morphology, gut microbes, and meat quality in broilers. **Poultry science**, v. 94, n. 10, p. 2404-2413, 2015.

ZOU, X. *et al.* Applications of insect nutrition resources in animal production. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 15, 2024.

ARTIGO 2- QUALIDADE DA CARNE DO PEITO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM RAÇÃO CONTENDO GORDURA DA LARVA DA MOSCA-SOLDADO NEGRA EM SUBSTITUIÇÃO AO ÓLEO DE SOJA

1. INTRODUÇÃO

A carne de frango é amplamente apreciada pelos consumidores devido à sua versatilidade culinária, alto valor nutricional e preço acessível. No entanto, a qualidade da carne de frango é influenciada por diversos fatores, incluindo a genética, o manejo das aves, a nutrição e o processamento pós-abate (PETRACCI et al., 2019). Dentre esses fatores, a nutrição desempenha um papel crucial na determinação das características físico-químicas, sensoriais e nutricionais da carne (MARCHEWKA et al., 2023).

A crescente demanda por alimentos e a busca por alternativas sustentáveis têm impulsionado a pesquisa por novos ingredientes na nutrição animal. Nesse contexto, a utilização de insetos, como a mosca-soldado negra (*Hermetia illucens*), tem se destacado como uma opção promissora. As larvas da mosca-soldado negra apresentam alto teor de proteína e lipídios, podendo ser utilizadas na alimentação de diversas espécies animais, incluindo frangos de corte (BARRAGAN-FONSECA et al., 2017).

A gordura de larvas da mosca-soldado negra (GBSF) é um subproduto da produção de farinha de insetos e possui um perfil lipídico peculiar, rico em ácidos graxos de cadeia média, como o ácido láurico (C12:0). Esses ácidos graxos têm sido associados a benefícios à saúde humana e animal, como propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias (TRAN et al., 2019). Além disso, a GBSF apresenta potencial para substituir parcialmente ou totalmente o óleo de soja, tradicionalmente utilizado como fonte de lipídios na alimentação de frangos de corte.

Estudos recentes têm demonstrado que a inclusão da GBSF na dieta de frangos de corte não compromete o desempenho zootécnico das aves e pode influenciar positivamente a qualidade da carne. Schiavone et al. (2018) observaram que a substituição do óleo de soja pela GBSF não afetou as características de qualidade da carne de peito de frangos, como cor, pH e perda de peso por cozimento. No entanto, outros estudos têm relatado alterações no perfil de ácidos graxos da carne de frango em resposta à inclusão da GBSF na dieta (CULLERE et al., 2019; SPRANGHERS et al., 2017).

A compreensão dos efeitos da GBSF sobre a qualidade da carne de frango é fundamental para sua aplicação na indústria avícola. Adicionalmente, a avaliação da interação entre os níveis de substituição do óleo de soja pela GBSF e o sexo das aves pode fornecer informações relevantes sobre as diferenças na resposta dos animais à inclusão desse ingrediente na dieta. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da substituição crescente do óleo de soja pela GBSF em dietas isoenergéticas sobre a qualidade da carne de peito de frangos de corte, incluindo análises físico-químicas, composição centesimal e perfil de ácidos graxos. Além disso, foram investigadas a interação entre os níveis de substituição e o sexo das aves, visando identificar possíveis diferenças na resposta à inclusão da GBSF na dieta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Comitê de Ética

Todos os procedimentos experimentais utilizados nesta pesquisa foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Lavras, sob o protocolo nº 7434150823.

2.2. Animais e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no Setor de Avicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais. Foram utilizados 660 pintainhos de corte Cobb 500, machos e fêmeas, de um dia de idade, adquiridos de um incubatório comercial. As aves foram alojadas em um galpão convencional até os 21 dias de idade, seguindo as recomendações do manual da linhagem (COBB, 2018). Água e ração farelada foram fornecidas *ad libitum*, com um plano alimentar que atendia às exigências nutricionais nas fases pré-inicial (1 a 7 dias) e inicial (8 a 21 dias).

No 22º dia de idade, os frangos foram pesados individualmente, selecionados por faixa de peso e distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5x2 (cinco níveis de substituição do óleo de soja pela gordura de *Black Soldier Fly* e dois sexos), com cinco repetições por tratamento. Cada repetição consistiu em dez aves, totalizando 50 unidades experimentais. Os tratamentos foram definidos por diferentes níveis de substituição do óleo de soja pela gordura de *Black Soldier Fly* (GBSF) nas rações: 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. A ração basal, sem GBSF, foi formulada com base nas tabelas de Rostagno et al. (2017) e nas exigências nutricionais do manual da linhagem Cobb (COBB, 2022). As demais rações foram formuladas com níveis crescentes de substituição do óleo de soja pela GBSF,

considerando o valor de energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMA_n) da GBSF determinado em experimento prévio. Água e rações experimentais foram fornecidas *ad libitum* do 22º ao 38º dia de idade.

2.3. Instalações e condições ambientais

O experimento foi realizado em um galpão convencional para frangos de corte, dividido internamente em boxes (unidades experimentais). Cada box, com área de 3 m², teve o piso coberto com maravalha nova e foi equipado com um bebedouro pendular, um comedouro tubular e uma lâmpada de infravermelho (250 W) para aquecimento, quando necessário.

O programa de luz adotado variou conforme a idade das aves: 0 horas de escuro de 1 a 7 dias, 12 horas de 8 a 15 dias, 10 horas de 16 a 23 dias e 8 horas de 24 a 38 dias. O manejo dos ventiladores e cortinas laterais foi realizado manualmente, de acordo com as necessidades. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas e registradas com um termo-higrômetro. As médias de temperatura e umidade relativa foram de $31,4 \pm 5,2^\circ\text{C}$ e $35,0 \pm 19,6\%$ de 1 a 7 dias; $26,1 \pm 4,9^\circ\text{C}$ e $65,0 \pm 18,9\%$ de 8 a 14 dias; $26,5 \pm 4,3^\circ\text{C}$ e $69,5 \pm 17,5\%$ de 15 a 21 dias; e $25,3 \pm 4,2^\circ\text{C}$ e $62,0 \pm 16,6\%$ de 22 a 38 dias.

2.4. Parâmetros avaliados

2.4.1. Qualidade, composição centesimal e perfil de ácidos graxos no peito

Ao atingirem 38 dias de idade, procedeu-se à seleção de um frango por unidade experimental, tomando como critério o peso médio do grupo ($\pm 3\%$). A amostra totalizou dez aves por tratamento, com igual representação de ambos os sexos ($n=5/\text{sexo}$). Após um período de jejum alimentar de 8 horas, os indivíduos foram submetidos à pesagem e, em seguida, insensibilizados via eletronarcose. Posteriormente, realizou-se a sangria, escaldagem, depenagem e evisceração, com descarte de cabeça e pés.

Após 24 horas da evisceração dos frangos, amostras de peito completo foram coletadas e transportadas até o Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal da Universidade Federal de Lavras onde foram realizadas as análises de qualidade da carne. A cor do peito foi medida em três pontos, utilizando um colorímetro Konica Minolta® CM700 operando no sistema CIE $L^* a^* b^*$, sendo L^* luminosidade, a^* conteúdo vermelho e b^* conteúdo amarelo. O pH 24 *post mortem* foi determinado utilizando-se pHmetro digital (Hanna Instruments®),

Modelo HI 99163). Na cor, ainda foram determinados os índices de saturação (C^*) e o ângulo de tonalidade (h^*), que foram calculados pelas seguintes fórmulas: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ e; $h^* = \tan^{-1} (b^*/a^*)$ (Ramos e Gomide, 2007).

A perda de peso por cozimento e a força de cisalhamento foram determinadas nos músculos do peito direito. As amostras de músculo foram pesadas em balança analítica, embrulhadas em papel alumínio e depois cozidas em grelha elétrica até atingir 72 °C de temperatura central. A carne cozida foi cortada em cubos de 1,0 × 1,0 cm em forma de tiras (6 por peito), cortando primeiro ao longo do eixo das fibras musculares e, em seguida, duas hastes em forma de cunha foram pressionadas nas tiras de carne até que elas se separarem, a fim de medir o máximo de força de cisalhamento (kgf), utilizando um analisador de textura (Extralab, modelo TA-XT plus).

Para determinar os teores de umidade, proteína bruta, lipídeos, matéria mineral e colágeno foram utilizados músculos de peito sem pele. Aproximadamente 100g foram trituradas em multiprocessador até a obtenção de uma massa homogênea e, posteriormente, analisadas por infravermelho (método AOAC: 2007-04) em aparelho FoodScan™ (FOSS, Hillerod, Dinamarca).

Para determinar o perfil de ácidos graxos, 5 g da amostra foram submetidos à extração lipídica segundo o método de Folch et al. (1957), utilizando clorofórmio:metanol 2:1 (v:v). Os metil ésteres foram preparados conforme metodologia proposta por Hartman e Lago (1973), modificada por Maia e Rodrigues-Amaya (1993) e detalhada por Marçal et al. (2024). Posteriormente, o perfil de ácidos graxos foi quantificado em cromatógrafo Shimadzu GC-2010 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) equipado com detector de ionização de chama (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan), coluna capilar com dimensões de 100 m × 0,25 mm de diâmetro, 0,2 µm thick Supelco film (SP-2560, Bellefonte, PA, U.S.) e gás hélio como gás de arraste (2 mL/min). As temperaturas do injetor foram programadas segundo o descrito por Marçal et al. (2024). O perfil de ácidos graxos foi expresso em um cromatograma usando o software GC Solution, sendo os picos identificados de acordo com os padrões Supelco 37® (Supelco 37 standard FAME Mix, Supelco Inc., USA).

Os níveis totais de ácidos graxos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI), poliinsaturados (AGPI), $\omega 6$ e $\omega 3$ e as proporções AGPI/AGS (P/S), AGS/AGPI (S/P) e $\omega 6/\omega 3$ foram calculados com base na soma dos ácidos graxos de cada categoria. Os índices aterogênicos e trombogênicos serão calculados de acordo com Ulbricht e Southgate (1991).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 8 indicam que a substituição gradual do óleo de soja (OS) pela gordura de larva de *Black Soldier Fly* (GBSF) não afetou ($P > 0,05$) a qualidade da carne de peito de frangos aos 38 dias de idade, avaliada por meio da cor, pH, perda por cozimento e força de cisalhamento.

Tabela 8 – Parâmetros físico-químicos relacionados à qualidade de carne de peito de frangos em função dos níveis de substituição e sexo (38 dias).

Variáveis	Sexo	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)					Média	CV ¹ (%)	P-valor*			SEM
		0	25	50	75	100			Níveis	Sexo	N*S	
L*	Macho	56,53	55,44	58,00	59,96	58,68	57,72	4,03	0,058	0,905	0,173	0,3540
	Fêmea	56,07	58,74	58,17	58,85	57,17	57,80					
	Média	56,30	57,09	58,08	59,40	57,92						
a*	Macho	7,18	7,11	8,23	7,55	7,72	7,56	14,24	0,193	0,258	0,635	0,1578
	Fêmea	7,68	8,05	8,75	7,94	7,16	7,92					
	Média	7,43	7,58	8,49	7,74	7,44						
b*	Macho	13,79	14,22	15,04	14,89	14,38	14,47	12,04	0,145	0,275	0,442	0,2593
	Fêmea	13,52	16,47	16,07	14,49	14,55	15,02					
	Média	13,66	15,35	15,56	14,69	14,47						
C*	Macho	15,56	15,91	17,16	16,71	16,34	16,34	11,65	0,145	0,233	0,501	0,2832
	Fêmea	15,56	18,36	18,31	16,55	16,23	17,00					
	Média	15,56	17,14	17,73	16,63	16,28						
h°	Macho	62,34	63,49	61,37	63,28	61,76	62,45	4,21	0,238	0,686	0,380	0,3754
	Fêmea	60,50	63,94	61,30	61,17	63,82	62,14					
	Média	61,14	63,72	61,33	62,22	62,79						
pH final	Macho	5,91	5,90	5,92	5,87	5,88	5,90	1,11	0,567	0,359	0,617	0,0090
	Fêmea	5,92	5,88	5,84	5,87	5,87	5,88					
	Média	5,91	5,89	5,88	5,87	5,88						
PPC (%)	Macho	25,32	23,36	27,00	27,62	25,67	25,80	14,66	0,443	0,385	0,907	0,5065
	Fêmea	24,29	24,24	26,05	25,20	24,58	24,87					
	Média	24,81	23,80	26,53	26,41	25,13						
FC (kgf)	Macho	1,53	1,56	1,32	1,54	1,53	1,50	19,11	0,374	0,327	0,971	0,0381
	Fêmea	1,45	1,53	1,30	1,47	1,34	1,42					
	Média	1,49	1,54	1,31	1,50	1,43						

¹ coeficiente de variação; L* - luminosidade; a* - índice vermelho; b* - índice amarelo; C* - índice de saturação; h° - ângulo de tonalidade; PPC- perda de peso por cozimento; FC- força de cisalhamento.

Esses resultados corroboram parcialmente com os relatados por Cullere et al. (2019) e Schiavone et al. (2017), que também não observaram diferenças na qualidade física da carne, incluindo cor e perda por gotejamento, em frangos alimentados com diferentes níveis de substituição do OS pela GBSF. No entanto, diferem dos resultados de Kierończyk et al. (2023), que observaram um efeito quadrático da inclusão de GBSF com aumento da luminosidade (L^*) para inclusões de até 60 g/kg e redução para 90 g/kg, redução do índice de vermelhidão (a^*) apenas no maior nível de inclusão (90 g/kg) e aumento do índice de amarelo (b^*) em todos os níveis de inclusão, além de diminuir a perda por gotejamento. Esses resultados segundo os autores, significativamente maiores dos tratamentos com a inclusão da gordura de BSF em relação ao tratamento controle pode ser resultado da deposição de gordura no músculo.

A ausência de efeito sobre o pH da carne de peito, observada neste estudo, também foi reportada por Kim et al. (2020) ao avaliarem a carne da perna de frangos alimentados com diferentes níveis de inclusão de óleo de larva BSF.

Em suma, os resultados deste estudo corroboram parcialmente à literatura existente, sugerindo que a substituição do óleo de soja pela GBSF pode não afetar significativamente a qualidade da carne de peito de frangos. No entanto, as divergências encontradas em relação à cor e à força de cisalhamento em alguns estudos indicam a necessidade de aprofundar as pesquisas sobre os efeitos da inclusão da GBSF na dieta sobre esses parâmetros.

A Tabela 9 apresenta os resultados da composição centesimal da carne de peito de frangos alimentados com diferentes níveis de substituição do óleo de soja (OS) pela gordura de larva de *Black Soldier Fly* (GBSF). Os resultados indicam que a substituição gradual do OS pela GBSF não afetou ($P > 0,05$) os teores de proteína bruta, umidade e matéria mineral na carne de peito, independentemente do sexo das aves. No entanto, houve efeito do sexo ($P < 0,05$) para os teores de gordura e colágeno, com os machos apresentando maiores valores que as fêmeas. Adicionalmente, observou-se interação ($P < 0,05$) entre os níveis de substituição e o sexo das aves para o teor de colágeno, sendo este maior para os machos alimentados com a dieta contendo 50% de GBSF.

A ausência de efeito da substituição do OS pela GBSF nos teores de proteína bruta, umidade e matéria mineral corrobora os achados de Cullere et al. (2019), que também não observaram diferenças na composição proximal da carne de peito de frangos alimentados com diferentes níveis de GBSF. Da mesma forma, Schiavone et al. (2017) não encontraram

diferenças significativas no teor de proteína bruta e extrato etéreo (que inclui lipídios) na carne de peito de frangos alimentados com GBSF em substituição ao óleo de soja.

No entanto, o presente estudo difere dos resultados de Aprianto et al. (2023), que observaram um aumento no teor de proteína e uma redução no teor de gordura da carne de peito com a suplementação de BSFLO-SCa (sal de cálcio do óleo de larva de BSF) em níveis de 2% e 3%. Segundo os autores, ao avaliarem genes de expressão do metabolismo lipídico no fígado, houve uma regulação negativa ($P < 0,05$) da expressão de genes da síntese lipídica ácido graxo sintase (FAS), acetil-CoA carboxilase (ACC) e, regulação positiva na expressão do gene da β -oxidação carnitina palmitoil transferase (CPT-1), devido principalmente aos ácidos graxos de cadeia média. Essa divergência pode ser atribuída à forma de apresentação do ingrediente (óleo vs. sal de cálcio) e à presença do cálcio, que pode ter influenciado o metabolismo lipídico e proteico das aves.

O maior teor de gordura na carne de peito dos machos em relação às fêmeas é um resultado esperado e consistente com a literatura (CYGAN-SZCZEGIELNIAK; BOGUCKA, 2021; KIERONCZYK et al., 2023; MARÇAL et al., 2024), sendo atribuído às diferenças hormonais e metabólicas entre os sexos. A interação entre os níveis de substituição do OS pela GBSF e o sexo das aves para o teor de colágeno sugere que a resposta dos machos à inclusão da GBSF na dieta pode ser diferente da resposta das fêmeas. Na presente pesquisa, a suplementação da dieta de frangos de corte com 50% de substituição do OS por GBSF, durante a fase de crescimento (22 a 38 dias), pode ter modulado diferencialmente o metabolismo do colágeno em machos e fêmeas, resultando em maior concentração de colágeno no tecido muscular peitoral dos machos. Esse efeito pode estar associado à modulação hormonal, à ação anti-inflamatória e/ou à alteração na expressão gênica, promovidas pelos ácidos graxos presentes na gordura da BSF.

Em resumo, os resultados deste estudo indicam que a substituição do óleo de soja pela GBSF não afeta a composição centesimal da carne de peito de frangos, exceto pelo teor de colágeno em machos alimentados com 50% de GBSF. No entanto, as diferenças observadas entre os sexos e a interação com os níveis de substituição destacam a importância de considerar o sexo das aves na avaliação dos efeitos da GBSF na qualidade da carne.

Tabela 9 – Composição centesimal relacionados à qualidade de carne de peito de frangos em função dos níveis de substituição e sexo (38 dias).

Variáveis	Sexo	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)					Média	CV ¹ (%)	P-valor*			SEM
		0	25	50	75	100			Níveis	Sexo	N*S	
Colágeno*	Macho	0,72	0,75	0,87 a	0,68	0,64	0,73	18,85	0,240	0,044	0,030	0,0208
	Fêmea	0,56	0,66	0,62 b	0,79	0,64	0,66					
	Média	0,64	0,70	0,75	0,74	0,64						
Proteína (%)	Macho	23,19	23,53	22,53	23,64	23,62	23,30	3,12	0,192	0,068	0,464	0,1083
	Fêmea	23,74	24,01	23,50	23,44	23,75	23,69					
	Média	23,46	23,77	23,02	23,54	23,68						
Gordura (%) *	Macho	2,06	2,15	2,19	1,60	2,00	2,00 a	15,48	0,850	0,002	0,210	0,0823
	Fêmea	1,43	1,23	1,64	1,79	1,36	1,49 b					
	Média	1,74	1,69	1,91	1,69	1,68						
Umidade (%)	Macho	72,26	71,66	72,70	72,25	72,05	72,18	1,02	0,415	0,835	0,591	0,1015
	Fêmea	72,33	72,13	72,27	71,81	72,16	72,14					
	Média	72,29	71,89	72,49	72,03	72,11						
Matéria Mineral (%)	Macho	2,50	2,67	2,58	2,52	2,33	2,52	14,55	0,648	0,138	0,437	0,0533
	Fêmea	2,51	2,63	2,59	2,96	2,73	2,68					
	Média	2,50	2,65	2,59	2,74	2,53						

* teste Tukey ($\alpha = 0.05$); ¹ coeficiente de variação.

A Tabela 10 apresenta o perfil de ácidos graxos (AG) da carne de peito de frangos alimentados com diferentes níveis de substituição do óleo de soja (OS) pela gordura de larvas de *Black Soldier Fly* (GBSF). A substituição crescente do OS pela GBSF influenciou significativamente o perfil de AG da carne de peito, resultando em um aumento linear nos teores de ácido láurico (C12:0), ácido tridecanóico (C13:0) e ácido miristoléico (C14:1), e uma diminuição linear nos teores de ácido linoleico (C18:2n-6 cis) e ácido eicosenoico (C20:1n-9).

O aumento dos ácidos láurico e mirístico, característicos da GBSF (KIERONCZYK et al., 2023; SCHIAVONE et al., 2017), era esperado e reflete a incorporação da gordura da dieta na carne. A redução do ácido linoleico, por outro lado, é um efeito indesejável, pois se trata de um ácido graxo essencial com importantes funções fisiológicas (APRIYANTO et al., 2023). No entanto, como observado por Schiavone et al. (2017), a inclusão de GBSF não alterou a relação ω -6/ ω -3, o que é positivo do ponto de vista nutricional.

O teor de ácido palmítico (C16:0) não foi afetado pela substituição do OS pela GBSF, corroborando os achados de Schiavone et al. (2017). Entretanto, Kim et al. (2020) observaram um aumento desse ácido graxo com a inclusão de óleo de larva de BSF na dieta de frangos de corte. Essa divergência pode ser atribuída a diferenças na composição da GBSF utilizada nos estudos, uma vez que o perfil de ácidos graxos da larva pode variar em função do substrato utilizado na sua criação (ST-HILAIRE et al., 2007; EWALD et al., 2020).

Os resultados também revelaram um efeito quadrático da GBSF sobre o teor de ácido palmitoleico (C16:1n-7), indicando que a resposta não é linear e pode variar conforme o nível de substituição do OS.

A interação entre os níveis de substituição do OS pela GBSF e o sexo das aves foi significativa para o teor de ácido láurico (C12:0), sugerindo que machos e fêmeas respondem de forma diferente à inclusão da GBSF na dieta. Essa diferença pode estar relacionada a variações no metabolismo lipídico entre os sexos, como apontado por Marçal et al. (2024).

Além disso, observou-se um efeito linear decrescente no teor de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) e de ácidos graxos ômega 6 (ω -6) com o aumento da inclusão da GBSF na dieta, corroborando os resultados de outros estudos (CULLERE et al. 2019; SCHIAVONE et al., 2017). A redução dos AGPI é preocupante do ponto de vista nutricional, pois esses ácidos graxos são importantes para a saúde humana.

Em relação ao sexo das aves, os machos apresentaram maiores teores de ácido palmitoleico (C16:1n-7), ácido gama-linolênico (C18:3n-6) e da relação $\Sigma\omega$ -6/ $\Sigma\omega$ -3, e menor

teor de ácido esteárico (C18:0), ácido behênico (C22:0) e da relação $\Sigma\omega-3/\Sigma\omega-6$. Essas diferenças podem estar relacionadas a fatores hormonais e metabólicos, como discutido por Marçal et al. (2024).

Em conclusão, a substituição do óleo de soja pela GBSF em dietas de frangos de corte altera o perfil de ácidos graxos da carne de peito, resultando em um aumento de ácidos graxos saturados de cadeia média (ácido láurico e mirístico) e uma diminuição de ácidos graxos poli-insaturados, especialmente o ácido linoleico. No entanto, a relação $\omega-6/\omega-3$ não foi alterada. Adicionalmente, observou-se uma interação entre os níveis de substituição e o sexo das aves, indicando que a resposta à inclusão da GBSF na dieta pode variar entre machos e fêmeas.

É importante ressaltar que, apesar das alterações no perfil de ácidos graxos, a substituição do OS pela GBSF não afetou negativamente a qualidade da carne em outros parâmetros, como cor, pH, perda por cozimento e força de cisalhamento (Tabela 8), o que sugere que a GBSF pode ser uma alternativa viável ao OS na alimentação de frangos de corte. No entanto, mais estudos são necessários para otimizar o perfil de ácidos graxos da *black soldier fly*, que influenciará diretamente a carne das aves, sendo possível assim garantir a qualidade nutricional do produto final. Recomenda-se que futuros estudos investiguem os mecanismos pelos quais a GBSF afeta a composição da carne, como o metabolismo lipídico e de colágeno, e avaliem os efeitos a longo prazo da inclusão da GBSF na dieta de frangos de corte, incluindo a qualidade da carne após o armazenamento.

Tabela 10 – Composição de ácidos graxos (% total dos AG identificados), com base na matéria natural, determinado no peito de frango aos 38 dias de idade.

(Continua)

	Sexo	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)					Sexo		CV ² (%)	SEM	P-valor*		
		0	25	50	75	100	Macho	Fêmea			Níveis	Sexo	N*S
Ácidos graxos (%)													
C8:0		0,032	0,089	0,047	0,042	0,053	0,049	0,056	181,80	0,01	0,723	0,803	0,116
C10:0		0,217	0,238	0,245	0,234	0,216	0,216	0,244	56,26	0,02	0,982	0,449	0,248
C11:0		0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002	500,00	0,00	0,564	1,000	0,306
C12:0	macho	0,562 c	1,074 c	1,964 b	2,744 b	3,702 aA	-	-	26,69	0,15	0,000	0,014	0,035
	fêmea	0,558 c	1,214 bc	1,654 ab	2,358 a	2,492 aB	-	-					
	Regressão ¹	y= 0,025924x + 0,536 (R ² = 0,9979)											
C13:0		0,021 b	0,041 ab	0,044 ab	0,052 a	0,059 a	0,045	0,042	52,84	0,00	0,009	0,582	0,051
	Regressão ¹	y= 0,000348x + 0,026 (R ² = 0,9172)											
C14:0		2,742	3,348	3,724	3,477	3,993	3,355	3,559	36,95	0,19	0,268	0,575	0,190
C14:1		0,239 b	0,321 ab	0,360 ab	0,356 ab	0,400 a	0,344	0,326	29,27	0,02	0,010	0,530	0,124
	Regressão ¹	y= 0,001428x + 0,2638 (R ² = 0,8668)											
C15:0		0,334	0,371	0,370	0,326	0,346	0,326	0,373	46,37	0,02	0,957	0,305	0,203
C15:1		0,004	0,003	0,002	0,000	0,005	0,003	0,003	371,15	0,00	0,848	1,000	0,306
C16:0		25,207	26,648	26,927	26,304	26,639	26,195	26,495	6,18	0,25	0,167	0,518	0,096
C16:1n-7		2,830 b	3,518 ab	3,674 ab	3,854 a	3,749 ab	3,784 a	3,266 b	21,85	0,12	0,039	0,022	0,676
	Regressão ¹	y= -0,0001785x ² + 0,02655x + 2,876 (R ² = 0,9589)											
C17:0		0,332	0,323	0,333	0,295	0,318	0,305	0,336	32,60	0,01	0,927	0,303	0,266
C18:0		11,281	10,567	10,692	10,221	10,763	10,1252 b	11,2844 a	17,04	0,26	0,778	0,030	0,495
C18:1n-9 cis		30,515	30,873	30,424	31,365	30,126	30,650	30,671	7,62	0,33	0,798	0,975	0,171

Tabela 10 – Composição de ácidos graxos (% total dos AG identificados), com base na matéria natural, determinado no peito de frango aos 38 dias de idade.

(Continuação)

	Sexo	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)					Sexo		CV² (%)	SEM	P-valor*		
		0	25	50	75	100	Macho	Fêmea			Níveis	Sexo	N*S
Ácidos graxos (%)													
C18:1n-9 trans		0,607	0,402	0,423	0,464	0,531	0,425	0,546	104,00	0,07	0,892	0,401	0,521
C18:2n-6 cis		18,021 a	15,890 ab	15,016 ab	14,855 ab	13,523 b	16,194	14,728	18,30	0,46	0,016	0,074	0,203
	Regressão ¹	y= -0,040124x + 17,4672 (R²= 0,9099)											
C18:3n-3		0,291	0,294	0,271	0,283	0,276	0,274	0,292	20,34	0,01	0,886	0,276	0,549
C18:3n-6		0,155	0,153	0,152	0,142	0,117	0,1596 a	0,1280b	33,23	0,01	0,373	0,025	0,158
C20:0		0,153	0,122	0,147	0,142	0,147	0,125	0,159	43,10	0,01	0,822	0,057	0,897
C20:1n-9		1,153 a	0,996 ab	0,899 abc	0,776 bc	0,666 c	0,946	0,850	25,38	0,04	0,000	0,141	0,159
	Regressão ¹	y= -0,004776x + 1,1368 (R²= 0,9946)											
C20:2		0,385	0,313	0,285	0,268	0,276	0,307	0,304	31,51	0,01	0,062	0,919	0,760
C20:3 n-3		0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,008	408,25	0,00	0,736	0,567	0,334
C20:3 n-6		0,584	0,613	0,632	0,593	0,664	0,573	0,662	25,80	0,02	0,804	0,056	0,976
C20:4n-6		3,398	2,713	2,649	2,563	3,005	2,722	3,009	34,15	0,14	0,320	0,306	0,848
C20:5n-3		0,017	0,022	0,022	0,010	0,020	0,016	0,021	136,70	0,00	0,802	0,464	0,063
C21:0		0,244	0,250	0,270	0,249	0,296	0,244	0,279	53,60	0,02	0,917	0,386	0,306
C22:0		0,148	0,179	0,191	0,199	0,225	0,1604 b	0,2164 a	29,34	0,01	0,050	0,001	0,899
C22:1n-9		0,071	0,061	0,053	0,040	0,026	0,047	0,053	107,26	0,01	0,382	0,696	0,710
C22:6n-3		0,335	0,317	0,224	0,225	0,310	0,256	0,308	45,01	0,02	0,154	0,153	0,541
C24:0		0,119	0,192	0,118	0,108	0,150	0,138	0,137	72,76	0,01	0,334	0,989	0,301
ΣAGS		41,393	43,511	44,918	44,201	46,308	43,296	44,836	10,80	0,81	0,233	0,259	0,144
ΣAGMI		35,423	36,173	35,832	36,858	35,500	36,202	35,713	7,93	0,40	0,793	0,548	0,287

Tabela 10 – Composição de ácidos graxos (% total dos AG identificados), com base na matéria natural, determinado no peito de frango aos 38 dias de idade.

(Conclusão)												
	Sexo	Substituição do óleo de soja pela GBSF (%)					Sexo		CV ² (%)	SEM	P-valor*	
		0	25	50	75	100	Macho	Fêmea			Níveis	N*S
Ácidos graxos (%)												
ΣAGPI	Regressão ¹	23,184 a	20,316 ab	19,250 ab	18,939 b	18,192 b	20,502	19,450	15,92	0,51	0,011	0,249 0,223
		y= -0,04544x + 22,2484 (R ² =0,8496)										
ΣAGIT		58,607	56,489	55,082	55,799	53,692	56,704	55,164	8,51	0,71	0,233	0,259 0,144
Σw-3		0,643	0,634	0,518	0,521	0,607	0,548	0,621	26,26	0,02	0,200	0,103 0,564
Σw-6	Regressão ¹	22,157 a	19,369 ab	18,449 ab	18,151 b	17,309 b	19,649	18,525	15,99	0,49	0,011	0,201 0,222
		y= -0,04366x + 21,2698 (R ² =0,8539)										
Relação Σw-6/ Σw-3		35,665	32,216	36,730	36,879	29,186	37,258 a	31,0124 b	22,34	1,16	0,125	0,006 0,901
Relação Σw-3/ Σw-6		0,029	0,032	0,028	0,029	0,036	0,0284 b	0,0332 a	24,08	0,00	0,122	0,028 0,916
Relação ΣAGPI/ ΣAGS	Regressão ¹	0,585 a	0,482 ab	0,437 ab	0,431 b	0,402 b	0,489	0,446	25,23	0,02	0,012	0,207 0,141
		y= -0,001644x + 0,5496 (R ² = 0,8212)										
Δ9-dessaturaseC16		10,153	11,736	11,931	12,785	12,371	12,608 a	10,9824 b	21,56	0,38	0,204	0,029 0,538
Δ9-dessaturaseC18		72,917	74,511	74,021	75,384	73,639	75,146	73,043	6,11	0,64	0,794	0,108 0,336
ElongaseC16-C18		47,770	48,087	47,518	49,092	47,545	48,682	47,323	8,48	0,57	0,905	0,245 0,206
TioesteraseC16-14		90,661	89,145	87,941	88,505	87,279	88,948	88,465	3,63	0,47	0,192	0,600 0,243
ATHERO		0,652	0,751	0,803	0,781	0,877	0,754	0,792	24,92	0,03	0,145	0,485 0,154
THROMBUS		1,307	1,390	1,448	1,390	1,495	1,362	1,450	19,47	0,04	0,619	0,267 0,167

Diferentes letras minúsculas na mesma linha por fator individual (Substituição do óleo de soja pela GBSF e Sexo) indicam diferenças segundo o teste de Tukey com p<0,05; Diferentes letras maiúsculas na mesma coluna por fator combinado (Substituição do óleo de soja pela GBSF e Sexo) indicam diferenças segundo o teste de Tukey com p<0,05; (SFA) Teor total de ácidos graxos saturados; (MUFA) Teor total de ácidos graxos monoinsaturados; (PUFA) Conteúdo total de ácidos graxos poliinsaturados; (%SFA) Porcentagem de ácidos graxos saturados; (%MUFA) Porcentagem de ácidos graxos monoinsaturados; (%PUFA)

Porcentagem de ácidos graxos poliinsaturados; (n-3) Conteúdo total de ácidos graxos ômega 3; (n-6) Conteúdo total de ácidos graxos ômega 6; ($\Delta 9$ -dessaturaseC16) Estimativa da atividade índice de $\Delta 9$ -dessaturaseC16; ($\Delta 9$ -dessaturaseC18) Estimativa do índice de atividade da $\Delta 9$ -dessaturaseC18; (elongaseC16-C18) Estimativa do índice de atividade da elongaseC16-C18; (ATERO) Índice de aterogenicidade; (TROMBO) Índice de trombogenicidade; 1 com $\alpha = 0.05$; 2 coeficiente de variação; (SEM) Erro padrão da média.

4. CONCLUSÕES

A gordura de larvas de Black Soldier Fly (GBSF) apresenta-se como uma alternativa promissora e sustentável ao óleo de soja na alimentação de frangos de corte. A inclusão da GBSF em dietas para frangos de corte não resultou em alterações significativas nas características físico-químicas da carne de peito, o que indica que a GBSF não compromete a qualidade da carne. No entanto, a GBSF influenciou a composição centesimal e o perfil de ácidos graxos da carne, especialmente em relação ao sexo das aves, o que sugere a necessidade de considerar o sexo dos animais na avaliação dos efeitos da GBSF na qualidade da carne.

REFERÊNCIAS

- APRIYANTO, E. et al. Dietary supplementation of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) oil and calcium salt reduces abdominal fat and meat fat content in broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, v. 296, p. 116179, 2023.
- BARRAGAN-FONSECA, K. B. et al. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed - a review. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 3, n. 2, p. 105–120, 2017.
- COBB VANTRESS. **Broiler Management Guide**. 112 p, 2018.
- COBB VANTRESS. **Cobb 500 Performance & Nutrition Supplement**. 16 p, 2022.
- CULLERE, M. et al. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae fat as alternative fat source in broiler diets: Effect on chicken meat quality and sensory traits. **Poultry Science**, v. 98, n. 3, p. 1044-1052, 2019.
- CULLERE, M. et al. Meat quality and sensory traits of finisher broiler chickens fed with black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae fat as alternative fat source. **Animals**, v. 9, n. 3, 2019.
- CYGAN-SZCZEGIELNIAK, D.; BOGUCKA, J. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of organically reared broiler chickens depending on sex. **Animals**, v. 11, n. 11, p. 3274, 2021.
- EWALD, C. et al. Fatty acid profile of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) - Possibilities and limitations for modification through diet. **Waste Management**, v. 105, p. 40-49, 2020.
- FOLCH, J. et al. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v.226, p.497-509, 1957. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13428781/>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation to fatty acids methyl esters. **Laboratory practice**, v.22, p.475-476, 1973. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021925818648495>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- KIERONCZYK, B. et al. Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae fat inclusion in broiler chickens diet on breast meat quality. **Animals**, v. 13, n. 4, p. 629, 2023.
- KIM, J. H. et al. Effects of dietary black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, fatty acid profile, and meat quality of broiler chickens. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 344-352, 2020.

MAIA, E. L., RODRIGUES-AMAYA, D. B. Avaliação de um método simples e econômico para a metilação de ácidos graxos com lipídeos de diversas espécies de peixes. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, 53 (1-2), 27-35. <http://doi.org/10.53393/rial.1993.53.35982>.

MARCAL, J. O. et al. Sexual maturity, slaughter age, and sex on meat fatty acid composition of chickens raised in a free-range system. **JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS**, v. 131, 2024.

MARCHEWKA, J. et al. Linking key husbandry factors to the intrinsic quality of broiler meat. **Poultry Science**, v. 102, n. 2, p. 102384, 2023.

PETRACCI, M. et al. Broiler chicken meat quality: A review. **Worlds Poultry Science Journal**, v. 75, n. 3, p. 377-391, 2019.

RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A.M. **Avaliação da Qualidade de Carnes: fundamentos e metodologias**. Ed. UFV. Viçosa, MG., 599 p. 2007.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4.ed. Viçosa: UFV, 2017. 488p.

SCHIAVONE, A. et al. Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fat in broiler diets: Effect on growth performances, feed-choice, blood parameters, carcass characteristics and meat quality. **Poultry Science**, v. 97, n. 3, p. 917-927, 2018.

SCHIAVONE, A. et al. Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: Effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. **Italian Journal of Animal Science**, v. 16, n. 1, p. 93-100, 2017.

SPRANGHERS, T. et al. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 8, p. 2594-2600, 2017.

ST-HILAIRE, S. et al. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, n. 2, p. 309-313, 2007.

TRAN, G. et al. Lauric acid in health and disease: A comprehensive review. **Nutrition & Metabolism**, v. 16, n. 1, p. 33, 2019.

ULBRICHT, T. L., SOUTHGATE, D. A. T. Coronary Heart Disease: Seven Dietary Factors. **Lancet**, 1991,338, 985-992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)