



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
E RECURSOS PESQUEIROS



PPGCARP
Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal e Recursos Pesqueiros

**INCLUSÃO DA FARINHA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO-NEGRA (*Hermetia
illucens*, L. 1758) EM DIETAS PARA POEDEIRAS COMERCIAIS**

LAIANE FERREIRA DE SOUZA

Manaus - Amazonas

2026

LAIANE FERREIRA DE SOUZA

INCLUSÃO DA FARINHA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO-NEGRA (*Hermetia illucens*, L. 1758) EM DIETAS PARA POEDEIRAS COMERCIAIS

Orientador: Prof. Dr. Noedson de Jesus Beltrão Machado

Coorientador: Prof. Dr. João Paulo Ferreira Rufino

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros da Universidade Federal do Amazonas como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, área de concentração Produção Animal.

Manaus - Amazonas

2026

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- S729i Souza , Laiane Ferreira de
 Inclusão da farinha de larvas da mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*,
 L. 1758) em dietas para poedeiras comerciais / Laiane Ferreira de Souza . -
 2026.
 76 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Noedson de Jesus Beltrão Machado .
 Coorientador(a): João Paulo Ferreira Rufino .
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa
 de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, Manaus,
 2026.
1. Nutrição de poedeiras . 2. Eficiência produtiva . 3. Farinha de insetos.
 4. Microbiota intestinal. 5. Qualidade de ovos. I. Machado, Noedson de
 Jesus Beltrão. II. Rufino, João Paulo Ferreira. III. Universidade Federal do
 Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos
 Pesqueiros. IV. Título
-

LAIANE FERREIRA DE SOUZA

INCLUSÃO DA FARINHA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO-NEGRA (*Hermetia illucens*, L. 1758) EM DIETAS PARA POEDEIRAS COMERCIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Aprovada em: 14/05/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Noedson de Jesus Beltrão Machado

Presidente

Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Leonardo Willian de Freitas

Membro Titular

Universidade Federal do Mato Grosso

Prof. Dr. Marcos Fabio de Lima

Miranda

Membro Titular

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda Sua benevolência, misericórdia e proteção, e pela honra de iniciar e concluir esta missão, como resposta a inúmeras orações. Sou grata a Ti por seres minha base e meu sustento, e por Teu amor imensurável por mim, revelado em todos os detalhes da minha vida.

À minha família, base de tudo. Em especial, à minha irmã Rayane Ferreira, que, além de irmã por laços de sangue, é amiga por escolha e parceira de vida por amor. Obrigada por estar presente nos momentos mais difíceis e também nos mais felizes, por toda ajuda ao longo deste processo, por ser minha parceira de pesquisa e por apoiar, com tanto cuidado, aquilo que é importante para mim. À minha avó Inês Maria, pelo amor incondicional, pelas orações constantes e por acreditar em mim em todas as etapas da minha vida. À minha mãe, Lucélia Ferreira, por todo amor, ensinamentos e incentivo. Agradeço também aos meus tios Jaqueline Ferreira, Jeberson Ferreira e Matheus Rodrigues, pelo auxílio em etapas do experimento; às minhas tias Josiane Ferreira e Alessandra Passos, pela inspiração de força e dedicação; e a todos os demais tios e primos, pelo carinho, apoio e presença.

Aos meus amigos, que estiveram presentes em cada análise, em cada conversa, em cada ideia compartilhada e em tantos momentos de afeto e alegria, muitas vezes sendo suporte em fases silenciosas. Em especial, Pauline Ferreira, Bruna Guia e Bárbara Araújo. Aos amigos da granja: Letícia, Lorena, Emilly, Wilson, Raul, Matheus, Letícia Guimarães, Tainá, Cláudio, Beatriz Kimberly, Gabriela, Karen, Gustavo e Albert.

Aos que contribuíram em momentos específicos deste trabalho: Maria Fernanda, Rayana Melo, Cristiane Guimarães, Iracimar Batista, Maikon Willian, Emilly Petillo, Kaísa Freitas, Thiago de Souza, Adriene Núzia, Alice Parente, Andressa Lira, Pedro Carneiro, Ketlen Caroline, Kamila Raíssa e Paula Ribeiro. Aos voluntários da Exopets, especialmente Ester Jane, Joyce Melo, Rauan, Vivian Oliveira, Ellen Vinhote e Andria Anjos, pelo apoio e colaboração.

Ao meu namorado, Bruno Uchôa, pelo carinho, compreensão e apoio nos momentos desafiadores, bem como por compartilhar comigo tantas alegrias ao longo dessa trajetória.

Aos meus orientadores, Noedson de Jesus Beltrão e João Paulo Ferreira Rufino, pela orientação, contribuição intelectual, apoio nas análises, paciência e pela oportunidade de aprendizado ao longo deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros (PPGCARP/UFAM), pela oportunidade de crescimento profissional e acadêmico, e por todo o suporte oferecido. À CAPES (processo nº 88887.963151/2024-00), pela concessão da bolsa por meio do Programa de Demanda Social, fundamental para a realização deste estudo.

Aos professores que contribuíram para minha formação, em especial às professoras Lígia Uribe e Driely Monteiro, pela disponibilização do material experimental e pela oportunidade de ampliação deste estudo para aves; às professoras Joana Mendes e Ângela Comapa, pelo auxílio, confiança e orientação em etapas do trabalho; e às professoras Gabriela Jerônimo e Kaliane Oliveira, pelas palavras de incentivo. Agradeço também aos técnicos Francisco Chaves, Philip Dalberth e Rodolfo Pessoa, pelo apoio e disponibilidade ao longo das diferentes etapas.

Aos laboratórios e setores parceiros: Setor de Avicultura, Laboratório de Fisiologia Animal, Laboratório de Tecnologia do Pescado, Laboratório de Tecnologia e Processamento Agroindustrial, Laboratório de Análises Biológicas, Laboratório de Análises Sensoriais, Instituto de Zootecnia, Imunova e CBA Alimentos.

Aos membros da banca avaliadora, pelas contribuições e sugestões que enriqueceram este trabalho.

Ao longo de toda essa trajetória, reconheço o cuidado de Deus em cada detalhe e o apoio das pessoas que caminharam ao meu lado. Este processo foi transformador em múltiplos aspectos, pessoal, profissional e emocional e me permitiu amadurecer minha forma de enxergar a vida, a profissão e o futuro. Por tudo isso, minha sincera gratidão.

“Porque em verdade vos digo que, se tiverdes fé como um grão de mostarda, direis a este monte: Passa daqui para acolá, ele há de passar; e nada vos será impossível”.

(Mateus 17:20)

RESUMO

Objetivou-se avaliar o valor nutricional da farinha de larvas de mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) e seus efeitos sobre o desempenho produtivo, perfil sanguíneo, qualidade dos ovos e microbiota intestinal de poedeiras comerciais em segundo ciclo de postura. Foram utilizadas 120 aves Hisex Brown (65 semanas de idade), distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, com cinco níveis de inclusão da farinha (0, 1, 2, 3 e 4%) durante 63 dias. A farinha apresentou elevado valor energético, com EMAn de 4.029,53 kcal/kg. A inclusão do ingrediente promoveu melhoria na conversão alimentar, associada ao aumento na espessura da casca (até 85,89 μm), sem prejuízos à qualidade interna dos ovos ou à estabilidade oxidativa da gema. As características sensoriais mantiveram-se dentro dos padrões de aceitabilidade. No perfil sanguíneo, observou-se aumento na contagem de eritrócitos e hemoglobina, além de alterações nos parâmetros bioquímicos, indicando intensificação da atividade metabólica. A microbiota cecal foi significativamente modulada, com aumento da diversidade bacteriana, redução da razão Firmicutes/Bacteroidota e maior abundância de gêneros potencialmente benéficos, como *Lactobacillus*. Conclui-se que a farinha de *Hermetia illucens* apresenta elevado potencial como ingrediente funcional na alimentação de poedeiras em segundo ciclo, sendo recomendada sua inclusão em até 4%, por contribuir para a eficiência produtiva, qualidade dos ovos e modulação da microbiota intestinal.

Palavras-chave: Eficiência produtiva, Farinha de insetos, Microbiota intestinal, Nutrição de poedeiras, Qualidade de ovos.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the nutritional value of black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) and its effects on productive performance, blood profile, egg quality, and intestinal microbiota of commercial laying hens in the second production cycle. A total of 120 Hisex Brown hens (65 weeks old) were distributed in a completely randomized design with five inclusion levels of the meal (0, 1, 2, 3, and 4%) over a 63-day period. The ingredient exhibited high energetic value, with an apparent metabolizable energy corrected for nitrogen balance (AMEn) of 4,029.53 kcal/kg. Dietary inclusion improved feed conversion ratio and increased eggshell thickness (up to 85.89 μm), without compromising internal egg quality or yolk oxidative stability. Sensory attributes remained within acceptable standards. Blood analysis revealed increased erythrocyte count and hemoglobin levels, along with changes in biochemical parameters, suggesting enhanced metabolic activity. Cecal microbiota analysis demonstrated significant modulation, characterized by increased bacterial diversity, reduced Firmicutes/Bacteroidota ratio, and enrichment of potentially beneficial genera such as *Lactobacillus*. In conclusion, *Hermetia illucens* larvae meal shows high potential as a functional feed ingredient for laying hens in the second production cycle. Its inclusion up to 4% is recommended, as it contributes to improved production efficiency, egg quality, and modulation of the intestinal microbiota.

Keywords: Egg quality, Intestinal microbiota, Insect meal, Laying hen nutrition, Productive efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção das larvas.....	25
Figura 2. Procedimentos do ensaio de digestibilidade da farinha.....	27
Figura 3. Disposição interna das gaiolas e organização das unidades experimentais no galpão.....	30
Figura 4. Formulário disponibilizado aos provadores.....	34
Figura 5. Trato intestinal de aves, com detalhe para junção íleo-cecal.....	36
Figura 6. Concentração de peróxidos totais (Equiv. H ₂ O ₂ ; nmol L ⁻¹) em gemas de ovos de poedeiras alimentadas com diferentes níveis de inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra.....	43
Figura 7. Concentração de malonaldeído (MDA) nas gemas de ovos de poedeiras alimentadas com diferentes níveis de inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra.....	43
Figura 8. Índices de alfa-diversidade da microbiota intestinal de galinhas submetidas a diferentes níveis de inclusão de farinha de larva de mosca-soldado-negra (<i>Hermetia illucens</i>).....	48
Figura 9. Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da microbiota cecal de poedeiras alimentadas com níveis crescentes de farinha de larvas de mosca-soldado-negra.....	49
Figura 10. Abundância relativa dos principais filos bacterianos na microbiota intestinal de galinhas alimentadas com níveis crescentes de larva de mosca-soldado-negra.....	50
Figura 11. Abundância relativa dos principais gêneros bacterianos na microbiota intestinal de galinhas alimentadas com níveis crescentes de larva de mosca-soldado-negra.....	51
Figura 12. Razão <i>Bacillota/Bacteroidota</i> (FBR) na microbiota intestinal de galinhas submetidas a diferentes níveis de inclusão de larva de mosca-soldado-negra.....	51
Figura 13. Mapa de calor (<i>Heatmap</i>) da abundância relativa dos gêneros bacterianos em função dos tratamentos.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição das dietas experimentais.....	30
Tabela 2. Composição química, valores energéticos e coeficientes de aproveitamento da farinha de larvas de mosca-soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>)	38
Tabela 3. Teor de ácidos graxos identificados de farinha de larvas de mosca-soldado-negra.....	39
Tabela 4. Desempenho produtivo de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.....	40
Tabela 5. Qualidade física dos ovos produzidos por poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado.....	41
Tabela 6. Composição química de ovos produzidos por poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.....	42
Tabela 7. Composição sensorial de ovos produzidos por poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.....	44
Tabela 8. Parâmetros hematológicos de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.....	45
Tabela 9. Contagem diferencial de leucócitos (série branca) de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.....	46
Tabela 10. Parâmetros bioquímicos plasmáticos de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Panorama da Avicultura de Postura e Seus Desafios Nutricionais.....	15
3.2 Ingredientes alternativos na nutrição de aves.....	16
3.3 Insetos como Alimento Alternativo para Aves.....	18
3.4 Atributos Funcionais da <i>Hermetia illucens</i> e seus Impactos na Fisiologia e Desempenho de Aves.....	19
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Local do experimento.....	22
4.2 Obtenção e Caracterização do ingrediente.....	22
4.2.1 Produção e Processamento das larvas.....	22
4.3 Caracterização Bromatológica da Farinha de MSN.....	23
4.3.1 Perfil de Ácidos Graxos da Farinha.....	24
4.4 Determinação da Energia Metabolizável do Ingrediente (EMA e EMAn).....	24
4.4.1 Coleta de Dados e Manejo de Excretas.....	24
4.4.2 Análises Laboratoriais e Cálculos.....	25
4.5 Instalações e Ambiência.....	27
4.6 Aves e Delineamento Experimental.....	27
4.7 Manejo Alimentar e Coleta de Dados.....	29
4.8 Desempenho e Qualidade Física e Interna dos Ovos.....	29
4.9 Qualidade Bromatológica dos Ovos.....	30
4.10 Estabilidade Oxidativa da Gema.....	30
4.10.1 Quantificação de Peróxidos Totais.....	31
4.10.2 Quantificação de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS).....	31
4.11 Qualidade Sensorial dos Ovos.....	31
4.12 Perfil Sanguíneo.....	32
4.13 Microbioma Cecal.....	33
4.14 Análise estatística.....	35
5 RESULTADOS.....	36
5.1 Composição e Perfil de Ácidos Graxos da Farinha de LMSN.....	36
5.2. Desempenho Produtivo.....	38
5.3 Qualidade Física e Química dos ovos.....	39
5.4 Estabilidade Oxidativa.....	41
5.5 Análise Sensorial.....	42
5.6 Parâmetros Hematológicos e Bioquímicos.....	43

5.6.1 Série Vermelha.....	43
5.6.2 Série Branca.....	44
5.6.3 Perfil Bioquímico.....	45
5.7 Microbioma Cecal.....	46
5.7.1 Diversidade e Estrutura do Microbioma.....	46
5.7.1 Perfil Taxonômico e Abundância Relativa.....	48
6 DISCUSSÃO.....	51
6.1 Composição e Perfil de Ácidos Graxos da Farinha de LMSN.....	51
6.2 Desempenho Produtivo.....	52
6.3 Qualidade Física e Química dos ovos.....	53
6.4 Estabilidade Oxidativa.....	55
6.5 Análise Sensorial.....	57
6.6 Parâmetros Hematológicos e Bioquímicos.....	58
6.6.1 Série Vermelha.....	58
6.6.2 Série Branca.....	59
6.6.3 Perfil Bioquímico.....	60
6.7 Microbioma Cecal.....	61
6.7.1 Diversidade e Riqueza da Microbiota Cecal.....	61
6.7.2 Perfil Taxonômico e Abundância Relativa.....	63
7 CONCLUSÃO.....	65
8 REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

No cenário global, enfrentamos um contexto problemático. Segundo estipulações da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2013), a população mundial deve ultrapassar 9 bilhões de pessoas até 2050, o que elevará a demanda por alimentos em cerca de 70%. Atualmente, a expansão dessa produção já enfrenta desafios críticos: escassez de recursos naturais, perda de biodiversidade, geração excessiva de resíduos e alta emissão de gases de efeito estufa. Nesse contexto, o setor de proteína animal, com destaque para a produção de ovos, precisa encontrar formas de suprir o consumo crescente de maneira sustentável (SMITH et al., 2013).

Para atender à expansão da avicultura, a demanda por insumos para rações também dispara. Hoje, a base nutricional desses animais depende principalmente de soja e milho, monoculturas que enfrentam seus próprios riscos de insustentabilidade (MAKKAR et al., 2014). Diante disso, a busca por ingredientes alternativos tornou-se imediata.

No contexto do Amazonas, a problemática é acentuada por fatores logísticos. A dependência do transporte fluvial deixa o estado à mercê da oscilação de preços, altas taxas de frete e da perecibilidade dos produtos durante as longas viagens. Como a alimentação representa cerca de 70% dos custos totais da produção avícola, o produtor local fica vulnerável à instabilidade do estoque regional (CRUZ et al., 2016; MOURA, 2018). Logo, encontrar alternativas sustentáveis e nativas é essencial para baratear a produção e reduzir a pressão sobre as cadeias do milho e da soja.

Essa busca por novos ingredientes é estratégica, pois o ovo consolidou-se como um alimento essencial: é nutricionalmente completo, rico em proteínas, lipídeos, vitaminas e minerais e possui baixo custo de aquisição (PAL; MOLNÁR, 2021). Segundo o último relatório da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), o consumo *per capita* atingiu 269 unidades em 2024, reafirmando o ovo como um importante indicador socioeconômico. Para manter essa proteína acessível e independente de logísticas complexas, o uso de insetos surge como uma alternativa promissora.

A utilização de insetos na alimentação animal já é regulamentada pela Instrução Normativa nº 110/2020 do MAPA, que autoriza espécies como a barata cinéria, o tenébrio e a mosca soldado-negra. Entre elas, destaca-se a mosca soldado-negra (MSN), foco deste estudo. A MSN é reconhecida por seu excelente perfil nutricional, com teores de proteína variando entre 35% e 60% e lipídeos entre 8% e 66%, além de possuir propriedades funcionais como antioxidantes, antimicrobianos e imunomoduladores naturais.

Embora o potencial da farinha de larvas de mosca-soldado-negra seja reconhecido, persiste uma significativa lacuna científica no que tange à padronização de sua inclusão em dietas formuladas para regiões tropicais, bem como à caracterização das respostas biológicas em aves em estágios avançados de produção. Este cenário é particularmente crítico para a avicultura no Amazonas, onde a logística de reposição de lotes frequentemente impulsiona o prolongamento do ciclo produtivo como estratégia de viabilidade econômica. Adicionalmente, as investigações focadas especificamente em aves de postura ainda são escassas, resultando em carências de dados exploratórios que integrem os efeitos desse ingrediente na homeostase fisiológica, desempenho zootécnico e nas propriedades físico-químicas dos ovos sob tais condições. A ausência de estudos exploratórios abrangentes e adaptados a essas particularidades regionais e fisiológicas, fundamenta e impulsiona a execução da presente pesquisa.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o valor nutricional da farinha de larvas de mosca-soldado-negra e seus efeitos sobre o desempenho produtivo, perfil fisiológico e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais em segundo ciclo de postura.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a energia metabolizável aparente (EMA e EMAn) da farinha de MSN em dietas para poedeiras comerciais;
- Investigar a modulação do perfil hematológico, bioquímico plasmático e da microbiota cecal em resposta à inclusão da farinha de MSN;
- Verificar a influência de níveis crescentes de inclusão da farinha de MSN sobre os indicadores de desempenho zootécnico e eficiência alimentar.
- Avaliar o impacto da farinha de sobre a qualidade física, composição centesimal e aceitabilidade sensorial dos ovos e estabilidade oxidativa da gema.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama da Avicultura de Postura e Seus Desafios Nutricionais

A avicultura de postura consolida-se como um dos pilares mais relevantes da produção animal global, posicionando o Brasil como o 5º maior produtor mundial de ovos (ABPA, 2025). O setor é estratégico para a segurança alimentar, fornecendo proteína de alto valor biológico com elevada digestibilidade e um perfil equilibrado de aminoácidos, vitaminas e minerais (MOTTET; TEMPIO, 2017). Internamente, essa relevância é confirmada pelo destino da produção: 99,14% para o mercado interno, atendendo a um consumo per capita que atingiu a marca histórica de 269 ovos por habitante (ABPA, 2025).

Em termos de plantel, o país sustenta um rebanho superior a 277,48 milhões de galinhas (IBGE, 2024). A distribuição geográfica revela o domínio da região Sudeste, com 99,3 milhões de cabeças, seguida pelo Sul (68,2 milhões), Nordeste (60,2 milhões) e Centro-Oeste (36,2 milhões) e Norte (13,5 milhões). A região Norte, embora detenha a menor fatia do plantel nacional, apresenta um crescimento expressivo, com o estado do Amazonas destacando-se ao abrigar mais de 3,80 milhões desse total. No ranking de alojamento de pintainhas, Amazonas e Pará ocupam, respectivamente, o 13º e 14º lugares nacionais (ABPA, 2024).

O reflexo produtivo e econômico dessa estrutura é evidente. Em 2024, a produção nacional ultrapassou 64,9 bilhões de ovos, gerando um valor de produção superior a R\$ 31,26 bilhões. No contexto regional, o Norte contribuiu com 2,6 bilhões de unidades e uma movimentação econômica de R\$ 1,55 bilhão (IBGE, 2024), evidenciando que a atividade, além de suprir a demanda proteica local, é um motor de desenvolvimento social e geração de renda.

Entretanto, a manutenção dessa competitividade na região Norte enfrenta gargalos logísticos e climáticos severos. A dependência de insumos convencionais, como milho e farelo de soja, oriundos majoritariamente do Centro-Oeste e Sul, encarece drasticamente a formulação de rações devido ao custo do frete (CRUZ et al., 2016; MOURA, 2018). Somado a isso, o clima quente e úmido da região impõe desafios ao conforto térmico, podendo comprometer o desempenho produtivo e a qualidade final dos ovos (BORELI, 2024).

Esses desafios são acentuados por fatores fisiológicos inerentes à fase, idade e modelo de criação das aves. Com o avanço da idade, ocorre um declínio natural na eficiência digestiva e na absorção de nutrientes, além de instabilidades no metabolismo mineral que prejudicam a qualidade da casca (RAMOS et al., 2008; ALVES, 2024).

Dado que a nutrição representa entre 66% e 70% dos custos totais de produção (ABPA, 2025), ela torna-se o principal determinante da viabilidade do setor. Nesse cenário, o desenvolvimento de dietas que unam precisão nutricional, modulação da resposta imune e viabilidade econômica é obrigatório, impulsionando a busca por ingredientes alternativos que minimizem a dependência logística e otimizem a conversão alimentar em condições tropicais.

3.2 Ingredientes alternativos na nutrição de aves

Atualmente, o setor de nutrição animal enfrenta desafios multidimensionais que envolvem a sustentabilidade ambiental, a escassez de recursos naturais e a necessidade urgente de implementar modelos de economia circular. Estima-se que a demanda global por produtos de origem animal crescerá cerca de 70% nos próximos anos, elevando proporcionalmente a exigência por insumos nutricionais (FAO, 2013). Historicamente, o milho, o farelo de soja e a farinha de peixe sustentam as formulações industriais; contudo, a característica de *commodities* desses ingredientes os torna vulneráveis à volatilidade de preços e às oscilações dos estoques internacionais. Essa dependência econômica tem impulsionado a investigação científica de ingredientes alternativos que possam conferir maior resiliência às cadeias produtivas regionais (SMETANA et al., 2019).

A validação de um ingrediente como alternativa viável em dietas avícolas depende do cumprimento de pilares fundamentais que assegurem a sustentabilidade biológica e econômica da atividade. Primeiramente, o insumo deve apresentar composição química e valor biológico equivalentes ou superiores aos alimentos convencionais, sendo necessária a ausência de fatores antinutricionais que comprometam a homeostase sanitária e metabólica do animal (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016; WOYENGO et al., 2017). Do ponto de vista zootécnico, espera-se que o desempenho produtivo seja preservado ou melhorado, admitindo-se resultados semelhantes desde que ocorra uma melhora qualitativa no produto final, como o enriquecimento nutricional da carne ou dos ovos, agregando valor de mercado à produção (FEIJÓ et al., 2016; BRUNETTI et al., 2022).

Estrategicamente, a viabilidade de um ingrediente alternativo está atrelada à constância da oferta e à eficiência logística. É essencial que o volume de produção anual diminua os riscos de sazonalidade, fator mais preocupante em cadeias extrativistas, garantindo que o recurso permaneça acessível ao produtor durante todo o ciclo produtivo (CRUZ et al., 2016; SILVA et al., 2023). Sob a ótica econômica, o custo de aquisição e processamento deve ser obrigatoriamente inferior ou igual ao do ingrediente convencional, uma vez que a substituição perde o sentido prático se resultar em elevação do custo final da

ração (RUFINO et al., 2015; BATALHA et al., 2019). O atendimento a essas premissas permite que soluções locais fortaleçam a sustentabilidade da avicultura regional (RUFINO et al., 2017; BRELAZ et al., 2021).

Nesse cenário, os esforços para padronizar alimentos alternativos para monogástricos têm sido intensos, com uma distribuição geográfica de pesquisa notadamente concentrada na região Norte (53,6%), seguida pelas regiões Sul (21,4%), Nordeste (17,9%) e Centro-Oeste (7,1%) (DE ALMEIDA SANTOS et al., 2025). A proeminência da região Norte nesse campo científico justifica-se por três fatores determinantes: os gargalos logísticos que encarecem o transporte de insumos tradicionais, a dificuldade de produção de grãos em escala competitiva na região e a vasta biodiversidade de frutos e subprodutos agroindustriais com potencial nutritivo (CRUZ et al., 2016; DE SOUZA et al., 2024; DE ALMEIDA SANTOS et al., 2025).

Na Amazônia, as investigações abrangem fontes vegetais como a mandioca (*Manihot esculenta*) e seus subprodutos, o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), o açaí (*Euterpe oleracea*) e o buriti (*Mauritia flexuosa*) (SOUZA et al., 2024). Quanto aos ingredientes de origem animal, destacam-se os resíduos do pescado nativo, principalmente tambaqui e pirarucu, utilizados na forma de óleos, farinhas e silagens biológicas (BRELAZ et al., 2021; DE SOUZA et al., 2025). Tais alternativas favorecem a economia circular, modelo de produção que prioriza a reutilização e reciclagem de materiais para reduzir a dependência de monoculturas e diversificar a matriz de matérias-primas (SANCHES; KIEFER, 2023; PARLAMENTO EUROPEU, 2023).

Alinhada a essa preocupação global com a sustentabilidade, a FAO (2013) enfatizou o potencial dos insetos comestíveis para mitigar a insegurança alimentar. Diante da aversão cultural ocidental ao consumo direto, a pesquisa científica direcionou esforços para a "entomofagia indireta", utilizando insetos como base proteica para animais de produção. No Brasil, um marco decisivo foi a Instrução Normativa nº 110/2020, que autorizou o uso de espécies como a mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*), tenébrios (*Tenebrio molitor* e *Zophobas morio*) e grilos (*Gryllus assimilis*) em rações animais. Contudo, a consolidação desses ingredientes exige avaliações rigorosas de digestibilidade e efeitos fisiológicos, consolidando o crescente interesse científico pelos insetos como fontes de proteína e energia na nutrição avícola atual.

3.3 Insetos como Alimento Alternativo para Aves

Os insetos pertencem ao Filo Arthropoda e representam mais de 80% das espécies animais conhecidas. Na fase adulta, possuem o corpo segmentado em cabeça, tórax e abdome, além de apresentarem um par de antenas, três pares de pernas e, em muitas espécies, a presença de asas. A classe Insecta constitui 70% desse grupo, sendo que as ordens mais exploradas na alimentação animal são Orthoptera, Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera e Coleoptera. Esses organismos compartilham adaptações biológicas estratégicas, como o exoesqueleto quitinoso e o ciclo de metamorfose, que lhes permite ocupar diferentes habitats e converter recursos orgânicos em biomassa durante estágios larvais e adultos (BATISTA FILHO, 2014). Além disso, apresentam ciclo de vida curto e a capacidade de transformar resíduos orgânicos em nutrientes de alto valor biológico, o que viabiliza a produção em larga escala com reduzido impacto ambiental (MAKKAR et al., 2014).

Dentre os produtos derivados de insetos para fins nutricionais, destacam-se as farinhas (nos tipos integral, parcialmente desengordurada e desengordurada), além de gorduras, proteínas isoladas e compostos como a quitina e seus derivados, quitosana e glicosamina. Esse fracionamento ocorre por meio de processos físicos, químicos e bioquímicos. No cenário regulatório atual, embora os coprodutos mencionados já possuam regulamentação e aprovação pela União Europeia, a legislação brasileira ainda caminha para a padronização do uso desses derivados específicos (COSTA et al., 2021).

O panorama nutricional de espécies permitidas em dietas avícolas demonstra o potencial dessa matriz. Fialho et al. (2021), ao analisarem o grilo-preto (*Gryllus assimilis*), encontraram teores de energia bruta de 5.942,6 kcal/kg, 54,13% de proteína bruta, 7,52% de extrato etéreo e 4,91% de matéria mineral (cinzas), com valores de FDN e FDA de 27,78% e 19,30%, respectivamente. Quanto aos minerais, os autores quantificaram níveis de fósforo (8,30 g/kg), potássio (11,6 g/kg), sódio (1,10 g/kg), cálcio (3,88 g/kg) e magnésio (0,82 g/kg), além de microminerais como ferro (96,8 mg/kg), manganês (23,7 mg/kg), zinco (18,3 mg/kg) e cobre (21,7 mg/kg).

Para as larvas de tenébrio comum (*Tenebrio molitor*), os teores de energia bruta reportados são de 7.188,6 kcal/kg, com proteína bruta de 49,02%, extrato etéreo de 33,54% e cinzas de 3,68%. Os níveis de minerais para esta espécie apresentam fósforo (8,56 g/kg), potássio (8,39 g/kg), sódio (1,39 g/kg) e cálcio (0,44 g/kg), com teores de microminerais variando entre 48,2 mg/kg para ferro e 15,0 mg/kg para zinco (Fialho et al., 2021).

A farinha integral de mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*), objeto deste experimento, apresenta características nutricionais distintas. Zozo (2022) e Pornsuwan et al. (2023) encontraram energia bruta de 5.035 kcal/kg, proteína bruta de 45,82% e extrato etéreo de 25,78%. O perfil mineral desta farinha revela teores de 6,85% de cinzas, com presença de fósforo (0,70 g/kg), potássio (254,60 mg/kg), cálcio (20,31 mg/kg) e magnésio (53,56 mg/kg). Entre os microminerais, destacam-se o manganês (20,03 mg/kg) e o ferro (0,249 mg/kg), enquanto o cobre não foi detectado nas amostras analisadas.

Para além do aporte nutricional direto, os insetos possuem propriedades funcionais decorrentes de compostos bioativos, como a quitina e diversos peptídeos antimicrobianos. Essas substâncias auxiliam na modulação da microbiota intestinal e no fortalecimento do sistema imune das aves (GASCO et al., 2020; SIDDIQUI et al., 2023). Ambientalmente, a produção de insetos supera fontes convencionais como a soja e a farinha de peixe por demandar menor área de cultivo, reduzir o consumo hídrico e emitir menos gases de efeito estufa. Ao utilizarem resíduos orgânicos como substrato, esses sistemas promovem a reciclagem de nutrientes e evitam o descarte em aterros sanitários (FAO, 2013). Integrada aos princípios da bioeconomia, a mosca-soldado-negra sobressai como o modelo biológico mais promissor para o escalonamento industrial e aplicação prática na nutrição de poedeiras.

3.4 Atributos Funcionais da *Hermetia illucens* e seus Impactos na Fisiologia e Desempenho de Aves

A mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*) é um inseto da ordem Diptera e família Stratiomyidae, com ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais. Seu ciclo de vida é holometábolo, compreendendo as fases de ovo, larva, pupa e adulto. Do ponto de vista nutricional, a fase larval é a mais relevante, dada a sua elevada capacidade de acumulação de proteínas e lipídios (CARUSO, 2014). Essas larvas apresentam alta eficiência na bioconversão de resíduos orgânicos, desenvolvendo-se em substratos variados, como restos alimentares, resíduos agroindustriais e esterco animal (DIENER et al., 2011). Além das vantagens nutricionais, a espécie oferece benefícios zootécnicos como rápido crescimento e baixo risco sanitário, uma vez que os adultos não se alimentam durante a fase reprodutiva, reduzindo as chances de transmissão de patógenos (CARUSO, 2014).

A farinha de larvas de mosca-soldado-negra (FLMSN) caracteriza-se como uma fonte concentrada de proteína e energia, atuando como um ingrediente funcional que fornece efeitos benéficos adicionais à saúde do hospedeiro (HASLER, 2000; MULLER, 2017). Embora sua composição química possa oscilar conforme o substrato de criação e o

processamento, o perfil aminoacídico é considerado adequado para aves, com níveis relevantes de lisina, metionina e treonina (NOR FATIN et al., 2022). Um diferencial marcante da FLMSN reside no seu perfil lipídico, composto predominantemente por ácidos graxos saturados de cadeia média, com destaque para o ácido láurico (C12:0), que pode representar até 40% do total lipídico (ZOZO, 2022). O ácido láurico possui reconhecida atividade antimicrobiana e antioxidante, sendo capaz de inibir patógenos Gram-positivos e reduzir marcadores de estresse oxidativo na gema, como o malondialdeído (MDA), o que eleva a estabilidade do produto final (LOHO; LO, 2022 ;ROMERO et al., 2024).

Adicionalmente, a presença de quitina no exoesqueleto confere propriedades prebióticas à farinha, estimulando o crescimento de gêneros benéficos, como *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (NDOTONO et al., 2022; MARTÍNEZ et al., 2023). Essa modulação positiva da microbiota intestinal desempenha um papel vital na digestão e na regulação imunológica, resultando em melhor digestibilidade dos nutrientes e menor colonização por microrganismos patogênicos (BELLER et al., 2024). Resultados experimentais reforçam que a FLMSN aumenta a riqueza da microbiota cecal e confere estabilidade ao ecossistema intestinal, quer seja fornecida na forma de farinha ou como larvas vivas (COLOMBINO et al., 2021; FIORILLA et al., 2024).

No campo da imunomodulação, o uso de FLMSN em poedeiras tem revelado aumento nos níveis de globulina sérica, indicando maior atividade do sistema imune humoral estimulada pela quitina e peptídeos antimicrobianos (MARONO et al., 2017; BOVERA et al., 2018). Quanto ao metabolismo lipídico, o ingrediente apresenta potencial efeito hipolipidêmico, com redução nos níveis plasmáticos de colesterol total. Esse fenômeno é atribuído à quitina, que atua como uma fibra funcional ao ligar-se aos ácidos biliares, interferindo na absorção de gorduras (KIPKOECH, 2023). A síntese proteica hepática e o metabolismo nitrogenado também são influenciados, conforme evidenciado por alterações nos níveis de albumina e enzimas hepáticas (LOPES, 2019; NOVODWORSKI et al., 2023).

Essas respostas fisiológicas refletem-se diretamente na otimização do desempenho zootécnico. Evidências com poedeiras Lohmann Brown demonstraram que a substituição parcial do farelo de soja por até 21% de FLMSN promoveu um aumento linear na taxa de postura e redução no consumo de ração, indicando maior eficiência alimentar (KHAN et al., 2024). Resultados semelhantes em aves Hy-Line Brown confirmam que o ingrediente sustenta a persistência de postura mesmo em fases avançadas do ciclo (BOVERA et al., 2018). Tahamtani et al. (2021) reiteram que a inclusão de *H. illucens* permite reduzir o consumo de concentrado sem prejuízos produtivos, otimizando a viabilidade econômica da

dieta.

No que tange à qualidade da casca, parâmetro crítico para a redução de perdas logísticas (MAZZUCO; BERTECHINI, 2014), a FLMSN oferece benefícios decorrentes de sua alta densidade mineral. Diferente de fontes vegetais, o cálcio e o fósforo presentes na biomassa larval possuem alta biodisponibilidade, resultando em maior espessura e resistência mecânica da casca (DABBOU et al., 2021; ZHAO, 2022). Tais efeitos são particularmente valiosos para aves em segundo ciclo de postura, fase em que a eficiência de absorção intestinal naturalmente declina e a mobilização óssea aumenta. Nestes casos, a FLMSN auxilia na manutenção da integridade esquelética e na redução da incidência de ovos quebrados ao otimizar o metabolismo mineral (YAN et al., 2023; DORPER et al., 2024). Esse conjunto de evidências consolida a farinha de larvas de mosca-soldado-negra não apenas como um substituto proteico, mas como um aditivo estratégico para a longevidade e sustentabilidade da avicultura de postura moderna.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Setor de Avicultura da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), localizado no campus universitário de Manaus, Amazonas, Brasil. Todos os procedimentos experimentais foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA/UFAM), sob o protocolo nº 23105.011112/2025-80.

4.2 Obtenção e Caracterização do ingrediente

4.2.1 Produção e Processamento das larvas

As larvas secas e congeladas foram obtidas junto ao Setor de Aquicultura do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Durante o estágio de crescimento das larvas, estas receberam farinha de trigo residual de panificação como substrato padrão de criação. No 20º dia de produção, as larvas foram congeladas a -20 °C para fins de abate durante dois dias. Após esse período, foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 horas, ensacadas e enviadas ao setor de avicultura da UFAM, onde estiveram armazenadas em local seco e arejado para posterior trituração e obtenção da farinha para utilização nas dietas experimentais. O cultivo e manejo das larvas é baseado na metodologia de Teixeira-Filho et al. (2018). As etapas de criação, abate e processamento das larvas estão ilustradas na Figura 2.



Figura 1- Produção das larvas. (a) Vista da área de reprodução das moscas, *love cage*; (b) Detalhes internos da *love cage*, "bebedouro", caixas de larvas, bebedouros e ninhos; (c) Detalhamento dos ninhos; (d) Ovos e exúvias residuais; (e) Separação dos ovos em lote; (f) Processo de engorda das larvas; (g) Separação de larvas para abate e reprodução. Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 Caracterização Bromatológica da Farinha de MSN

A composição centesimal da farinha de LMSN foi determinada em triplicata. O teor de umidade foi obtido por gravimetria em estufa a 105 °C até peso constante (AOAC 925.10). A matéria mineral (cinzas) foi determinada por incineração das amostras em forno mufla a 550 °C por 6 horas (AOAC 923.03). A determinação da proteína bruta foi realizada pelo método de Kjeldahl, fundamentado na quantificação do nitrogênio total (AOAC 920.87), utilizando-se o fator de conversão de 5,6 recomendado para insetos recomendado por Janssen et al. (2017). O teor de fibra bruta foi determinado por análise laboratorial (INPA), seguindo o método de Weende, conforme protocolo AOAC 962.09.

Os lipídios totais da farinha foram determinados no Núcleo Central Analítica do Centro de Bionegócios da Amazônia (Manaus, Amazonas, Brasil) pelo método de extração contínua em aparelho Goldfish, fundamentado em métodos oficiais da AOAC. Utilizou-se 1 g de amostra em filtro de celulose com refluxo de solvente por 4 horas, seguido de secagem do extrato lipídico em estufa a 105 °C para determinação gravimétrica do teor de gordura. O valor de energia bruta da farinha integral foi determinado por combustão em bomba calorimétrica adiabática do Instituto de Zootecnia de Nova Odessa (SP).

4.3.1 Perfil de Ácidos Graxos da Farinha

A análise do perfil lipídico foi realizada no Núcleo Central Analítica do Centro de Bionegócios da Amazônia (CBA). Para a extração dos lipídios destinados à cromatografia, utilizou-se o método Soxhlet com solvente hexano por um período de 4 horas. Os ácidos graxos extraídos foram submetidos à saponificação com solução de NaOH em metanol e posterior derivatização para ésteres metílicos (FAME), utilizando solução de nitrato de amônio (NH_4NO_3) e ácido sulfúrico em metanol a 80 °C.

A identificação e quantificação dos ácidos graxos foram realizadas em cromatógrafo a gás Shimadzu GC-2010, acoplado a um detector de ionização por chama (GC-FID). Utilizou-se coluna capilar Agilent DB-WAX (25 m x 0,32 mm x 0,25 μm) e gás de arraste Hélio (1,5 mL/min). A temperatura do injetor foi de 250 °C e do detector de 270 °C, com programação de rampa térmica de 100 °C a 260 °C. A qualificação dos picos foi realizada por comparação com os tempos de retenção do padrão analítico mix FAME C4-C24 (Supelco), sendo os resultados expressos em porcentagem (%) da área total dos picos identificados.

4.4 Determinação da Energia Metabolizável Aparente e Corrigida do Ingrediente

Este ensaio foi realizado previamente ao experimento de desempenho, visando determinar o valor energético do ingrediente isolado. Foram utilizadas 72 poedeiras da linhagem Hisex Brown, com 35 semanas de idade, alojadas em 12 gaiolas metálicas (1,0 X 0,45 X 0,45 m) com seis aves cada. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com dois tratamentos e seis repetições:

1. Dieta Referência (DR): Dieta convencional à base de milho e farelo de soja;
2. Dieta Teste (DT): Composta por 96% da DR e 4% de substituição do farelo de soja pela farinha de LMSN.

O ensaio teve duração de 10 dias, sendo sete de adaptação às dietas e três de coleta total de excretas, conforme metodologia adaptada de Sakomura e Rostagno (2016).

4.4.1 Coleta de Dados e Manejo de Excretas

Utilizou-se o método de coleta total. As rações foram pesadas no início e ao final do período de coleta (72 horas) para determinação do consumo. As excretas foram coletadas

duas vezes ao dia (09h e 15h), com remoção manual de penas e restos de ração. O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos separados por unidade experimental e armazenado em freezer a -4 °C.

Após o período de coleta, as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente, pesadas, homogeneizadas e submetidas à pré-secagem em estufa de ventilação forçada (55 °C por 72h). Posteriormente, foram moídas em moinho tipo faca para as análises laboratoriais. Mais detalhes sobre os procedimentos do ensaio podem ser verificados na figura 3.



Figura 2. Procedimentos do ensaio de metabolizabilidade da farinha. (a) Vista geral do ensaio; (b) Triagem das excretas; (c) Acondicionamento e refrigeração das excretas; (d) Aliquotas para secagem; (e) Amostras secas; e (f) Farinha da larva, dieta referência, e dieta teste com 4% de inclusão. Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.2 Análises Laboratoriais e Cálculos

As análises de energia bruta foram realizadas no Instituto de Zootecnia (Nova Odessa, SP), via bomba calorimétrica adiabática e os valores de Energia Metabolizável Aparente (EMA) e Corrigida pelo Balanço de Nitrogênio (EMAn) da dieta teste, dieta referência e da farinha foram calculados pelas equações de Matterson et al. (1965).

4.4.2.1 Cálculo da Energia das Dietas

Para dieta referência:

$$EMA_{ref} = \frac{(\text{Consumo}_{ref} \times EB_{ref}) - (\text{Excreção} \times EB_{exc-ref})}{\text{Consumo}_{ref}}$$

Para dieta teste:

$$EMA_{teste} = \frac{(Consumo_{teste} \times EB_{teste}) - Excreção_{teste} \times EB_{exc-teste}}{Consumo_{teste}}$$

Onde:

EMA_{ref} / EMA_{teste} = Energia Metabolizável Aparente da dieta (Referência ou Teste) em Kcal/kg; $Consumo_{ref} / Consumo_{teste}$ = Quantidade total de ração consumida (kg de MS); EB_{ref} / EB_{teste} = Energia Bruta da dieta (Referência ou Teste), determinada via bomba calorimétrica (kcal/kg); $Excreção_{ref} / Excreção_{teste}$ = Quantidade total de excretas produzidas pelas aves (Kg de MS); $EB_{exc-ref} / EB_{exc-teste}$ = Energia Bruta presente nas excretas, também determinada via bomba calorimétrica (kcal/kg).

4.4.2.2 Cálculo da Correção pelo Balanço de Nitrogênio

Para obter os valores de EMAn, aplicou-se 8,22 kcal/g como fator de correção para o equivalente do ácido úrico (Hill; Anderson, 1958).

Cálculo para dieta referência:

$$EMAn_{ref} = EMA_{ref} - \left(\frac{8,22 \times BN_{ref}}{Consumo_{ref}} \right)$$

Para dieta teste:

$$EMAn_{teste} = EMA_{teste} - \left(\frac{8,22 \times BN_{teste}}{Consumo_{teste}} \right)$$

Para o balanço de nitrogênio:

$$BN = N_{ingerido} - N_{excretado}$$

Onde: N_{ingerido} = Quantidade total de nitrogênio consumida, calculada por: Consumo X %N da dieta; $N_{\text{excretado}}$ = Quantidade total de nitrogênio presente nas excretas, calculada por: Excreção x % N da dieta/excreta; %N = Teor de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl tanto na ração quanto nas excretas.

4.4.2.3 Cálculo Final da Farinha de MSN

Após a determinação dos valores energéticos das dietas, o valor da EMA e EMAn do ingrediente (Farinha de Larvas de MSN) foi calculado isoladamente pela fórmula de substituição:

$$EMA_{\text{alim}} = EMA_{\text{ref}} + \frac{(EMA_{\text{teste}} - EMA_{\text{ref}})}{g \text{ de substituição}}$$

Onde: EMA_{alim} = energia metabolizável aparente do ingrediente (MSN); g de substituição = o nível de substituição do ingrediente (expresso em decimal, sendo 0,04 para 4%).

4.5 Instalações e Ambiência

As aves foram alojadas em um aviário de 17 metros de comprimento, 3,5 metros de largura e 3,25 metros de altura, sem a presença de lanternim ou qualquer outro sistema de ventilação forçada. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas diariamente, duas vezes ao dia, por meio de um termohigrômetro digital posicionado à altura das aves. O programa de luz adotado foi de 16 horas diárias (12 horas de luz natural e 4 horas de luz artificial), controladas por timer digital.

4.6 Aves e Delineamento Experimental

Foram utilizadas 120 poedeiras comerciais da linhagem Hisex Brown, com 65 semanas de idade e peso médio padronizado (1,7 kg). As aves foram alojadas em gaiolas de arame galvanizado (0,45 m de altura, 0,40 m de largura e 1,00 m de comprimento), equipadas com comedouro tipo calha e bebedouro tipo *nipple*, acomodando quatro aves por unidade experimental (Figura 1). O período experimental total foi de 63 dias, precedidos por sete dias de adaptação às instalações e dietas.



Figura 3- Disposição interna das gaiolas e organização das unidades experimentais no galpão.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos (níveis de inclusão de farinha de MSN: 0, 1, 2, 3 e 4%) com seis repetições de quatro aves cada. As dietas foram formuladas seguindo as recomendações de Rostagno et al. (2024), utilizando o software SuperCrac (TD Software©, Viçosa, Brasil) e baseando-se na composição previamente analisada da MSN. A composição nutricional e os níveis nutricionais calculados das dietas encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Composição das dietas experimentais

Ingredientes	Níveis de inclusão de farinha das LMSN (%)				
	0	1	2	3	4
Milho 8,57%	71,02	69,91	68,80	67,69	66,59
F. soja 48%	14,58	14,68	14,78	14,87	14,97
Calcário calcítico	9,42	9,42	9,42	9,41	9,41
Farinha das LMSN	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
Farinha de carne e ossos	4,12	4,14	4,15	4,16	4,18
Dl-met (99%)	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09

Sal	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Suplemento Vitamínico-Mineral*	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada					
Energia metabolizável, kcal/kg	2838,80	2846,10	2853,40	2853,40	2867,90
Proteína bruta, %	15,20	15,65	16,10	16,55	17,00
Cálcio, %	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
Fósforo disponível, %	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Metionina total, %	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34
Metionina+cistina, %	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Sódio	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Treonina total, %	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
Triptofano total, %	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Fibra bruta, %	2,09	2,08	2,06	2,04	2,02

Níveis garantidos por quilo do produto: Vitamina A 2.000.000 UI, Vitamina D3 400.000 UI, Vitamina E 2.400 mg, Vitamina K3 400 mg, Vitamina B1 100 mg, Vitamina B2 760 mg, Vitamina B6 100 mg, Vitamina B12 2.400 mcg, Niacina 5.000 mg, Pantotenato de Cálcio 2.000 mg, Ácido Fólico 50 mg, Coccidiostático 12.000 mg, Colina 50.000 mg, Cobre 1.200 mg, Ferro 6.000 mg, Manganês 14.000 mg, Zinco 10.000 mg, Iodo 100 mg, Selênio 40 mg, Veículo qsp. 1.000 g.

4.7 Manejo Alimentar e Coleta de Dados

As dietas e a água foram fornecidas à vontade durante todo o período experimental. A ração foi fornecida uma vez ao dia, com reposição quando necessário, havendo monitoramento constante para evitar desperdícios.

A coleta de ovos foi realizada diariamente em dois horários (09h e 15h), com o registro da produção total por unidade experimental. Ao final de cada subperíodo de 21 dias, foram pesadas as sobras de ração de cada parcela para o cálculo do consumo médio de ração (g/ave/dia) e da conversão alimentar (kg de ração/kg de ovo e kg de ração/dúzia de ovos).

4.8 Desempenho e Qualidade Física e Interna dos Ovos

O desempenho foi avaliado conforme Rufino et al. (2021). Foram mensurados por repetição: consumo de ração (g/ave/dia), consumo de proteína bruta (g/ave/dia), consumo de energia metabolizável (kcal/ave/dia), produção de ovos (%), massa de ovo (g) e conversão alimentar, expressa tanto em massa (kg/kg) quanto por dúzia de ovos (kg/dz).

A avaliação da qualidade física e interna dos ovos foi realizada nos dois últimos dias de cada ciclo de 21 dias, utilizando-se quatro ovos por repetição (n= 24 por tratamento/ciclo). Após estabilização térmica (aproximadamente 25 °C/1h), os ovos foram pesados individualmente (precisão de 0,01 g). A gravidade específica foi determinada pelo método de imersão em soluções salinas de NaCl, com densidades entre 1,075 e 1,100 g/cm³ (intervalos de 0,005 g/cm³), aferidas por densímetro.

Após a pesagem, os ovos foram quebrados sobre superfície de vidro para mensuração da altura do albúmen e altura/diâmetro da gema com paquímetro digital. O albúmen e a gema foram separados manualmente e pesados em balança analítica. O pH de ambos foi aferido imediatamente após a separação dos componentes via potenciômetro digital calibrado. A casca foi lavada, seca ao ar e pesada; sua espessura foi mensurada com micrômetro digital em três pontos (basal, meridional e apical), utilizando-se a média aritmética. A cor da gema foi avaliada via comparação visual com o leque colorimétrico DSM (antigo Roche), numa escala de 1 a 15.

A Unidade Haugh (UH), indicador de integridade do albúmen, foi calculada pela fórmula:

$$Unidade\ Haugh = 100 * \log(H + 7,57 - 1,7W^{0,37})$$

Onde: H = altura do albúmen (mm) e W = peso do ovo (g).

4.9 Qualidade Bromatológica dos Ovos

Foram coletados oito ovos por tratamento para a formação de um *pool* amostral (em triplicata por tratamento, com duas réplicas técnicas cada). As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Pescado (UFAM). Determinaram-se os teores de umidade (estufa a 105 °C), cinzas (mufla a 550 °C), lipídios totais (método de Bligh e Dyer) e proteína bruta (método de Kjeldahl), conforme protocolos da AOAC (2019).

4.10 Estabilidade Oxidativa da Gema

As análises foram conduzidas no laboratório BIOPHAR (UFAM), avaliando-se a oxidação lipídica inicial e secundária.

4.10.1 Quantificação de Peróxidos Totais

A determinação seguiu o protocolo de Erel (2005) adaptado para matriz de gema no laboratório de Análises Biológicas (BIOPHAR-UFAM). Utilizaram-se cinco amostras de cada tratamento (1 g de gema in natura em 10 mL de tampão fosfato 50 mM). Em seguida, foram pipetados 35 µL da amostra em poços de uma placa de 96 poços. A cada poço foram adicionados:

- 225 µL do reagente 1, composto por laranja de xilenol (150 µM), cloreto de sódio (140 µM) e glicerol (1,35 M) dissolvidos em ácido sulfúrico 25 mM;
- 11 µL do reagente 2, composto por sulfato ferroso de amônio (5 mM) e dicloridrato de o-dianisidina (10 mM) também dissolvidos em ácido sulfúrico de 25 mM.

Após a adição dos reagentes, a mistura foi homogeneizada, incubada por 5 minutos em temperatura ambiente e, posteriormente, as leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro a 560 nm

4.10.2 Quantificação de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

A quantificação do malondialdeído (MDA) utilizou cinco gemas por tratamento. Pesou-se 1 g de gema homogeneizada em 10 mL de NaCl (150 µM). A solução foi homogeneizada em vortex durante 30 segundos, e 100 µL do homogeneizado foram transferidos para tubos de ensaio contendo 15 mL da solução reativa de TBARS, composta por:

- Ácido tiobarbitúrico a 0,1%,
- Ácido clorídrico a 0,25 N,
- Ácido tricloroacético (TCA) a 10%.

Os tubos receberam esferas de vidro (popularmente conhecidas como “bolinhas de gude”), para ocorrer escapamento de gases durante o posterior processo de incubação em banho-maria a 100 °C por 45 minutos. Após esse período, os tubos foram resfriados em

banho de gelo por 5 minutos, e as esferas foram retiradas. Os tubos foram tampados com tampas de borracha e centrifugados a 3.500 rpm por 10 minutos.

Após a centrifugação, 1 mL do sobrenadante foi transferido para cubetas de leitura, e a absorbância foi mensurada em espectrofotômetro a 535 nm. Os valores de absorbância foram utilizados para a determinação das concentrações de MDA, expressando os níveis de oxidação lipídica das gemas.

4.11 Qualidade Sensorial dos Ovos

O teste de aceitação foi realizado no Laboratório de Análise Sensorial (UFAM) com 50 provadores não treinados. Foram selecionados 25 ovos/tratamento, cozidos por 10 minutos e servidos (frações de aproximadamente 15 g) em ordem aleatória sob códigos de três dígitos. Utilizou-se escala hedônica estruturada de 9 pontos, avaliando-se aparência, textura, aroma, cor e sabor (figura 5), conforme Dutcosky (2013).

Nome: _____ Idade: _____

Pesquisa "Inclusão da farinha de larvas da mosca-soldado-negra (*hermetia illucens*, L. 1758) em dietas para poedeiras comerciais" sob a responsabilidade da pesquisadora Laiane Ferreira de Souza, o qual pretende avaliar se os tratamentos exercem influência sobre as propriedades organolépticas e sensoriais nos ovos.

Avaliar	Amostra 327	Amostra 978	Amostra 526	Amostra 458	Amostra 756
APARÊNCIA					
TEXTURA					
AROMA					
COR					
SABOR					

Você compraria qual ou quais amostras? _____

Nota de Avaliação

1-Desgostei extremamente /
 2-Não gostei muito/
 3-Não gostei moderadamente/
 4-Não gostei ligeiramente/
 5-Indiferente/
 6-Gostei Ligeiramente/
 7-Gostei moderadamente/
 8-Gostei Muito/
 9-Gostei extremamete

Figura 4. Formulário disponibilizado aos provadores. Fonte: Elaborado pela autora.

4.12 Perfil Sanguíneo

Com o objetivo de avaliar os efeitos fisiológicos das dietas experimentais sobre o estado de saúde geral e metabolismo das galinhas, foram conduzidas análises hemato-bioquímicas, que foram realizadas no segundo ciclo experimental.

No 45º dia experimental, selecionaram-se aleatoriamente seis aves de cada tratamento para coleta de sangue via punção da veia ulnar. Imediatamente após a punção, uma gota de sangue sem anticoagulante foi utilizada para a confecção de dois esfregaços sanguíneos por ave, visando preservar a morfologia celular para a diferencial leucocitária. Na sequência, colheu-se aproximadamente 1 mL de sangue em seringas descartáveis previamente banhadas em heparina sódica (5.000 UI/mL).

As amostras foram transferidas para microtubos tipo *Eppendorf* e transportadas em caixas de isolamento térmico contendo gelo reciclável para manutenção da temperatura (4 °C). O hemograma compreendeu a determinação do hematócrito pelo método do microhematócrito e a concentração de hemoglobina pelo método de cianometa-hemoglobina utilizando o reagente de Drabkin. A contagem total de eritrócitos (RBC) foi realizada na câmara de Neubauer utilizando-se a Solução de Hayem (formol citrato) como diluente. Os índices hematimétricos (VCM, HCM e CHCM) foram obtidos por meio dos cálculos propostos por Wintrobe (1981).

A contagem total de leucócitos e trombócitos foi realizada pelo método indireto em esfregaços corados pelo método de coloração rápida May-Grünwald Giemsa Wright (MGGW), seguindo as metodologias de Tavares-Dias e Mataqueiro (2004) com adaptações de Thrall et al. (2012). A diferenciação leucocitária foi realizada em microscópio óptico (Nikon Eclipse E-50i, Tóquio, Japão) sob imersão (100x), onde foram contados 100 leucócitos por lâmina, classificados em heterófilos, linfócitos, monócitos, eosinófilos e basófilos de acordo com Buttarello e Plebani (2008).

As amostras de sangue foram centrifugadas a 7000 rpm durante 10 minutos a 4 °C para a separação do plasma, o qual foi acondicionado em microtubos identificados e mantidos a -80 °C até o processamento. A avaliação bioquímica do plasma foi realizada com kits comerciais colorimétricos (Labtest Diagnóstica) em espectrofotômetro K37-UVVIS (Kasvi®), seguindo as recomendações dos fabricantes para os comprimentos de onda de cada metabólito. Os parâmetros analisados incluíram: proteínas totais, albumina, globulinas (obtidas por diferença), triglicerídeos, glicose, colesterol total e ácido úrico.

4.13 Microbioma Cecal

Ao final do período experimental, duas poedeiras por tratamento foram selecionadas e eutanasiadas por deslocamento cervical para coleta de material biológico. Procedeu-se à exposição do trato gastrointestinal para a coleta do conteúdo cecal, com o objetivo de avaliar a modulação da comunidade bacteriana em resposta às dietas. As amostras foram transferidas para microtubos contendo solução estabilizadora da integridade molecular (SEMoI), na proporção de 1:2, e mantidas sob refrigeração até o envio ao Laboratório IMUNOVA (Curitiba, PR).

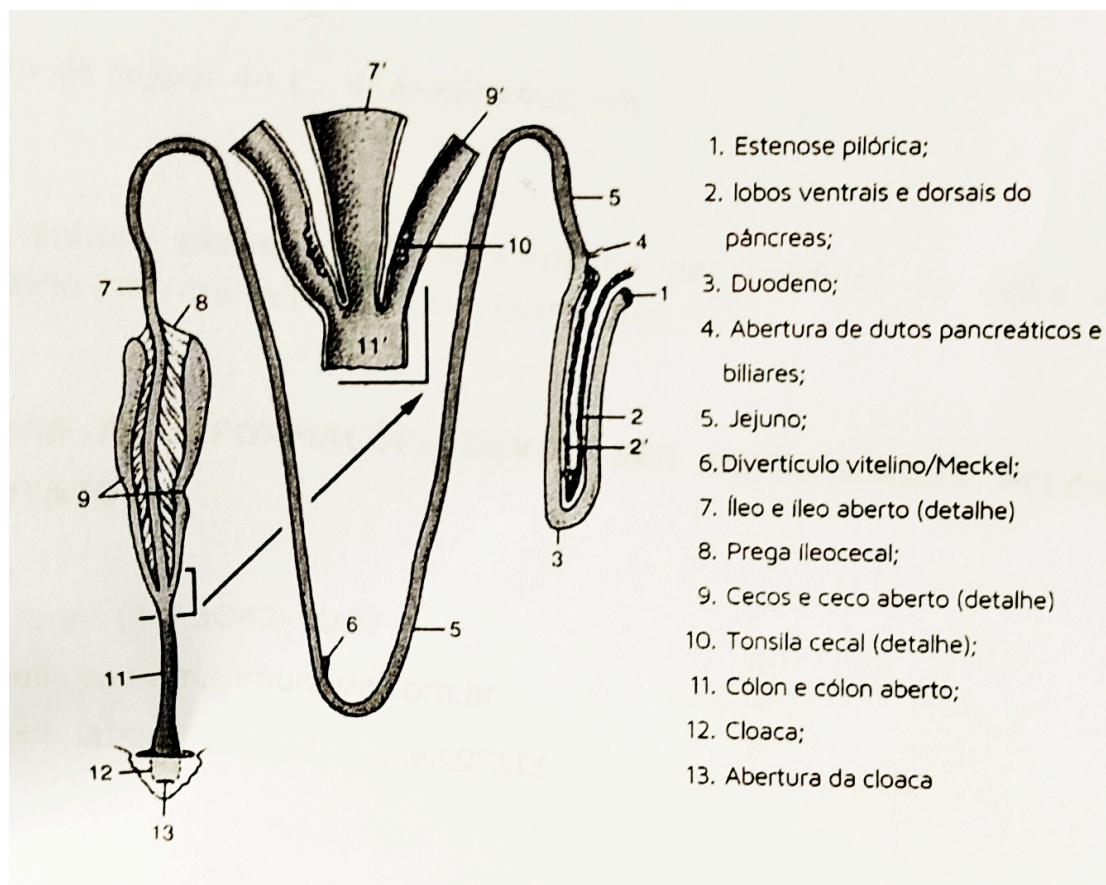


Figura 5. Trato intestinal de aves, com detalhe para junção íleo-cecal. Fonte: Adaptado de Singh (2018). Dyce, Sack and Wensing's Textbook of Veterinary Anatomy– 5th Edition, Elsevier.

Para a extração do DNA genômico, utilizou-se kit comercial padrão para a matriz específica, conforme recomendações do fabricante. A qualidade e a quantificação do material extraído foram avaliadas por espectrofotometria (NanoDrop, Thermo Scientific). A região hipervariável V3-V4 do gene 16S rRNA (fragmento de 460 pb) foi amplificada via PCR utilizando os *primers* 375F/805R, sob as seguintes condições térmicas: 95 °C por 3 min; 25 ciclos de 95 °C por 30 s, 55 °C por 30 s e 72 °C por 30 s, com extensão final a 72 °C por 5 min.

Os amplicons foram ligados a adaptadores (*barcodes*) dual index Nextera (Illumina) e

purificados. As bibliotecas foram reunidas em *pools* e submetidas ao sequenciamento em plataforma NextSeq (Illumina), em sistema *paired-end* de 300 bases (Degnan e Ochman, 2012). As leituras brutas foram processadas na plataforma QIIME2 (*Quantitative Insights Into Microbial Ecology*), procedendo-se à filtragem de qualidade, remoção de quimeras e classificação taxonômica (Caporaso et al., 2011).

As sequências foram classificadas em gêneros bacterianos através do reconhecimento de Variantes de Sequências de Amplicons (ASVs). Para a comparação taxonômica, utilizou-se a versão atualizada do banco de dados GTDB 226 (2025) (Parks et al., 2021). As análises de bioinformática compreenderam a avaliação da diversidade alfa (riqueza e uniformidade) a diversidade beta (distância de Bray-Curtis, Jaccard e Unifrac ponderada e não ponderada). Para a visualização do agrupamento microbiano e dissimilaridade entre as amostras, realizou-se a Análise de Coordenadas Principais (PCoA), seguindo protocolos adaptados de Biasato et al. (2018).

4.14 Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais de quatro aves cada. Os tratamentos consistiram em níveis crescentes de inclusão de farinha de LMSN (0, 1, 2, 3 e 4%). O modelo estatístico adotado foi:

$$Y_{ik} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ik}$$

onde:

Y_{ik} = Valor observado para a variável em estudo

μ = Média geral do experimento;

α_i = Efeito dos níveis da farinha de LMSN;

ϵ_{ik} = Erro experimental.

Com exceção dos dados de microbioma, as demais variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA) *one-way*. Quando verificada a significância ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Adicionalmente, os efeitos dos níveis de inclusão foram avaliados por meio de análises de regressão polinomial (linear e quadrática). O modelo foi selecionado com base na significância dos coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação R^2 e na interpretação biológica dos dados.

As análises foram processadas no ambiente estatístico R Studio (v .4.1.0), utilizando os pacotes e comandos recomendados por Logan (2010).

5 RESULTADOS

5.1 Composição e Perfil de Ácidos Graxos da Farinha de LMSN

A composição bromatológica e o perfil de ácidos graxos estão presentes nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. O ingrediente apresentou elevados teores de Proteína Bruta (40,66%) e Extrato Etéreo (33,38%), com energia metabolizável corrigida (EMAn) de 4.029,53 kcal/kg (Tabela 2). Quanto ao perfil lipídico, observou-se predominância do ácido láurico (C12:0), que representou 40,45% do total de ácidos graxos identificados (Tabela 3).

Tabela 2. Composição química, valores energéticos e coeficientes de aproveitamento da farinha de larvas de mosca-soldado negra (*Hermetia illucens*).

Variável ¹	Valor
Composição Bromatológica (%)	
Matéria Seca (MS)	91,88
Proteína Bruta (PB) ²	40,66
Extrato Etéreo (EE)	33,38
Fibra Bruta (FB)	10,91
Matéria Mineral (MM)	6,93
Energia Metabolizável (kcal/kg)	
EMA	4258,4
EMAn	4029,53
Coeficientes de Metabolizabilidade (%)	
Metabolizabilidade da MS (CDMS)	83
Metabolizabilidade do EE (CDEE)	87

Variável ¹	Valor
Metabolizabilidade da PB (CDPB)	85

¹ Valores expressos com base na matéria seca, exceto para a variável MS; ² Fator de correção 5,60.

Tabela 3– Teor de ácidos graxos identificados de farinha de larvas de mosca-soldado-negra.

Ácido graxo	% de ácido graxo
Ácido Octanóico C8:0	0,286
Ácido Decanóico C10:0	0,428
Ácido Láurico C12:0	40,458
Ácido Mirístico C14:0	10,441
Ácido Palmítico C16:0	20,747
Ácido Palmitoleico C16:1 cis	2,513
Ácido Heptadecanoico C17:0	0,147
Ácido Heptadecanoico C17:1 cis	0,057
Ácido Elaídico C18:1 trans	3,118
Ácido Oleico C18:1 cis	14,309
Ácido Linoleico C18:2 cis	7,010
Ácido α-Linolênico C18:3 cis	0,373
Ácido Estearico C18:0	0,112

5.2. Desempenho Produtivo

Os parâmetros de desempenho produtivo foram influenciados pela inclusão da MSN(Tabela 4). O consumo de ração (CR) apresentou redução linear ($p = 0,05$), enquanto o consumo de proteína (CP) e a massa do ovo (MO) aumentaram linearmente ($p < 0,01$) com o incremento do ingrediente na dieta. A conversão alimentar (KG) apresentou efeito quadrático ($p < 0,01$), com melhor índice observado no nível de 4% de inclusão. Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para o consumo de energia (CE) e a produção de ovos (PO).

Tabela 4. Desempenho produtivo de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.

Variáveis ¹	Níveis de farinha das larvas de mosca soldado negro (%)					p-valor ²	CV ³	MM ⁴	R ²
	0	1	2	3	4				
CR	140,89±1,5 9 ^a	139,29±3,8 5 ^b	139,50±3,6 0 ^b	139,62±3,8 6 ^b	138,97±6,23 ^c	0,05	2,68	Y = 140,36 - 0,351x	0,87
CP	21,41±0,24 c	21,79±0,60 ^c	22,45±0,57 b	23,10±0,63 ^a	23,62±1,06 ^a	<0,01	4,51	Y = 21,328 + 0,573x	0,99
CE	399,98±4,5 3	396,44±10, 97	398,06±10, 28	398,41±11, 02	398,57±17,89	0,98	2,66	-	-
PO	89,94±5,03	90,67±3,92	90,01±3,64	88,69±8,10	95,00±6,65	0,45	6,24	-	-
KG	3,16±0,25 ^b	3,53±0,17 ^a	2,94±0,12 ^b	2,88±0,21 ^{bc}	2,81±0,33 ^c	<0,01	10,9 6	Y = 3,284 + 0,035x - 0,025x ²	0,86
DZ	1,93±0,12	1,88±0,10	1,90±0,10	1,93±0,13	1,79±0,20	0,48	7,17	-	-
MO	44,32±1,39 c	50,93±1,14 b	53,76±1,45 b	55,95±0,68 ^a	53,26±1,06 ^b	<0,01	8,26	Y = 44,315 + 7,7871x - 1,3743x ²	0,98

¹ CR = Consumo de ração (g/ave/dia). CP = Consumo de proteína (g/ave/dia). CE = Consumo de energia (kcal/ave/dia). PO = Produção de ovos (%). KG = Conversão alimentar (kg de ração/kg de ovos). DZ = Conversão alimentar (kg de ração/dúzia de ovos). MO = Massa do ovo (g).

² Médias seguidas por letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

³ CV = Coeficiente de variação.

⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente sobre a variável dependente avaliada.

5.3 Qualidade Física e Química dos ovos

A qualidade física dos ovos foi afetada de forma variável (Tabela 5). O peso do ovo (PO), a unidade Haugh (UH) e a espessura da casca (EC) apresentaram comportamento linear crescente ($p < 0,01$) em resposta aos níveis de farinha de MSN. Já a altura da gema (AG) e a altura do albúmen (AA) apresentaram efeito quadrático ($p < 0,01$). Quanto à composição química da gema (Tabela 6), houve efeito linear crescente para os teores de proteína (PRO) e efeito quadrático para umidade (UMI) e lipídeos (LIP).

Tabela 5. Qualidade física dos ovos produzidos por poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.

Variáveis ¹	Níveis de farinha das larvas de mosca soldado negro (%)					p-valor r^2	CV ³	MM ⁴	R ²
	0	1	2	3	4				
PO	56,37±2,09 ^c	57,75±1,49 ^b	57,61±2,014 ^b	59,20±1,60 ^a	57,96±2,74 ^b	0,04	3,63	Y = 56,351 + 1,4659x - 0,2507x ²	0,74
PG	27,17±0,90	27,09±0,88	26,46±1,65	26,70±1,40	28,58±4,38	0,53	8,18	-	-
PA	54,61±1,06	55,46±1,00	55,90±0,77	55,06±1,97	54,15±5,46	0,81	4,69	-	-
PC	10,47±0,11	9,78±1,52	10,64±0,34	10,69±0,40	10,45±0,84	0,33	7,95	-	-
AG	18,34±1,14 ^b	19,73±1,88 ^a	17,62±0,66 ^c	17,58±0,51 ^c	17,06±1,24 ^c	<0,01	8,05	Y = 18,758 + 0,029x - 0,125x ²	0,56
AA	9,10±0,62 ^a	9,03±0,28 ^a	8,07±0,29 ^b	8,28±0,59 ^b	7,94±0,69 ^c	<0,01	8,21	y = 9,098 - 0,307x	0,79
DG	40,80±0,93	40,36±1,04	39,37±0,62	39,91±0,58	41,07±3,90	0,54	4,62	-	-
DA	71,50±3,88	70,96±1,89	71,63±1,61	72,89±5,03	68,50±9,72	0,69	7,23	-	-
CO	4,77±0,27	4,58±0,17	4,97±0,12	5,08±0,29	5,03±1,17	0,52	11,39	-	-
PHG	6,09±0,14	6,01±0,09	6,16±0,27	6,30±0,14	6,22±0,27	0,14	3,45	-	-
PHA	8,02±0,13	8,07±0,20	8,03±0,07	8,05±0,17	7,98±0,05	0,85	1,67	-	-
UH	90,20±10,63 ^b	92,00±0,76 ^b	99,43±0,81 ^a	99,97±1,63 ^a	99,04±1,95 ^a	<0,01	8,05	Y = 89,234 + 6,0936x - 0,8821x ²	0,88
GE	1089,58±1,14	1092,45±1,99	1091,94±2,45	1092,91±2,82	1091,66±2,93	0,16	0,22	-	-
EC	57,57±6,25 ^c	60,89±0,98 ^c	59,57±1,92 ^c	77,99±12,90 ^b	85,89±3,72 ^a	<0,01	19,23	Y = 53,634 + 7,374x	0,83

¹ PO = Peso do ovo (g). PG = Percentual de gema (%). PA = Percentual do albúmen (%). PC = Percentual de casca (%). AG = Altura da gema (mm). AA = Altura do albúmen (mm). DG = Diâmetro da gema (mm). DA = Diâmetro do albúmen (mm). CO = Coloração da gema. PHG = pH da gema. PHA = pH do albúmen. UH = Unidade Haugh. GE = Gravidade Específica (g/ml³). EC = Espessura da casca (µm).

² Tratamentos com médias na mesma linha diferem significativamente quando $p \leq 0,05$.

³ CV = Coeficiente de variação. ⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente sobre a variável dependente avaliada.

Tabela 6. Composição química de ovos produzidos por poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.

Variáveis ¹	Níveis de farinha das larvas de mosca soldado negro (%)					p-valor	CV	MM	R ²
	0	1	2	3	4				
UMI	75,66±0,36 ^b	76,27±0,19 ^a	76,08±0,37 ^a	76,29±0,22 ^a	75,89±0,35 ^b	<0,01	0,49	$Y = 75,688 + 0,3966x - 0,0871x^2$	0,93
CIN	0,78±0,13	0,80±0,08	0,81±0,06	0,81±0,04	0,77±0,04	0,82	9,68	-	-
LIP	9,55±0,58 ^b	9,62±0,31 ^b	9,61±0,28 ^b	10,09±0,60 ^a	9,79±0,27 ^b	<0,01	6,98	$Y = 9,5063 + 0,1664x - 0,0179x^2$	0,89
PRO	9,68±0,60 ^b	9,78±0,32 ^b	10,19±0,44 ^a	10,30±0,50 ^a	10,77±0,32 ^a	<0,01	6,84	$Y = 9,604 + 0,27x$	0,95
CAR	4,33±1,11 ^a	3,73±0,62 ^b	3,31±0,72 ^b	2,71±0,98 ^c	2,78±0,37 ^c	0,02	15,89	$Y = 4,196 - 0,412x$	0,92

¹ UMI = Umidade (%). CIN = Cinzas (%). LIP = Lipídeos (%). PRO = Proteínas (%). CAR = Carboidratos (%).

² **Tratamentos com médias na mesma linha diferem significativamente quando $p \leq 0,05$.**

³ CV = Coeficiente de variação.

⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente sobre a variável dependente avaliada.

5.4 Estabilidade Oxidativa

A estabilidade oxidativa das gemas foi influenciada, com redução na concentração de peróxidos totais nos níveis de 3% e 4% (Figura 6) e menor concentração de malonaldeído (MDA) no nível de 1% (Figura 7).

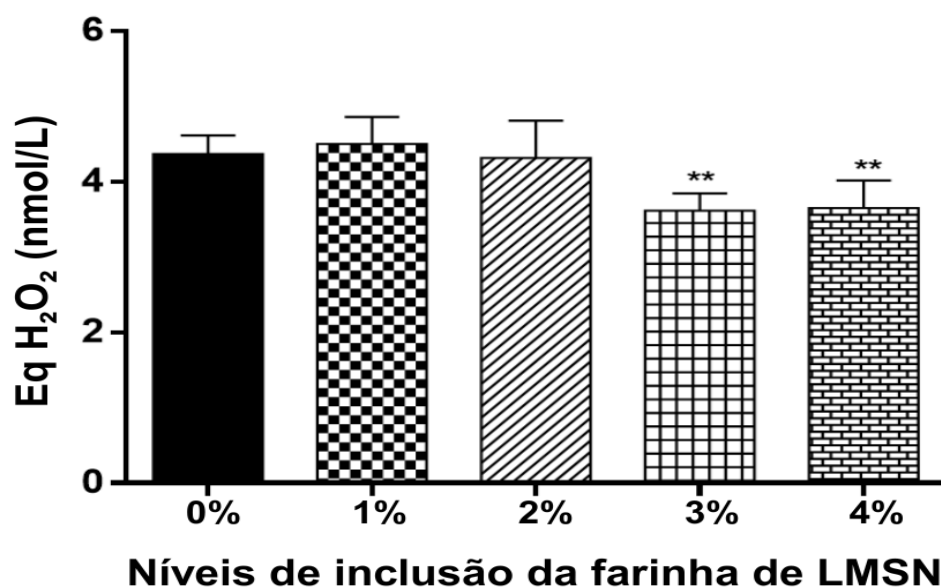


Figura 6- Concentração de peróxidos totais (Equiv. H₂O₂; nmol L⁻¹) em gemas de ovos de poedeiras alimentadas com diferentes níveis de inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra.

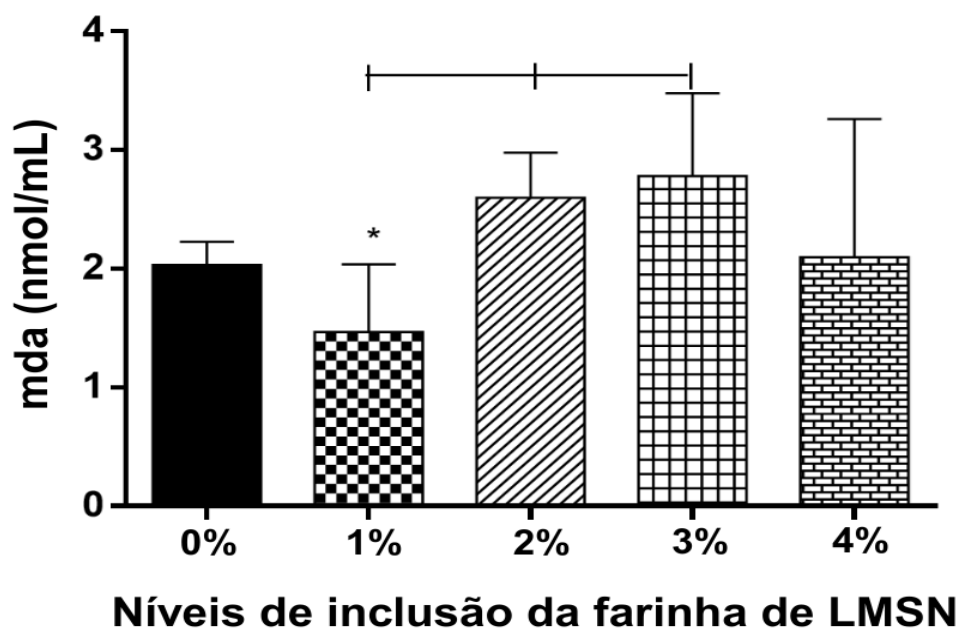


Figura 7- Concentração de malonaldeído (MDA) nas gemas de ovos de poedeiras alimentadas com diferentes níveis de inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra.

5.5 Análise Sensorial

Os atributos sensoriais dos ovos apresentaram diferenças significativas para aparência (APA), textura (TEX), coloração (COR) e sabor (SAB) ($p < 0,05$), conforme apresentado na Tabela 7. Observou-se uma tendência de redução nas notas de textura e sabor conforme o aumento do nível de inclusão MSN, enquanto o aroma (ARO) não foi influenciado pelos tratamentos ($p = 0,99$).

Tabela 7. Análise sensorial dos ovos produzidos por poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.

Variáveis ¹	Níveis de farinha das larvas de mosca soldado negro (%)					p-valor	CV	MM	R ²
	0	1	2	3	4				
APA	7,05±1,71	7,09±2,05	7,07±1,73	6,92±1,71	6,49±2,01	0,05	6,71	$Y = 7,0291 + 0,1767 - 0,0764x^2$	0,98
TEX	7,27±1,57	6,82±1,59	6,78±1,57	6,62±1,87	6,21±1,95	0,04	5,85	$Y = 7,204 - 0,232x$	0,92
ARO	6,82±1,69	6,82±1,74	6,72±1,67	6,84±1,81	6,76±1,70	0,99	5,20	-	-
COR	6,86±1,69	7,19±1,62	6,92±1,89	6,70±1,74	6,52±1,83	0,05	5,76	$Y = 6,9334 + 0,1601x - 0,0693x^2$	0,81
SAB	7,47±1,39	6,88±1,99	6,66±1,79	6,64±1,77	6,37±1,95	0,03	6,73	$Y = 7,292 - 0,244x$	0,87

¹ APA = Aparência. TEX = Textura. ARO = Aroma. COR = Coloração.

² Tratamentos com médias na mesma linha diferem significativamente quando $p \leq 0,05$.

³ CV = Coeficiente de variação.

⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente sobre a variável dependente avaliada.

5.6 Parâmetros Hematológicos e Bioquímicos

5.6.1 Série Vermelha

Observou-se efeito quadrático para Hemoglobina (HEG) e hematócrito (HEM), enquanto os Eritrócitos (RBC) apresentaram resposta linear crescente ($p < 0,05$) conforme o aumento da inclusão (Tabela 8).

Tabela 8. Parâmetros hematológicos de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.

Variáveis ¹	Níveis de farinha das larvas de mosca soldado negro (%)					p-valor r ²	CV ³	MM ⁴	R ²
	0	1	2	3	4				
HEG	14,00±1,79 ^a	11,13±1,06 ^c	11,45±1,45 ^c	13,75±2,06 ^b	14,67±2,23 ^a	<0,01	16,78	$Y = 13,574 - 2,3354x + 0,6829x^2$	0,79
RBC	1,44±0,20 ^c	1,51±0,39 ^b	1,54±0,22 ^b	1,61±0,37 ^b	1,93±0,46 ^a	0,02	12,31	$Y = 0,108x + 1,39$	0,79
HEM	23,43±3,44 ^c	27,10±1,67 ^a	24,26±1,83 ^c	25,76±1,03 ^b	25,32±3,07 ^b	0,05	10,18	$Y = 24,132 + 1,3526x - 0,2771x^2$	0,71
VCM	174,55±37,28	182,17±33,67	167,18±29,12	186,88±44,60	159,51±30,95	0,71	9,77	-	-
HCM	19,93±4,97	14,19±2,23	15,11±3,20	19,17±5,73	15,91±4,33	0,11	17,25	-	-
CHCM	7,83±0,37 ^c	9,08±1,42 ^b	10,20±1,32 ^{ab}	11,52±2,11 ^a	9,88±1,43 ^b	<0,01	8,99	$Y = 7,5969 + 2,2483x - 0,3986x^2$	0,87

¹ HEG = Hemoglobina (g/dL). RBC = Eritrócitos (M/mm³). HEM = Hematócrito (%). VCM = Volume Corpuscular Médio (um³). HCM = Hemoglobina Corpuscular Média (pg/cel). CHCM = Concentração da Hemoglobina Corpuscular Média (g/dL).

² Tratamentos com médias na mesma linha diferem significativamente quando $p \leq 0,05$.

³ CV = Coeficiente de variação.

⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente sobre a variável dependente avaliada.

5.6.2 Série Branca

Na série branca, houve aumento linear nos heterófilos e decréscimo linear nos linfócitos ($p = 0,05$; Tabela 9).

Tabela 9. Contagem diferencial de leucócitos de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.

Variáveis	Níveis de farinha das larvas de mosca soldado negro (%)					p-valor ¹	CV ² , %	Modelo ³	R ²
	0	1	2	3	4				
Het, %	33,20±7,08 ^c	38,90±4,62 ^c	43,80±7,84 ^b	44,20±9,62 ^b	47,70±9,73 ^a	0,05	11,56	$Y = 34,7 + 3,43x$	0,93
Eos, %	2,00±0,61	1,30±0,90	0,60±0,65	1,50±0,86	1,20±0,90	0,13	15,49	-	-
Bas, %	2,20±0,97	1,20±0,67	1,80±0,48	0,70±0,33	1,40±0,29	0,27	17,16	-	-
Lin, %	50,60±8,72 ^a	46,50±8,10 ^{ab}	41,70±5,01 ^b	37,90±8,95 ^c	37,40±10,50 ^c	0,05	10,51	$Y = 49,82 - 3,5x$	0,95
Mon, %	12,00±3,98 ^b	12,10±5,34 ^b	12,10±2,63 ^b	15,70±3,34 ^a	12,30±1,52 ^b	<0,01	17,03	$Y = 11,514 + 1,3914x - 0,2429x^2$	0,75

¹Tratamentos com médias na mesma linha diferem significativamente quando $p \leq 0,05$.

²CV = Coeficiente de variação.

³Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente sobre a variável dependente.

5.6.3 Perfil Bioquímico

Quanto ao perfil bioquímico (Tabela 10), todas as variáveis foram afetadas ($p < 0,05$). Glicose, triglicerídeos, albumina e proteínas totais apresentaram comportamento linear crescente em resposta aos níveis de farinha de LMSN na dieta.

Tabela 10. Parâmetros bioquímicos plasmáticos de poedeiras em segundo ciclo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de farinha das larvas de mosca soldado negro.

Variáveis ¹	Níveis de farinha das larvas de mosca soldado negro (%)					p-valor ²	CV ³	MM ⁴	R ²
	0	1	2	3	4				
GLI	191,06±8,96 ^c	188,91±7,13 ^c	213,49±7,44 ^b	221,31±25,68 ^b	260,57±7,27 ^a	<0,01	13,30	$Y = 180,78 + 17,142x$	0,87
TRI	350,36±19,31 ^c	383,94±40,04 ^c	333,21±87,81 ^c	507,11±6,68 ^a	492,70±7,18 ^b	<0,01	20,66	$Y = 331,89 + 40,785x$	0,73
ALB	5,08±0,40 ^c	5,58±0,49 ^c	5,98±0,40 ^c	6,57±0,49 ^b	7,05±0,57 ^a	<0,01	14,72	$Y = 5,066 + 0,493x$	0,99
PRO	7,02±0,45 ^c	6,56±0,61 ^c	7,39±0,87 ^c	8,02±0,58 ^b	8,55±0,70 ^a	<0,01	12,61	$Y = 6,604 + 0,452x$	0,81
ACU	4,29±0,94 ^b	4,41±1,04 ^b	5,59±2,24 ^a	5,63±1,52 ^a	5,63±1,93 ^a	0,05	12,81	$Y = 4,33 + 0,39x$	0,78
GLO	1,94±0,36 ^a	0,98±0,44 ^c	1,41±0,25 ^b	1,45±0,37 ^b	1,50±0,29 ^b	0,05	13,52	$Y = 1,7709 - 0,5067x + 0,1164x^2$	0,84
A/G	2,62±0,99 ^c	5,69±1,22 ^a	4,24±2,12 ^b	4,53±2,57 ^b	4,70±2,79 ^b	0,03	11,25	$Y = 3,176 + 1,46x - 0,29x^2$	0,71

¹ GLI = Glicose (mg/dL). TRI = Triglicerídeos (mg/dL). ALB = Albumina (mg/dL). PRO = Proteínas Totais (g/dL).

ACU = Ácido Úrico (mg/dL). GLO = Globulina (g/dL). A/G= Relação Albumina/Globulina

² Tratamentos com médias na mesma linha diferem significativamente quando $p \leq 0,05$.

³ CV = Coeficiente de variação.

⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente sobre a variável dependente avaliada.

5.7 Microbioma Cecal

5.7.1 Diversidade e Estrutura do Microbioma

Os índices de alfa-diversidade do microbioma intestinal indicaram uma tendência de aumento na complexidade da comunidade microbiana proporcional à inclusão do ingrediente (Figura 8). A análise de coordenadas principais (PCoA) demonstrou agrupamentos distintos entre os tratamentos (Figura 9).

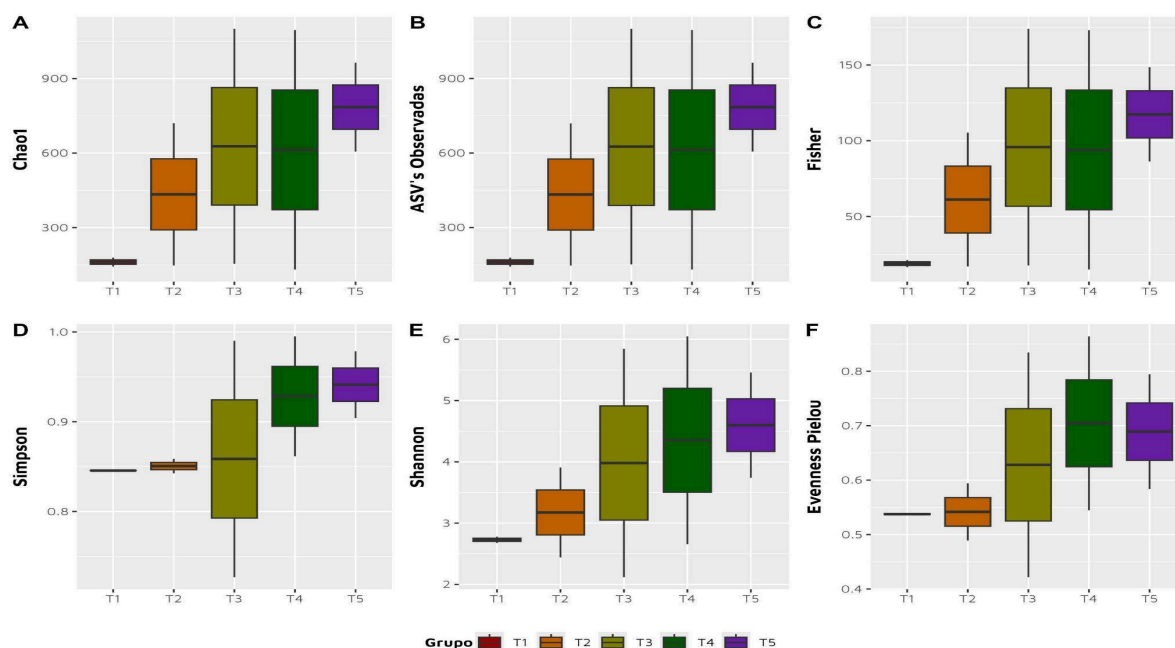


Figura 8. Índices de alfa-diversidade da microbiota intestinal de galinhas submetidas a diferentes níveis de inclusão de farinha de larva de mosca-soldado-negra (*Hermetia illucens*). Os painéis representam estimadores de riqueza (A: Chao1; B: ASVs Observadas; C: Fisher) e índices de diversidade e equitabilidade (D: Simpson; E: Shannon; F: Pielou). T1 representa o grupo controle, T2 representa o nível de 1%, T3 representa 2%, T4 refere-se a 3% e T5 a 4%.

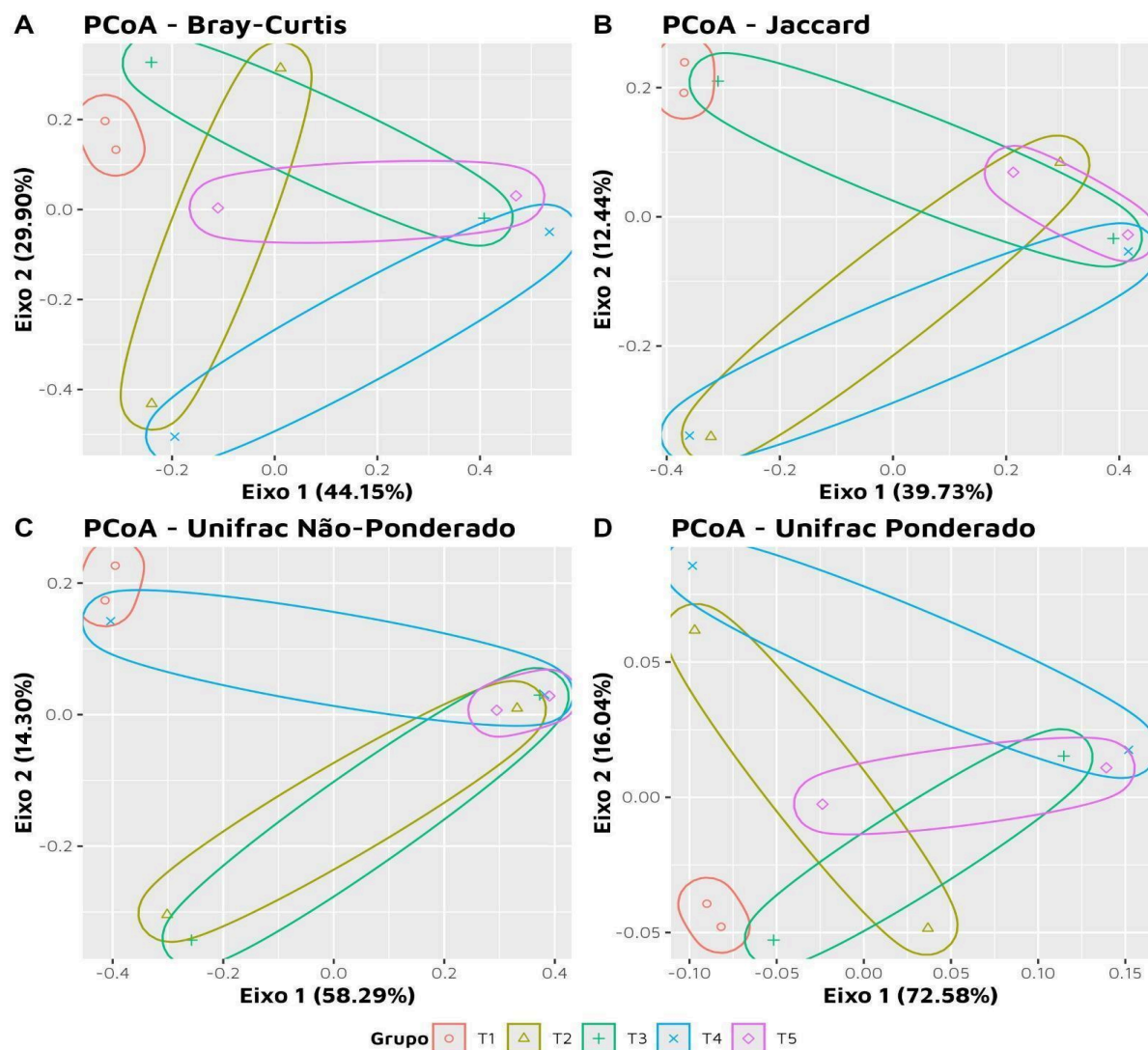


Figura 9. Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da microbiota cecal de poedeiras alimentadas com níveis crescentes de farinha de larvas de mosca-soldado-negra.

5.7.1 Perfil Taxonômico e Abundância Relativa

A abundância relativa em nível de filo apresentou predominância de *Bacillota*, com modulação clara dos filos *Actinomycetota* e *Bacteroidota* em resposta à dieta (Figura 10). A abundância relativa em nível de gênero revelou que *Romboutsia* e *Lactobacillus* foram os táxons predominantes na microbiota cecal (Figura 11).

Observou-se uma redução drástica na razão *Bacillota/Bacteroidota* (FBR) nos grupos suplementados com a farinha em comparação ao grupo controle (Figura 12). O mapa de calor (*heatmap*) confirmou a formação de clusters distintos, apontando que os níveis de maior inclusão (3% e 4%) apresentam perfis taxonômicos divergentes do controle, marcados pela redução de *Romboutsia* e maior equitabilidade de outros gêneros (Figura 13).

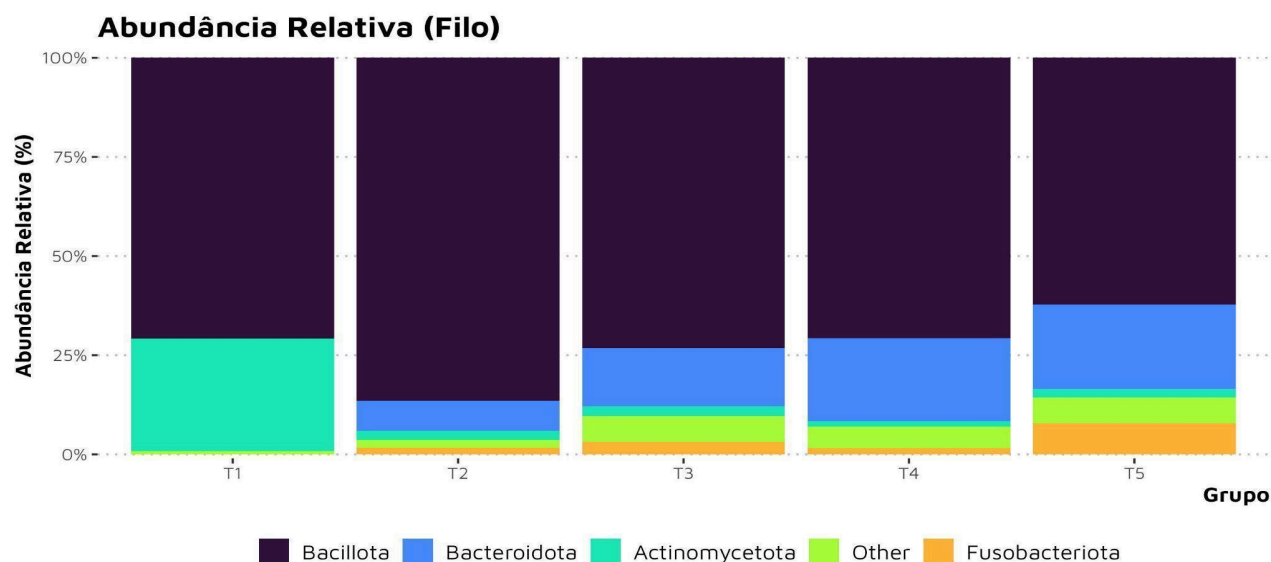


Figura 10. Abundância relativa dos principais filos bacterianos na microbiota intestinal de galinhas alimentadas com níveis crescentes de larva de mosca-soldado-negra. T1: Controle; T2-T5: Níveis de inclusão. "Other" representa a soma de táxons com abundância inferior a 1%. Observa-se a predominância do filo *Bacillota* e a modulação dos filos *Actinomycetota* e *Bacteroidota* em resposta à dieta.

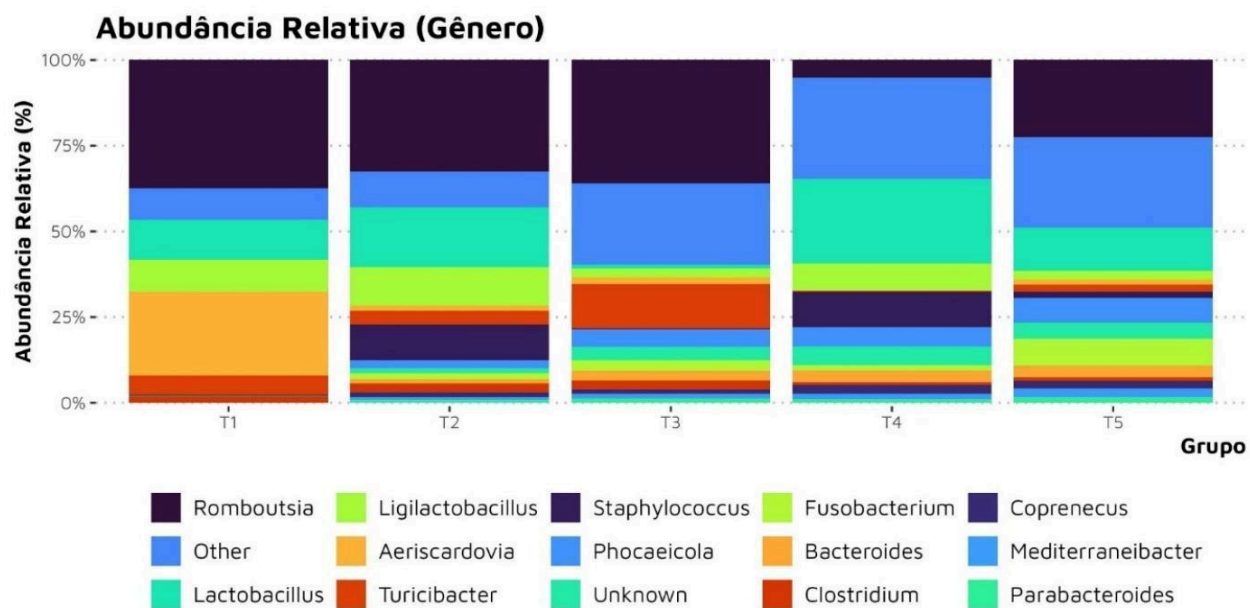


Figura 11. Abundância relativa dos principais gêneros bacterianos na microbiota intestinal de galinhas alimentadas com níveis crescentes de larva de mosca-soldado-negra. T1: Controle; T2-T5: Níveis de inclusão. Observa-se a modulação predominante dos gêneros *Romboutsia* e *Lactobacillus* resposta à dieta.

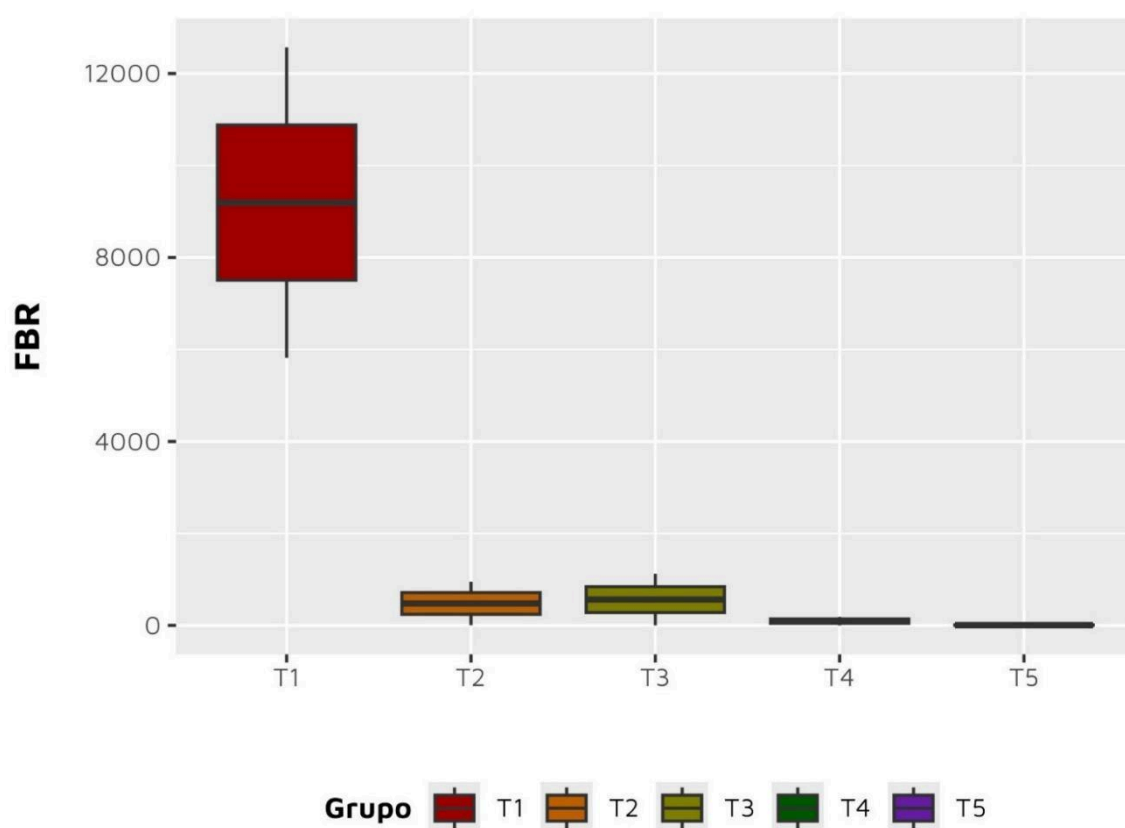


Figura 12. Razão *Bacillota/Bacteroidota* (FBR) na microbiota intestinal de galinhas submetidas a diferentes níveis de inclusão de larva de mosca-soldado-negra. T1: Controle; T2-T5: Níveis crescentes de inclusão. A redução drástica na razão FBR nos grupos suplementados reflete o aumento da abundância relativa de

Bacteroidota em resposta aos componentes da dieta experimental, indicando uma mudança profunda no perfil metabólico da comunidade microbiana.

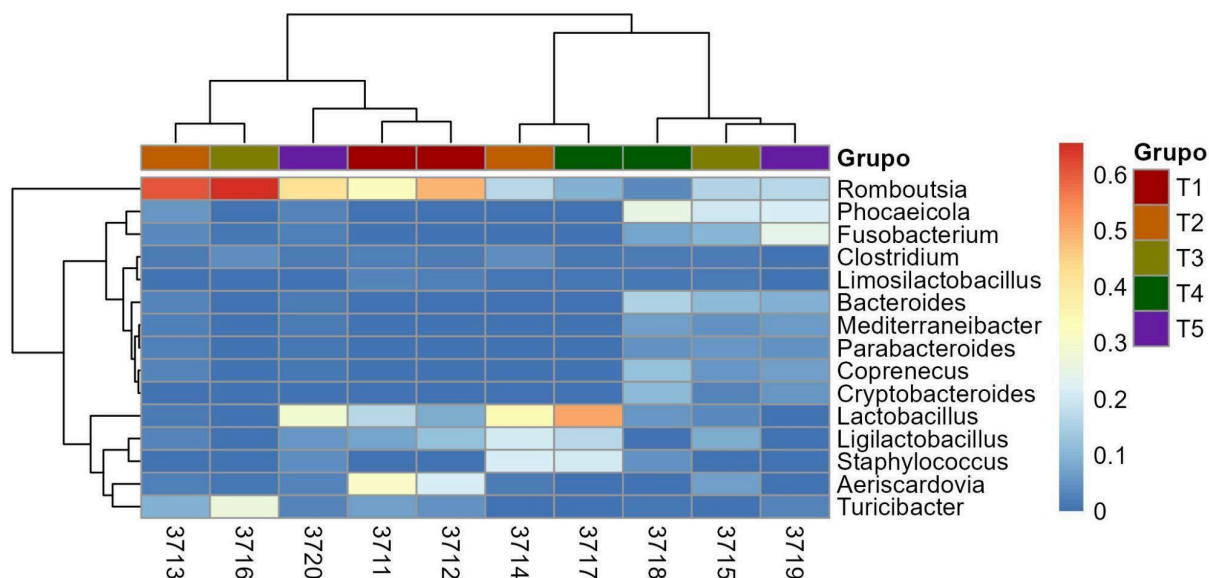


Figura 13. Mapa de calor (*Heatmap*) da abundância relativa dos gêneros bacterianos em função dos tratamentos. O agrupamento hierárquico (dendrogramas) organiza as amostras (colunas) e os táxons (linhas) por similaridade de perfil. A escala de cores representa a abundância normalizada, variando do azul (baixa) ao vermelho (alta). Observa-se a formação de clusters distintos, onde os grupos com maior inclusão de larva (T4 e T5) apresentam perfis taxonômicos divergentes do grupo controle (T1), marcados pela redução de *Romboutsia* e maior equabilidade de outros gêneros.

6 DISCUSSÃO

6.1 Composição e Perfil de Ácidos Graxos da Farinha de MSN

Para a validação desta variável, os resultados foram comparados aos trabalhos de Saidani et al. (2025), Yan et al. (2023), Attia et al. (2023) e Schiavone et al. (2017). A composição bromatológica da farinha integral de MSN apresentou-se rica e condizente com a literatura em todos os teores avaliados. O teor de matéria seca (MS) corroborou os achados de Yan et al. e Attia et al. Quanto à proteína bruta (PB), este estudo superou os teores de 32,60% e 39,40% relatados por Yan et al. e Schiavone et al., respectivamente, mas situou-se abaixo dos índices de Saidani et al. (47,20%) e Attia et al. (50%).

Embora a literatura indique variações de 35 a 60% para PB, há o risco de superestimação caso o nitrogênio não proteico da quitina não seja considerado (JANSSEN et al., 2017). Diferentemente de Saidani et al. e Attia et al., este trabalho utilizou o fator de conversão 5,60 (JANSSEN et al., 2017), o que justifica os valores inferiores de PB. Como os referidos autores não citaram o fator utilizado, presume-se a adoção do fator universal 6,25, o que pode ter inflado seus resultados. Ao adotar um fator de correção mais rigoroso, que desconta a fração nitrogenada associada à fibra (N-FDA), os dados aqui discutidos oferecem uma estimativa mais realista da proteína disponível para as poedeiras.

No que tange ao extrato etéreo (EE), os valores obtidos alinham-se à literatura, superando Saidani et al. (28,40%) e Attia et al. (22%), equiparando-se a Schiavone et al. e ficando abaixo apenas de Yan et al. Enquanto os estudos na Arábia Saudita e China (ATTIA et al. 2023; SAIDANI et al., 2023) apresentaram maior concentração proteica, os resultados brasileiros destacam-se pela maior densidade lipídica. Isso sugere que o substrato regional (resíduos de panificação e frutas) favoreceu a deposição de gordura larval, resultando em um ingrediente de perfil mais energético.

A similaridade no teor de fibra bruta entre este estudo e o de Yan et al. (6,20%) indica que as larvas foram colhidas em estágios de maturação semelhantes, indicando deposição de quitina estável, reforçando que a estrutura da *H. illucens* mantém estabilidade nutricional mesmo sob variações de substrato. Além disso, o teor de matéria mineral foi superior ao reportado pela maioria dos autores. Segundo Schiavone et al. (2017), a composição mineral de insetos é dependente da dieta larval; no contexto de poedeiras comerciais, esse aporte é estrategicamente favorável para a mobilização de minerais na formação da casca do ovo.

Quanto à EMA e EMAn, os valores ficaram abaixo dos reportados por Alafif et al. (2025) para farinha integral (5.382,9 a 5.865,2 kcal/kg de EMA; 5.340,9 a 5.818,2 kcal/kg de EMAn), mas assemelham-se aos de Chobanova et al. (2024), que obtiveram 4.350,9 kcal/kg de EMA e 4.159,7 kcal/kg de EMAn com farinha desengordurada. Notavelmente, a farinha deste experimento manteve valores superiores aos da farinha parcialmente desengordurada de Schiavone et al. (2017) (3.884,4 kcal/kg de EMA e 3.554,2 kcal/kg de EMAn), indicando alto potencial energético independentemente do nível de desengorduramento.

Em síntese, a farinha de *H. illucens* integral destaca-se pelo elevado teor proteico, perfil lipídico favorável e densidade energética, atributos que variam conforme o desenvolvimento e processamento (SURENDA, 2015, LIU et al., 2025). Tais características reforçam seu potencial como ingrediente alternativo proteico e energético para a nutrição animal.

6.2 Desempenho Produtivo

A redução observada no consumo de ração sugere um ajuste fisiológico das aves à maior densidade nutricional das dietas contendo farinha de MSN. Esse comportamento de modulação da ingestão voluntária indica que as aves satisfazem suas exigências energéticas e proteicas com um volume menor de alimento, o que corrobora os achados de Montálban (2024) e Makkar et al. (2014) sobre a regulação do consumo em função da concentração de nutrientes. Além do fator nutricional, a presença de quitina no exoesqueleto das larvas pode ter desempenhado um papel regulador no apetite; conforme sugerido por Borrelli et al. (2017), os ácidos graxos de cadeia curta resultantes da fermentação desse polissacarídeo atuam no hipotálamo como sinais de saciedade, o que explicaria a ingestão decrescente nos níveis mais elevados de inclusão, conforme também relatado por Khan et al. (2024).

Em contrapartida, o aumento no consumo de proteína reflete o perfil bromatológico superior das dietas formuladas com o ingrediente alternativo, que oferece um aporte otimizado de aminoácidos essenciais, como treonina e lisina, fundamentais para a manutenção da postura (NOVODWORSKI et al., 2023). O fato de o consumo de energia e a taxa de produção de ovos terem permanecido estáveis reforça que a MSN é um substituto eficiente, capaz de manter o metabolismo energético sem prejuízos zootécnicos, alinhando-se às observações de Yan et al. (2023) e Chen et al. (2025). Essa viabilidade é complementada pela visão de Zhao et al. (2022), que destacam a manutenção do desempenho produtivo mesmo com a substituição total de fontes convencionais como a farinha de peixe.

No que diz respeito à eficiência produtiva, a resposta observada na conversão alimentar indica que a utilização dos nutrientes foi otimizada, especialmente nos níveis mais altos de inclusão. Esse ganho de eficiência em dietas com insetos sugere que a MSN pode melhorar o aproveitamento metabólico da dieta, conforme discutido por Adam et al. (2024) e Biasato et al. (2019). Embora Marono et al. (2017) tenham observado melhoras em níveis intermediários, os resultados aqui discutidos reforçam que inclusões estratégicas não comprometem o desempenho (AL-QAZZAZ et al., 2016).

Quanto à massa do ovo, o comportamento verificado aponta para um benefício crescente até níveis moderados de inclusão, possivelmente atribuído ao perfil lipídico da farinha de larva. A presença de ácidos graxos, como o láurico e o palmítico, influencia diretamente a deposição de nutrientes na gema e o metabolismo lipídico das poedeiras (CULLERE et al., 2018). Entretanto, as divergências observadas em relação a estudos como o de Fikri et al. (2024), que não encontraram variações significativas, sugerem que essa resposta é sensível às condições experimentais e ao processamento do ingrediente. Recentemente, Lu et al. (2025) propuseram que níveis elevados de inclusão podem modificar a microbiota cecal, o que indiretamente influencia a utilização de nutrientes e as características físicas do ovo, justificando as variações observadas nos maiores níveis de substituição.

6.3 Qualidade Física e Química dos ovos

Quanto à qualidade física, a redução na altura da gema e do albúmen em níveis elevados de inclusão pode estar relacionada ao perfil proteico da MSN e à presença de quitina, que limitam a deposição de proteínas estruturais e reduzem a viscosidade do albúmen. Adicionalmente, o excesso de proteínas e lipídios na dieta pode afetar a consistência interna do ovo. Na mesma linha, Schiavone et al. (2017) observaram que níveis muito altos de farinha de insetos comprometem a firmeza do albúmen e a estabilidade da gema. Contudo, vale ressaltar que os valores obtidos neste estudo situam-se dentro da faixa de variação da literatura (UDEH; AKPORHUARHO; MATTHEW, 2024), sugerindo que, embora tenha ocorrido um decréscimo em níveis elevados, os índices permanecem aceitáveis para a indústria.

Resultados consistentes foram relatados por Bovera et al. (2016) e Aslam (2023), que também identificaram alterações na qualidade interna sem impacto negativo no desempenho produtivo. Enquanto Secci et al. (2018) verificaram redução da altura do albúmen em altas

inclusões, Biasato et al. (2018) destacaram melhorias na resistência da casca. Em conjunto, esses achados corroboram que a MSN promove uma compensação metabólica, resultando em ganhos em certos atributos e perdas em outros, sem inviabilizar a comercialização dos ovos. Diversos autores confirmam os efeitos positivos do ingrediente sobre a casca. Maurer et al. (2016) relataram aumento da espessura em poedeiras, efeito também observado por Beski et al. (2015) e Suparman e Nahariah et al. (2020) em ovos de codorna. Tal fenômeno associa-se à capacidade da quitina de absorver minerais como fósforo e cálcio, essenciais à calcificação (BESKI ET AL., 2015; MAZZUCO; BERTECHINI, 2014). Além disso, a própria BSFL apresenta teores consideráveis de fósforo (0,6–0,63%) e cálcio (4,18–5,1%), o que contribui para esse fortalecimento (FIKRI, 2024).

Quanto à Unidade Haugh, os valores variaram de 90,20 a 99,04 entre os níveis de 0 e 4% de inclusão, atendendo aos padrões do USDA (2000) para qualidade AA. A melhora observada em níveis intermediários pode estar associada ao maior aporte de proteínas no albúmen, conferindo-lhe superior viscosidade (DABBOU et al., 2020). Diferentemente de trabalhos anteriores (Secci et al., 2018; Bejaei; Cheng, 2020), a coloração da gema não apresentou alterações, possivelmente devido ao substrato utilizado na criação das larvas, resíduos de panificação, naturalmente pobres em carotenoides, e ao nível de inclusão. Nos estudos citados, o aumento da pigmentação foi atribuído à interação entre carotenoides e quitina (YUNITASARI et al., 2023). Por fim, as variáveis de percentual e diâmetro de gema e albúmen, além do pH, não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$), indicando que o ingrediente preserva características essenciais para a aceitação comercial.

Essas características físicas são sustentadas pelas alterações observadas na composição centesimal dos ovos. A resposta linear positiva no teor proteico sugere que a farinha de MSN contribui diretamente para a matriz do ovo, devido ao seu perfil aminoacídico robusto (BELHADJ SLIMEN et al., 2023). Essa relação reforça o potencial do ingrediente como fonte proteica eficaz para manter ou incrementar o aporte de nitrogênio no produto final. Paralelamente, a elevação dos lipídios acompanha a densidade energética das larvas, embora a literatura indique que a natureza mais saturada dessa gordura possa limitar o acúmulo excessivo no ovo em inclusões muito altas (ZAWISKA et al., 2023).

Estudos prévios corroboram essa tendência de transferência de nutrientes, destacando o incremento de ácidos saturados como o láurico (ZAWISKA, 2023; SECCI et al., 2018). Nesse contexto, a estabilidade na umidade reflete o equilíbrio entre as frações de lipídios e água, enquanto o decréscimo nos carboidratos decorre do deslocamento proporcional causado pelo aumento de proteínas e lipídios. Quanto à fração mineral, a ausência de alterações nas

cinzas sugere que a inclusão não modificou o aporte mineral total, em conformidade com Romero et al. (2024). Em conjunto, essas variações reafirmam a elevada densidade nutricional da farinha de *H. illucens*, que modula a composição final do ovo sem comprometer sua integridade nutricional (MAKKAR et al., 2014; CULLERE et al., 2019).

6.4 Estabilidade Oxidativa

A estabilidade oxidativa das gemas é um fator crítico para a manutenção da qualidade nutricional e sensorial dos ovos, uma vez que todos os componentes celulares são suscetíveis à ação das espécies reativas de oxigênio (EROs). O processo de peroxidação lipídica, caracterizado por uma cascata bioquímica iniciada pela reação de radicais livres com ácidos graxos insaturados, culmina na formação de hidroperóxidos e aldeídos, como o malondialdeído (MDA), que comprometem a integridade celular (BARBOSA et al., 2010; NONATO et al., 2013). Ao longo de seu ciclo de vida, as aves enfrentam diversos fatores de estresse intrínsecos e extrínsecos que podem elevar a produção de EROs acima dos níveis fisiológicos, intensificando danos estruturais e prejudicando o desempenho produtivo (YOUNG et al., 2003).

Nesse contexto, os resultados observados para a quantificação de peróxidos totais sugerem que os níveis de inclusão de 3% e 4% de MSN exercem um efeito protetor proeminente, reduzindo os produtos primários da oxidação em comparação ao grupo controle. Esse benefício antioxidativo pode estar associado ao perfil lipídico da farinha de larva, que aporta ácidos graxos saturados menos suscetíveis à peroxidação, além de micronutrientes com atividade redutora (LIU et al., 2021; LOKAEWMANEE et al., 2023). A eficácia desses níveis moderados reforça as evidências de que a composição bioativa da larva atua de maneira eficaz na mitigação das reações iniciais de oxidação na gema, corroborando meta-análises recentes que destacam os efeitos benéficos da LMSN sobre biomarcadores de estresse oxidativo (FIKRI et al., 2024; YUNITASARI et al., 2023).

Quanto à dosagem de malondialdeído (TBARS), a ausência de diferenças significativas entre os tratamentos e o grupo controle indica que a inclusão da farinha não compromete a estabilidade oxidativa secundária dos ovos. Contudo, o comportamento diferencial observado no nível de 1%, que apresentou menor formação de MDA em relação aos níveis intermediários, sugere a ocorrência de um efeito bifásico. Esse fenômeno, comum em compostos bioativos, indica que a proteção antioxidante pode ser otimizada em doses específicas, mas alterada em concentrações mais altas que modifiquem a fluidez das

membranas celulares. A inclusão de larvas integra frações de óleo e quitina que podem modular a resposta do organismo; a quitina, especificamente, tem sido apontada como um agente capaz de influenciar a resposta antioxidante sistêmica (ZAWISKA et al., 2023; LEE et al., 2025).

A interação entre o perfil lipídico da dieta e a presença de compostos antioxidantes naturais é determinante para a conservação de parâmetros sensoriais como cor e odor (ALTMANN et al., 2020). Os resultados reforçam a importância estratégica de identificar níveis ótimos de inclusão para maximizar a proteção oxidativa, especialmente em poedeiras de idade avançada, cuja suscetibilidade ao estresse oxidativo é naturalmente elevada (SURAI et al., 2019; POMPEU et al., 2018). Assim, sugere-se que a utilização da farinha consolida-se não apenas como alternativa proteica, mas como um ingrediente capaz de preservar a integridade oxidativa dos ovos em condições de produção comercial.

6.5 Análise Sensorial

O aroma (ARO) dos ovos permaneceu inalterado em todos os tratamentos, confirmando que a inclusão da MSN não transfere odores indesejáveis ao produto final. Este resultado corrobora os achados de Bejaei e Cheng (2020), Dalle Zotte et al. (2019) e Al-Qazzaz et al. (2016), que também não observaram alterações nesse atributo.

Embora a textura (TEX) e o sabor (SAB) tenham apresentado uma redução linear, as médias mantiveram-se em níveis satisfatórios na escala hedônica, garantindo a viabilidade comercial do ingrediente. Ao comparar com os resultados de Al-Qazzaz et al. (2016), as notas situam-se na mesma faixa, entre 6 e 7 numa escala de 1 a 10, o que demonstra uma aceitação consistente por parte dos provadores. Essa estabilidade sensorial também foi verificada por Montalbán et al. (2026) que, ao utilizar uma escala de 1 a 5, obteve médias em torno de 3 para ambos os grupos (controle e tratado). Quando transpostas para a escala de 1 a 9 utilizada neste estudo, essas notas equivalem a 6,5 a 7, confirmando a ausência de efeitos deletérios significativos sobre a palatabilidade.

No que diz respeito à aparência (APA) e coloração (COR), os resultados observados divergem dos relatados por Al-Qazzaz et al. (2016), que observaram gemas significativamente mais escuras e brilhantes, além de uma melhor aparência geral nos grupos tratados. No presente estudo, o processo de cozimento pode ter concentrado a cor no nível de 1% de inclusão, com redução subsequente nos demais níveis. Este fenômeno é válido para citar, uma vez que as avaliações de qualidade física (gema crua) não detectaram diferenças

estatísticas na cor. Tal comportamento assemelha-se às observações de Bejaei e Cheng (2020), que também identificaram variações na cor após o cozimento sem uma causa aparente, mesmo na ausência de efeito significativo na gema *in natura*.

Ressalta-se que a avaliação sensorial é fundamental ao introduzir novos ingredientes na dieta das aves, pois tais inovações podem modificar a composição química e as propriedades organolépticas do produto, influenciando diretamente a aceitação do consumidor e o potencial de mercado. No entanto, estudos que avaliam estas variáveis ainda são escassos, apesar do crescente interesse por ingredientes sustentáveis (MONTALBÁN et al., 2026). Este cenário enfatiza a relevância do presente estudo ao fornecer novos *insights* sobre esta lacuna na literatura científica.

6.6 Parâmetros Hematológicos e Bioquímicos

6.6.1 Série Vermelha

O aumento linear observado na contagem de eritrócitos (RBC) e na concentração de hemoglobina (HGB) com a inclusão da farinha de MSN sugere que o ingrediente atua positivamente na hematopoiese das poedeiras. Esse fenômeno encontra respaldo nos achados de Adegbenro et al. (2024), que atribuem tal incremento a um aporte nutricional benéfico capaz de modular a atividade da medula óssea. De maneira análoga, Majeed et al. (2024) relataram respostas positivas na série vermelha, sugerindo que a inclusão de MSN favorece os níveis de hemoglobina e hematócrito, mesmo quando a contagem celular total não apresenta variações drásticas.

Essa melhora na competência hematológica, entretanto, não é unânime na literatura. Tykalowski et al. (2023) e Marono et al. (2017) não identificaram efeitos significativos, ou observaram tendências discretas de redução em parâmetros como VCM e RBC. Tais divergências podem ser explicadas pelo estado fisiológico das aves. Diferente de Tykalowski e Marono et al. (2017), que avaliaram animais jovens ou no pico de postura, este estudo utilizou poedeiras em segundo ciclo de produção. Nessa fase de maior desgaste metabólico, as propriedades funcionais da farinha de inseto parecem exercer um papel mais pronunciado na regeneração eritrocitária e na manutenção da homeostase.

A manutenção da hemoglobina dentro dos limites fisiológicos corrobora as proposições de Sjöfjan et al. (2025) sobre a bioatividade de compostos presentes na larva, como o ácido láurico e peptídeos antimicrobianos. Esses componentes auxiliam na integridade metabólica e reduzem desafios imunológicos, permitindo que a ave direcione

nutrientes de forma mais eficiente para a síntese sanguínea. Adicionalmente, a quitina pode atuar na melhoria do estado fisiológico geral, favorecendo a relação albumina/globulina (MARONO et al., 2017).

O efeito observado sobre o índice CHCM é particularmente relevante, pois indica que a suplementação não apenas estimula a produção numérica de hemácias, mas otimiza a saturação de hemoglobina por célula, aumentando a eficiência no transporte de oxigênio. Essa otimização da eritropoiese reforça as teorias de Sjöfjan et al. (2025) e Attia et al. (2023) sobre o papel dos ácidos graxos de cadeia média.

Por fim, a estabilidade dos índices VCM e HCM demonstra que a inclusão da farinha de larvas preserva a morfologia e o tamanho das hemácias, indicando que o incremento na série vermelha ocorra sem induzir alterações patológicas ou quadros anêmicos (MARONO et al., 2017; ATTIA et al., 2023).

6.6.2 Série Branca

Apesar da elevação da relação heterófilo/linfócito ser frequentemente associada ao estresse em aves, a ausência de sinais clínicos no presente estudo sugere uma interpretação alternativa, baseada no conceito de imunomodulação funcional. Nesse contexto, a quitina presente na farinha, pode ter atuado como um padrão molecular associado a patógenos (PAMP), sendo reconhecida por receptores do sistema imune na mucosa intestinal (GALT). Essa interação desencadeia a ativação da imunidade inata, justificando o maior recrutamento de heterófilos, considerados a primeira linha de defesa, bem como a participação de monócitos.

Tykalowski et al. (2023) relataram aumento nos níveis de linfócitos (de 53,60% para 57,40% em níveis intermediários de inclusão), além de tendência de elevação de heterófilos, eosinófilos, basófilos e monócitos. Por sua vez, Marono et al. (2017) observaram estabilidade nos parâmetros leucocitários, com valores médios de 35% para heterófilos, 47,3% para linfócitos, 2,5% para monócitos, 10,5% para eosinófilos e 1% para basófilos.

Essa variabilidade entre estudos pode estar relacionada à idade e ao estado fisiológico das aves. Conforme descrito por Lee et al. (2008), a resposta imune pode ser modulada por compostos bioativos, o que pode ser o caso de peptídeos antimicrobianos e do ácido láurico. A redistribuição leucocitária observada pode representar uma fase inicial de ativação imunológica, funcionando como estímulo para respostas adaptativas subsequentes, como a produção de anticorpos.

A divergência em relação aos achados de Marono et al. (2017), que não observaram alterações em aves jovens, reforça a relevância dos resultados obtidos. Nessa fase, a possível ocorrência de imunossenescência pode tornar os animais mais responsivos aos compostos bioativos da farinha de inseto, promovendo uma vigilância imunológica mais ativa e potencialmente benéfica à longevidade produtiva.

6.6.3 Perfil Bioquímico

Foi observada elevação linear nos níveis de glicose e triglicerídeos, divergindo dos padrões de estabilidade relatados em frangos por Kim et al. (2021) e Dabbou et al. (2021). No estudo relatado por Kim, a proteína total não apresentou efeito significativo, enquanto a albumina apresentou redução no nível mais elevado de inclusão, com maior valor observado no nível intermediário (75%). A globulina não apresentou diferença significativa, e o colesterol demonstrou tendência de aumento, embora sem significância estatística. Os níveis de glicose variaram de 155 a 176 mg/dL, sem diferença significativa entre os tratamentos. O ácido úrico apresentou tendência de aumento (de 3,51 para 4,19 mg/dL), também sem significância estatística. Esses achados diferiram dos encontrados no presente estudo.

O aumento nos triglicerídeos circulantes é consistente com os achados de Sjöfjan et al. (2025) e pode indicar maior disponibilidade de precursores lipídicos para o desenvolvimento folicular, contribuindo para a manutenção da produção e qualidade dos ovos no segundo ciclo.

Resultados de Tykalowski et al. (2023) indicaram ausência de efeito significativo para proteína total (variando de 2,60 a 2,64 g/dL), mas aumento progressivo no ácido úrico com a elevação dos níveis de inclusão. Marono et al. (2017) observaram efeitos significativos sobre globulina, relação albumina/globulina, colesterol e triglicerídeos, com proteína total variando de 5,18 a 5,31 g/dL. No estudo de Marono et al., os níveis de triglicerídeos foram menores com a inclusão de farinha de inseto (1296 mg/dL) em comparação à dieta com soja (1942 mg/dL). O ácido úrico não apresentou efeito significativo. Já Attia et al. (2023) não observaram alterações significativas em lipídeos totais, triglicerídeos, colesterol e parâmetros de função renal.

No que se refere ao metabolismo proteico, o comportamento da albumina sugere adequada síntese hepática e bom estado nutricional das aves. A albumina é reconhecida como um importante indicador da funcionalidade hepática e da qualidade proteica da dieta,

indicando que a proteína da LMSN apresenta valor biológico satisfatório (TYKALOWSKI et al., 2017).

O aumento nos níveis de ácido úrico pode refletir maior metabolismo de nitrogênio, sendo um achado esperado em dietas com maior densidade proteica. Esse comportamento não indica efeito deletério, uma vez que os valores permaneceram dentro da faixa fisiológica da literatura. Em conjunto, esses resultados indicam que a inclusão de LMSN favorece o metabolismo proteico sem comprometer a função renal, reforçando seu potencial como ingrediente alternativo em dietas para poedeiras.

De forma integrada, os parâmetros hematológicos, leucocitários e bioquímicos indicam que a inclusão da farinha de larvas de mosca-soldado-negra promove uma modulação fisiológica sistêmica em poedeiras de segundo ciclo. O aumento na série vermelha sugere melhora na capacidade de transporte de oxigênio e eficiência metabólica, enquanto as alterações na série branca indicam ativação da imunidade inata, possivelmente mediada por compostos bioativos do ingrediente. Paralelamente, o perfil bioquímico evidencia ajustes no metabolismo energético e proteico, compatíveis com a maior exigência fisiológica dessa fase produtiva.

6.7 Microbioma Cecal

A caracterização da microbiota cecal foi conduzida por meio da avaliação da diversidade alfa, da estrutura da comunidade microbiana (β -diversidade) e do perfil taxonômico, permitindo uma análise integrada da composição, organização e dinâmica funcional do ecossistema intestinal.

6.7.1 Diversidade e Riqueza do Microbioma Cecal

Especificamente, o nível de 3% promoveu maior uniformidade na distribuição das espécies, enquanto o nível de 4% manteve os maiores valores de riqueza. Esse incremento na complexidade do ecossistema intestinal é particularmente relevante em poedeiras de segundo ciclo, pois sugere que a inclusão da farinha contribui para atenuar a tendência natural de simplificação da microbiota associada ao envelhecimento e ao uso prolongado de dietas convencionais.

O aumento da riqueza e diversidade observado neste estudo está em consonância com os achados de He et al. (2021), Ozkan et al. (2024) e Yan et al. (2023), que relataram que a

inclusão de farinha de inseto pode exercer efeito prebiótico, favorecendo a formação de um ambiente intestinal capaz de sustentar comunidades microbianas mais complexas e funcionalmente diversificadas. Diferentemente de Yan et al. (2024), que identificaram o nível de 2% como ponto ótimo, os resultados aqui obtidos indicam que níveis superiores (2, 3% e 4%) permanecem eficazes, especialmente em aves mais velhas, possivelmente em função de diferenças fisiológicas associadas à idade.

Em contraste com os resultados de De Souza Vilela (2023), que observaram efeitos limitados na diversidade em frangos de corte, os dados obtidos em poedeiras evidenciam uma modulação mais expressiva do microbioma. Essa divergência pode estar relacionada à maturidade do trato gastrointestinal, uma vez que aves adultas apresentam um ceco plenamente desenvolvido e maior tempo de retenção da digesta, favorecendo processos fermentativos mais intensos e uma colonização microbiana mais estável.

A maior equitabilidade observada nos grupos suplementados sugere ainda um efeito regulador da farinha de inseto sobre a estrutura da comunidade microbiana. Compostos como a quitina e os peptídeos antimicrobianos presentes na larva podem exercer pressão seletiva, reduzindo a dominância de grupos específicos e permitindo uma ocupação mais equilibrada dos nichos ecológicos por diferentes microrganismos, conforme discutido por Attia et al. (2023).

Apesar da tendência geral de aumento da diversidade, a literatura demonstra que os efeitos da inclusão de *Hermetia illucens* não são uniformes e dependem de múltiplos fatores, incluindo o nível de inclusão, a forma do ingrediente (farinha integral, desengordurada ou gordura) e a categoria animal. Nesse contexto, Schafer et al. (2023), ao avaliarem a inclusão de gordura de larva (5%), não observaram alterações na diversidade alfa, sugerindo um efeito mais neutro sobre a microbiota. Por outro lado, Beller et al. (2024), utilizando farinha parcialmente desengordurada, verificaram aumento significativo da riqueza microbiana. Resultados semelhantes foram relatados por He et al. (2021) e Yan et al. (2023), que observaram melhorias nos índices de diversidade, especialmente em níveis de inclusão entre 2% e 3%.

No que se refere à β -diversidade, a análise de coordenadas principais evidenciou separação entre os grupos experimentais, indicando que a inclusão da farinha de inseto promoveu alterações na estrutura da comunidade microbiana. Esse padrão reforça o potencial do ingrediente em modular a microbiota intestinal de forma progressiva, sendo consistente com os resultados observados neste estudo, nos quais os níveis de 3% e 4% promoveram maior diferenciação entre os tratamentos.

De forma geral, os resultados confirmam que a inclusão de *Hermetia illucens* atua como um potencial modulador da diversidade microbiana, com efeitos dependentes da dose, da forma de processamento do ingrediente e das características fisiológicas das aves.

6.7.2 Perfil Taxonômico e Abundância Relativa

A análise do perfil taxonômico revelou mudanças importantes na composição da microbiota intestinal em resposta à inclusão da farinha de *Hermetia illucens*, refletindo uma reorganização funcional da comunidade microbiana.

Em nível de filo, observou-se predominância de Bacillota (firmicutes) em todos os grupos experimentais. No entanto, verificou-se aumento progressivo de Bacteroidota nos níveis de inclusão entre 2, 3 e 4%, acompanhado por redução relativa de Actinomycetota. Essa alteração na composição taxonômica resultou em diminuição expressiva da razão Bacillota/Bacteroidota (F/B) nos grupos suplementados.

Esse padrão contrasta com os achados de Yan et al. (2023) e Beller et al. (2024), que relataram aumento da razão F/B associado à elevação de Bacillota e redução de Bacteroidota. Essas divergências podem ser atribuídas à composição das dietas experimentais e ao tipo de ingrediente utilizado. No estudo de Yan et al. (2023), por exemplo, o uso de farelo de trigo na dieta basal e o substrato de criação das larvas (esterco de galinha) podem ter influenciado a composição química da farinha, modulando de forma distinta a microbiota intestinal.

No presente estudo, o aumento de Bacteroidota é biologicamente consistente, uma vez que esse filo está associado à degradação de polissacarídeos complexos e à produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), especialmente propionato. Considerando que a farinha de inseto contém quitina, um polissacarídeo estrutural com características de fibra, é plausível que sua inclusão tenha favorecido a expansão de microrganismos especializados na fermentação desses substratos, indicando um papel funcional da dieta na modulação metabólica do microbioma.

Essa interpretação é reforçada pelo aumento de gêneros como *Bacteroides* e *Phocaeicola*, associados à degradação de carboidratos complexos e à produção de AGCC, conforme descrito por Ozkan et al. (2024). O aparecimento mais evidente de *Phocaeicola* nos níveis mais elevados de inclusão sugere adaptação da microbiota à presença de quitina, com possível incremento na capacidade de degradação de compostos estruturais da dieta.

A redução da razão F/B observada nos grupos tratados indica uma mudança na dinâmica de obtenção de energia pela microbiota intestinal. Enquanto valores elevados dessa

razão, como observado no grupo controle, estão frequentemente associados à maior eficiência na extração de energia de dietas ricas em amido, sua redução sugere maior participação de microrganismos especializados na fermentação de fibras complexas. Esse processo resulta na produção de AGCC, como acetato, propionato e butirato, sendo este último particularmente importante como fonte energética para enterócitos e na manutenção da integridade da mucosa intestinal (ATTIA et al., 2023; BORRELLI et al., 2017).

Em nível de gênero, observou-se redistribuição da comunidade microbiana, com maior equitabilidade e diversidade nos grupos suplementados, além da formação de agrupamentos distintos, conforme evidenciado pelo heatmap. Esses resultados corroboram os achados da análise de β -diversidade, indicando reorganização estrutural consistente da microbiota.

Destaca-se também o aumento do gênero *Lactobacillus* nos grupos tratados, o que possui elevada relevância zootécnica, uma vez que esse grupo está associado à exclusão competitiva de patógenos e à redução do pH intestinal, contribuindo para a estabilidade do ambiente cecal. Por outro lado, observou-se redução do gênero *Romboutsia* nos níveis mais elevados de inclusão, comportamento que difere de alguns estudos da literatura, como Yan et al. (2023). Essa divergência pode refletir diferenças na composição da dieta ou na interação entre os microrganismos presentes, indicando que a modulação promovida pela farinha de inseto envolve não apenas o estímulo de grupos específicos, mas uma reestruturação mais ampla da comunidade.

De forma geral, os resultados indicam que a inclusão de farinha de *Hermetia illucens* pode ter atuado como um ingrediente funcional capaz de remodelar a microbiota cecal, promovendo aumento da diversidade, reorganização estrutural da comunidade microbiana e alterações no eixo metabólico Bacillota/Bacteroidota, com potenciais implicações positivas para a fermentação intestinal e a saúde das aves.

7 CONCLUSÃO

A farinha de MSN utilizada neste estudo apresentou elevado valor nutricional, mesmo sob condições tropicais. Esse resultado reforça a viabilidade do ingrediente como alternativa nutricional em sistemas de produção na região amazônica e fornece base para os efeitos observados sobre o desempenho produtivo e a qualidade dos ovos.

Além do mais, a inclusão da farinha na dieta de poedeiras promoveu melhorias significativas na eficiência produtiva. No que se refere à qualidade dos ovos, observou-se aumento linear no peso dos ovos a partir do nível de 3% de inclusão, enquanto a espessura da casca e o teor proteico do ovo atingiram valores máximos de 85 μm e 10,77%, respectivamente, no nível de 4%. Adicionalmente, não foram observados efeitos negativos sobre a estabilidade oxidativa das gemas, e as características sensoriais mantiveram-se dentro dos padrões descritos na literatura, apesar de discretas reduções em textura e sabor, sem impacto sobre o odor.

No perfil hematológico, verificou-se aumento na contagem de eritrócitos, associado a alterações na série branca, caracterizadas pelo aumento de heterófilos e redução de linfócitos. Tais alterações indicam possíveis respostas fisiológicas adaptativas, embora ainda demandem investigações adicionais, especialmente em estudos de maior duração, para uma avaliação conclusiva sobre possíveis implicações imunológicas. Em relação à bioquímica plasmática, os aumentos lineares nos níveis de glicose, triglicerídeos, albumina, proteínas totais e ácido úrico sugerem intensificação da atividade metabólica das aves em resposta à inclusão do ingrediente.

A análise do microbioma cecal revelou que a farinha de inseto modulou significativamente a comunidade microbiana, promovendo aumento da riqueza bacteriana, reorganização estrutural da microbiota e formação de agrupamentos distintos entre os tratamentos. Destaca-se a modulação dos filos Actinomycetota e Bacteroidota, bem como a predominância de alteração dos gêneros *Romboutsia* e *Lactobacillus*. A redução acentuada na razão Bacilota/Bacteroidota, reforça o impacto do ingrediente sobre o ecossistema intestinal.

De forma geral, a MSN demonstrou elevado potencial como ingrediente alternativo na alimentação de poedeiras, contribuindo para melhorias produtivas, qualidade dos ovos e modulação da microbiota intestinal, sem efeitos adversos evidentes nos parâmetros avaliados. No entanto, recomenda-se a realização de estudos adicionais, especialmente em diferentes fases do ciclo produtivo e em condições de longo prazo, a fim de consolidar a compreensão

dos seus efeitos e viabilizar sua aplicação de forma segura e eficiente na avicultura de postura.

8 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório Anual. São Paulo. 2024. Disponível em: <https://abpa-br.org/>. Acesso em: 02 mar. 2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório Anual. São Paulo. 2024. Disponível em: <https://abpa-br.org/>. Acesso em: 01 mar. 2026.
- ADEGBENRO, Muyiwa; AKINSANMI, Seyi S.; OYETUNDE, Philip O. Haematology and serum biochemical indices of broiler chickens fed black soldier fly larvae meal-based diets. **Journal of Agriculture, Forestry & Environment**, v. 8, n. 1, p. 123-130, 2024.
- ALAFIF, M. S., HOFFMAN, L. C., COZZOLINO, D., ABDOLLAHI, M. R., ROURA, E., NGUYEN, A. D., & SOUMEH, E. A. (2025). Assessment of apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) in broiler chickens. *Poultry Science*, 104(10), 105506. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105506.
- AL-QAZAZ, M. F. A.; ISMAIL, D.; AKIT, H.; IDRIS, L. H. Effect of using insect larvae meal as a complete protein source on quality and productivity characteristics of laying hens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 518-523, 2016.
- ALVES, Lorena Cristina. **Fatores que interferem na produtividade dos ovos de galinhas poedeiras**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/8857>. Acesso em: 18 abr. 2026.
- AOAC. **Official methods of analysis**. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- ARAÚJO, Luenny Carla Silva dos Santos Carvalho de; CARDOSO FILHO, Francisco das Chagas; EVANGELISTA, Rodrigo Augusto Escorel; MARQUES DE SOUSA, Francisco Tiago; LOPES DA SILVA, Francisco Wilame; BEZERRA, Hildernande Lucas. Ovo da produção ao consumo: qualidade, segurança e perspectivas da avicultura no Brasil. **Pubvet**, [S. l.], v. 19, n. 12, p. e1872, 2025. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/4351>. Acesso em: 18 abr. 2026.
- ASLAM, M. R.; KIEROŃCZYK, B.; RAWSKI, M. et al. Insect fat influences broiler performance, meat quality, and cecal microbiota similarly to vegetable oils and not animal fats. **Scientific Reports**, v. 15, 18086, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-02820-3.
- ATTIA, Youssef A.; BOVERA, Fulvia; ASIRY, Khalid A.; ALQURASHI, Sadagah; ALREFAEI, Mohammed S. Fish and Black Soldier Fly Meals as Partial Replacements for Soybean Meal Can Affect Sustainability of Productive Performance, Blood Constituents, Gut Microbiota, and Nutrient Excretion of Broiler Chickens. **Animals**, v. 13, n. 17, 2759, 2023.
- BATALHA, O.S.; ALFAIA, S.S.; CRUZ, F.G.G.; JESUS, R.S.; RUFINO, J.P.F.; GUIMARÃES, C.C. Análise econômica da farinha proveniente da silagem ácida de resíduos de pirarucu em dietas para poedeiras comerciais leves. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 363-375, 2019. DOI:10.17765/2176-9168.2019v12n2p363-375
- BATISTA FILHO, Antonio; HOJO, Harumi; REBOUÇAS, Márcia Maria; COSTA, Valmir Antonio; TOKITAKA, Janaina. **Planeta inseto**. São Paulo: Instituto Biológico, 2014.

BEJAEI, M.; CHENG, K. M. The effect of including full-fat dried black soldier fly larvae in laying hen diet on egg quality and sensory characteristics. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 6, n. 3, p. 305-314, 2020.

BELHADJ SLIMEN, I.; YEROU, H.; BEN LARBI, M.; M'HAMDI, N.; NAJAR, T. Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: a review. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, 1200031, 2023. DOI: 10.3389/fvets.2023.1200031.

BELLER, S.; GRUNDMANN, S. M.; PIES, K.; MOST, E.; SCHUCHARDT, S.; SEEL, W.; SIMON, M. C.; EDER, K.; RINGSEIS, R. Effect of replacing soybean meal with *Hermetia illucens* meal on cecal microbiota, liver transcriptome, and plasma metabolome of broilers. **Poultry Science**, v. 103, n. 5, 103635, 2024. Acesso em: 17 abr. 2026.

BIASATO, Ilaria; FERROCINO, Ilario; COLOMBINO, Elena; GAI, Francesco; SCHIAVONE, Achille; COCOLIN, Luca; GASCO, Laura. Effects of dietary *Hermetia illucens* meal inclusion on cecal microbiota and small intestinal mucin dynamics and infiltration with immune cells of weaned piglets. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 11, n. 1, 64, 2020.

BORELI, Fernanda Paes de Oliveira. **Efeito do estresse térmico sobre o desempenho e parâmetros fisiológicos de galinhas poedeiras**. 2024. Monografia (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2024.

BORRELLI, L.; CORETTI, L.; DIPINETO, L.; BOVERA, F.; MENNA, F.; CHIARIOTTI, L.; NIZZA, A.; LEMBO, F.; FIORETTI, A. Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 16269, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-16560-6.

BOVERA, F.; LOPONTE, R.; PERO, M. E.; CUTRIGNELLI, M. I.; CALABRÒ, S.; MUSCO, N.; VASSALOTTI, G.; PANETTIERI, V.; LOMBARDI, P.; PICCOLO, G.; DI MEO, C.; SIDDI, G.; FLIEGEROVA, K.; MONIELLO, G. Laying performance, blood profiles, nutrient digestibility and inner organs traits of hens fed an insect meal from *Hermetia illucens* larvae. **Research in Veterinary Science**, v. 120, p. 86–93, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 110, de 24 de novembro de 2020**. [Estabelece a lista de matérias-primas aprovadas como ingredientes, aditivos e veículos para alimentação animal]. Brasília, DF: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios>. Acesso em: 9 nov.. 2025.

BRELAZ, K.C.B.T.R.; CRUZ, F.G.G.; RUFINO, J.P.F.; BRASIL, R.J.M.; SILVA, A.F. Viabilidade econômica do óleo do resíduo de pescado na alimentação de poedeiras comerciais leves. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 27-35, 2021. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n1e007618>

BRUNETTI, L.; LEUCI, R.; COLONNA, M.A.; CARRIERI, R.; CELENTANO, F.E.; BOZZO, G.; LOIODICE, F.; SELVAGGI, M.; TUFARELLI, V.; PIEMONTESE, L.(2022). Food Industry Byproducts as Starting Material for Innovative, Green Feed Formulation: A Sustainable Alternative for Poultry Feeding. **Molecules**, v. 27, n. 15, p.1-22, 2022. DOI:10.3390/27154735.

CARUSO, D.; DEVIC, E.; SUBAMIA, I. W.; TALAMOND, P.; BARAS, E. **Technical handbook of domestication and production of Diptera Black Soldier Fly (BSF), *Hermetia illucens*, Stratiomyidae**. [S. l.]: [s. n.], 2014. Acesso em: 17 abr. 2026.

CHEN, Xiaoyong; JIN, Junjie; HOU, Feng Xiang; SONG, Bin; LI, Ziwei; ZHAO, Yan. 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, 100292, 2022.

CHOBANOVA, S.; KARKELANOV, N.; MANSBRIDGE, S. C.; WHITING, I. M.; SIMIC, A.; ROSE, S. P.; PIRGOZLIEV, V. R. Defatted Black Soldier Fly Larvae Meal as an Alternative to Soybean Meal for Broiler Chickens. **Poultry**, v. 2, n. 3, p. 430-441, 2023.

COLOMBINO, E.; BIASATO, I.; FERROCINO, I.; BELLEZZA ODDON, S.; CAIMI, C.; GARIGLIO, M.; DABBOU, S.; CARAMORI, M.; BATTISTI, E.; ZANET, S.; FERROGLIO, E.; COCOLIN, L.; GASCO, L.; SCHIAVONE, A.; CAPUCCHIO, M. T. Effect of Insect Live Larvae as Environmental Enrichment on Poultry Gut Health: Gut Mucin Composition, Microbiota and Local Immune Response Evaluation. **Animals**, v. 11, n. 10, 2819, 2021. Acesso em: 17 abr. 2026.

COSTA, Diego Vicente da; VASCONCELOS, Carolina; ARAÚJO, Ana Carolina Andrade; CALIL, Ricardo Moreira; SANTOS, Luciana Lacerda Pereira. **Insetos para alimentação animal no Brasil: aspectos de produção e regulatórios**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/51283>. Acesso em: 18 abr. 2026.

CRUZ, F. G. G.; RUFINO, J. P. F.; MELO, R. D.; FEIJÓ, J. C.; DAMASCENO, J. L.; COSTA, A. P. G. C. Perfil socioeconômico da avicultura no setor primário do Estado do Amazonas, Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 371-391, 2016. Acesso em: 18 abr. 2026

CULLERE, M.; TASONIERO, G.; GIACCONE, V.; MIOTTI-SCAPIN, R.; CLAEYS, E.; DE SMET, S.; DALLE ZOTTE, A. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. **Animal**, v. 10, n. 12, p. 1923–1930, 2016.

DABBOU, S.; LAUWAERTS, A.; FERROCINO, I.; BIASATO, I.; SIRRI, F.; ZAMPIGA, M.; BERGAGNA, S.; PAGLIASSO, G.; GARIGLIO, M.; COLOMBINO, E.; NARRO, C. G.; GAI, F.; CAPUCCHIO, M. T.; GASCO, L.; COCOLIN, L.; SCHIAVONE, A. Modified Black Soldier Fly Larva Fat in Broiler Diet: Effects on Performance, Carcass Traits, Blood Parameters, Histomorphological Features and Gut Microbiota. **Animals**, v. 11, n. 6, 1837, 2021. Acesso em: 17 abr. 2026.

DALLE ZOTTE, A.; SINGH, Y.; MICHIELS, J.; CULLERE, M. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Dietary Source for Laying Quails: Live Performance, and Egg Physico-Chemical Quality, Sensory Profile and Storage Stability. **Animals**, v. 9, n. 3, 115, 2019. DOI: 10.3390/ani9030115.

DE ALMEIDA SANTOS, A. N., RUFINO, J. P. F., BELTRÃO, P. H. S. P., ALVES, A. C. N., DIAS, F. V. N., DE CARVALHO MAQUINÉ, L.; TEIXEIRA DE OLIVEIRA, A. (2025). Potential of alternative feeds in poultry nutrition: a Systematic Review. **World's Poultry Science Journal**, 81(4), 1333-1360. DOI: 10.1080/00439339.2025.2540284

DE SOUZA, T., RUFINO, J. P. F., DIAS, P. G., DE SOUZA, L. F., DE ARAÚJO, K. F., & MACHADO, N. D. J. B. (2024). Uso de alimentos alternativos regionais na dieta de aves na Amazônia. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 22(12), 287. DOI: 10.55905/oelv22n12-287

DE SOUZA, T., RUFINO, J. P.; F.DIAS, P. G., DE SOUZA, L. F., DE ARAÚJO, K. F., GOMES, M. F. D. S.; MACHADO, N. D. J. B. (2025). Effect of Inclusion of Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Residual Oil in Diets for Commercial Hens on Productive Performance, Physiological Parameters and Egg Quality. **Poultry**, 4(4), 50. DOI: 10.3390/poultry4040050.

DE SOUZA VILELA, J.; KHERAVII, S. K., BAJAGAI, Y. S., KOLAKSHYAPATI, M., SIBANDA, T. Z., WU, S. B.; RUHNKE, I. Inclusion of up to 20% Black Soldier Fly larvae meal in broiler chicken diet has a minor effect on caecal microbiota. **PeerJ**, v. 11, p. e15857, 2023. DOI: 10.7717/peerj.15857.

DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; GUTIÉRREZ, F. R.; NGUYEN, D. H.; MOREL, A., KOOTTATEP, T.; TOCKNER, K. (2011). Black soldier fly larvae for organic waste treatment-prospects and constraints. **Proceedings of the WasteSafe**, v. 2, n. 13-15.

DÖRPER, A.; GORT, G.; VAN HARN, J.; OONINCX, D. G. A. B.; DICKE, M.; VELDKAMP, T. Performance, egg quality and organ traits of laying hens fed black soldier fly larvae products. **Poultry Science**, v. 103, n. 11, 104229, 2024.

DUTCOSKY, Silvia D. **Sensory analysis of foods**. Curitiba: Champagnat, 1996.

EREL, Ozcan. A new automated colorimetric method for measuring total oxidant status. **Clinical biochemistry**, v. 38, n. 12, p. 1103-1111, 2005. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2005.08.008

FAO. **Edible insects**: Future prospects for food and feed security. Rome: FAO, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/dorrep/018/i3253e/i3253e.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2026

FEIJÓ, J.C.; CRUZ, F.G.G.; MELO, R.D.; RUFINO, J.P.F.; DAMASCENO, J.L.; COSTA, A.P.G.C Farinha de cará (*Dioscorea trifida* L.) sobre desempenho, qualidade de ovos e bioquímica sérica de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.17, n. 3, p. 413-423, 2016. DOI: 10.1590/S1519-99402016000300008

FIALHO, A. T. S.; SILVA, A. S.; BRITO, C. O.; VALE, P. A. C. B.; OLIVEIRA, C. J. P.; RIBEIRO JUNIOR, V. Composição nutricional de larvas de larva da farinha (*Tenebrio molitor* L.) e grilos (*Gryllus assimilis*) com potencial utilização na alimentação animal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 2, p. 539–542, 2021. Acesso em: 18 abr. 2026

FIKRI, F.; PURNOMO, A.; CHHETRI, S.; PURNAMA, M. T. E.; ÇALIŞKAN, H. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on production performance, egg quality, and physiological properties in laying hens: A meta-analysis. **Veterinary World**, v. 17, n. 8, p. 1904–1913, 2024. DOI: 10.14202/vetworld.2024.1904-1913.

FIKRI, Faisal; PURNOMO, Arif; CHHETRI, S.; PURNAMA, M. T. E.; ÇALIŞKAN, H. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on production performance, egg

quality, and physiological properties in laying hens: a meta-analysis. **Veterinary World**, v. 17, n. 8, p. 1904–1913, 2024.

FIORILLA, E.; FERROCINO, I.; GARIGLIO, M. et al. Larvas da mosca-soldado-negra: uma abordagem de saúde única para investigar a resposta da saúde intestinal e de órgãos e da qualidade da carne em frangos de crescimento lento. **BMC Veterinary Research**, v. 20, 580, 2024. Acesso em: 17 abr. 2026.

GASCO, L.; ACUTI, G.; BANI, P.; DALLE ZOTTE, A.; DANIELI, P. P.; DE ANGELIS, A.; RONCARATI, A. Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. **Italian Journal of Animal Science**, v. 19, n. 1, p. 360-372, 2020. Acesso em: 18 abr. 2026

HASLER, Clare M. The changing face of functional foods. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 19, n. sup5, p. 499S-506S, 2000. Acesso em: 18 abr. 2026

HE, C.; LEI, J.; YAO, Y.; QU, X.; CHEN, J.; XIE, K.; WANG, X.; YI, Q.; XIAO, B.; GUO, S.; ZOU, X. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal Modulates Intestinal Morphology and Microbiota in Xuefeng Black-Bone Chickens. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 706424, 2021. DOI: 10.3389/fmicb.2021.706424.

HILL, F. W.; ANDERSON, D. L. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. **The Journal of nutrition**, v. 64, p. 587-603, 1958. DOI:10.1093/jn/64.4.587. Acesso em: 17 abr. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.[Pesquisa da Pecuária Municipal]. Rio de Janeiro. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

JANSSEN, R. H.; VINCKEN, J. P.; VAN DEN BROEK, L. A.; FOGLIANO, V.; LAKEMON, C. M. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 11, p. 2275–2278, 2017.

KHAN, Samiullah; SHI, X.; CAI, R.; SHUAI, Z.; MAO, W.; KHAN, I. M.; SWELUM, A. A.; GUO, J. Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal and oil on the performance, biochemical profile, intestinal health and gut microbial dynamics in laying hens. **Poultry Science**, v. 103, n. 12, 104460, 2024. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104460.

KIM, B.; BANG, H. T.; JEONG, J. Y.; KIM, M.; KIM, K. H.; CHUN, J. L.; JI, S. Y. 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. DOI: 10.2141/jpsa.0200070.

KIPKOECH, Carolyne. Beyond proteins—Edible insects as a source of dietary fiber. **Polysaccharides**, v. 4, n. 2, p. 116-128, 2023.

LEE, C. G.; DA SILVA, C. A.; LEE, J. Y.; HARTL, D.; ELIAS, J. A. Chitin regulation of immune responses: an old molecule with new roles. **Current Opinion in Immunology**, v. 20, n. 6, p. 684–689, 2008. DOI: 10.1016/j.coi.2008.10.002.

LIU, Kun, ZHANG, G., LI, Y., JIAO, M., GUO, J., SHI, H.,XIA, W. Effects of feeding unprocessed whole black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae on performance, biochemical profile, health status, egg quality, microbiome and metabolome patterns of quails. **Poultry Science**, v. 104, n. 9, p. 105374, 2025. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105374.

LOHO, L.; LO, D. "Proximate and fatty acid analysis of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*)." **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Vol. 1169. No. 1. IOP Publishing, 2023.

LOGAN, Murray. **Biostatistical design and analysis using R: a practical guide**. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd., 2010.

LOPES, Patrícia Miranda. **Farinha de insetos como fonte proteica em dietas para frangos de corte**. 2019. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

MAJEED, Tarek Ibrahim; GHENI, Qutaiba Jassim; JASSIM, Jaffer Mohammed. Optimizing Broiler Performance: Evaluating Hemoglobin, Blood Chemistry, and Immune Response with Graded Levels of Dietary Black Soldier Fly Larvae. **Dijlah Journal of Agricultural Sciences**, v. 2, n. 2, p. 174-188, 2024.

MAKKAR, Harinder P. S.; TRAN, Gilles; HEUZÉ, Valérie; ANKERS, Philippe. State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 1-33, 2014. Acesso em: 18 abr. 2026

MARONO, S.; LOPONTE, R.; LOMBARDI, P.; VASSALOTTI, G.; PERO, M. E.; RUSSO, F.; GASCO, L.; PARISI, G.; PICCOLO, G.; NIZZA, S.; DI MEO, C.; ATTIA, Y. A.; BOVERA, F. Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. **Poultry Science**, v. 96, n. 6, p. 1783–1790, 2017.

MARTÍNEZ, Marín, Andrés; GARIGLIO, A.L; POZZO, S.M.,, CAPUCCHIO, M. T., FERROCINO, I., BIASATO, I.; SCHIAVONE, A. Effects of partially defatted larvae meal of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) on caecal microbiota and volatile compounds of Muscovy ducks (*Cairina moschata domestica*). **Italian Journal of Animal Science**, v. 22, n. 1, p. 1151-1161, 2023. DOI: 10.1080/1828051X.2023.2272706.

MATTERSON, L. D.; POTTER, L. M.; STUTZ, M. W.; SINGSEN, E. P. **The metabolizable energy of feed ingredients for chickens**. Storrs: Agricultural Experiment Station, 1965. (Research Report, 7).

MAURER, V.; HOLINGER, M.; AMSLER, Z.; FRÜH, B.; WOHLFAHRT, J.; STAMER, A.; LEIBER, F. Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 2, n. 2, p. 83–90, 2016.

MAZZUCO, Helenice; BERTECHINI, Antonio Gilberto. Critical points on egg production: causes, importance and incidence of eggshell breakage and defects. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 07-14, 2014. DOI: 10.1590/S1413-70542014000100001

MONTALBÁN, A.; MADRID, J.; HERNÁNDEZ, F.; SCHIAVONE, A.; RUIZ, E.; SÁNCHEZ, C. J.; AYALA, L.; FIORILLA, E.; MARTÍNEZ-MIRÓ, S. The Influence of Alternative Diets and Whole Dry Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) on the

Production Performance, Blood Status, and Egg Quality of Laying Hens. **Animals**, v. 14, n. 17, 2550, 2024.

MONTALBÁN, Ana; MARTÍNEZ-MIRÓ, Silvia; HERNÁNDEZ, Fuensanta; RUIZ, Eduardo; AYALA, Lucía; SCHIAVONE, Achille; FIORILLA, Edoardo; MADRID, Josefa. Enhancing Sustainability in Laying Hens Feeding: The Impact of Local Plant-Based Ingredients and Black Soldier Fly Larvae on Egg Nutritional Quality and Sensory Quality. **Italian Journal of Animal Science**, v. 25, n. 1, p. 177–189, 2026. DOI: 10.1080/1828051X.2026.2621583.

MOTTET, A.; TEMPIO, G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. **World's Poultry Science Journal**, v. 73, n. 2, p. 245–256, 2017. Acesso em: 18 abr. 2026

MOURA, C. A. Dinâmica da produção e exportação de ovos no Brasil. **Revista Brasileira de Produção Animal**, v. 20, n. 3, p. 543-556, 2018. Acesso em: 18 abr. 2026

MÜLLER, Ariane; WOLF, Diana; GUTZEIT, Herwig O. The black soldier fly, *Hermetia illucens* – a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 72, n. 9-10, p. 351-363, 2017. Acesso em: 18 abr. 2026

NDOTONO, E. W.; KHAMIS, F. M.; BARGUL, J. L.; TANGA, C. M. (2022). Gut microbiota shift in layer pullets fed on black soldier fly larvae-based feeds towards enhancing healthy gut microbial community. **Scientific Reports**, 12(1), 16714.

NOR FATIN, Najihah Mohamad Zulkifli; SEOK-KIAN, A. Y.; SENG, L. L.; MUSTAFA, S.; KIM, Y. S.; SHAPAWI, R. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. **PLoS One**, v. 17, n. 2, e0263924, 2022. DOI: 10.1371/journal.pone.0263924. Acesso em: 18 abr. 2026

NOVODWORSKI, Jailson; CASTILHA, Leandro Dalcin; SILVA, Alessandra Aparecida. Insect meal in poultry feed: a potential protein source. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 45, e60317, 2023. Acesso em: 17 abr. 2026.

ÖZKAN, S.; BAY, V.; CÖMERT ACAR, M.; YALCIN, S. Partial replacement of soybean with local alternative sources: effects on behavior, cecal microbiota, and intestinal histomorphometry of local chickens. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 11, 1463301, 2024. DOI: 10.3389/fvets.2024.1463301.

PAL, M., MOLNÁR, J. (2021). The role of eggs as an important source of nutrition in human health. **International Journal of Food Science and Agriculture**, 5(1).DOI: 10.26855/ijfsa.2021.03.023

PARLAMENTO EUROPEU: Definição, importância e benefícios.2023.Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu>. Acesso em: 10 mar. 2026.

PORNSUWAN, R.; POOTTHACHAYA, P.; BUNCHALEE, P.; HANBOONSONG, Y.; CHERDTHONG, A.; TENGJAROENKUL, B.; BOONKUM, W.; WONGTANGTINTHARN, S. Evaluation of the physical characteristics and chemical

properties of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as a potential protein source for poultry feed **Animals**, v. 13, n. 14, 2244, 2023. Acesso em: 18 abr. 2026

PURNAMA, Muhammad Thohawi Elziyad; FIKRI, Faisal; ÇALIŞKAN, Hakan. The impact of feeding black soldier fly larvae on the blood lipid profile of laying hens: A meta-analysis. **Open Veterinary Journal**, v. 15, n. 8, 3580, 2025.

RAMOS, Soliene Partata. **Influência da linhagem e da idade de matrizes leves e semi pesadas na qualidade do ovo e do pinto de um dia**. 2008. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12937>. Acesso em: 17 abr. 2026.

ROMERO, C.; CENALMOR, J. C.; CHAMORRO, S.; REDONDO, C. Effect of Different Dietary Doses of Black Soldier Fly Meal on Performance and Egg Quality in Free-Range Reared Laying Hens. **Animals**, v. 14, n. 22, 3340, 2024. DOI: 10.3390/ani14223340.

ROSTAGNO, Horacio Santiago; ALBINO, Luiz Fernando Teixeira; CALDERANO, Arele Arlindo; HANNAS, Melissa Izabel; SAKOMURA, Nilva Kazue; PERAZZO, Fernando Guilherme; ROCHA, Gabriel Cipriano; SARAIVA, Alysson; ABREU, Márvio Lobão Teixeira de; GENOVA, Jansller Luiz; TAVERNARI, Fernando de Castro. **Brazilian tables for poultry and swine: food composition and nutritional requirements**. 5. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2024.

RUFINO, J.P.F.; CRUZ, F.G.G.; MILLER, W.P.M.; MELO, R.D.; FEIJÓ, J.C.; CHAGAS, E.O (Economical analysis of the inclusion of flour residue of tucumã (*Astrocaryum vulgare*, Mart) in the feeding of laying hens. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2015. DOI:10.1590/S1519- 99402015000100001

RUFINO, J.P.F.; CRUZ, F.G.G.; TANAKA, E.S.; MELO, R.D.; FEIJÓ, J.C. Análise econômica da inclusão de farinha do resíduo de buriti na alimentação de poedeiras comerciais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 732-738, 2017a. DOI:10.5935/1806-6690.20170085

RUFINO, João Paulo Ferreira; CRUZ, Frank George Guimarães; BRASIL, R. J. M.; OLIVEIRA FILHO, P. A. de; MELO, Ramon Duque; FEIJÓ, Julmar da Costa. Relação entre o nível e o período de ação da fibra em dietas para poedeiras. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, e49033, 2021.

SAIDANI, Mariem; DABBOU, S., BEN LARBI, M., BELHADJ SLIMEN, I., FRAIHI, W., ARBI, T., M’HAMDI, N . Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal on growth performance, carcass characteristics, meat quality, and cecal microbiota in broiler chickens. **Frontiers in Animal Science**, v. 6, p. 1531773, 2025. DOI: 10.3389/fanim.2025.1531773.

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

SANCHES, Douglas de Souza; KIEFER, Charles; GARCIA, Elis Regina de Moraes. Dietas alternativas para aves e suínos: uma breve revisão. **Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica**, v. 2, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.remici.com.br/index.php/revista/article/view/40>. Acesso em: 17 abr. 2026.

SANTOS, A. N. A.; RUFINO, J. P. F.; SOUZA, T.; ARAÚJO, K. F.; MACHADO, N. J. B. Potential of alternative feeds in poultry nutrition: a Systematic Review. **World's Poultry Science Journal**, v. 81, n. 4, p. 1333-1360, 2025. Acesso em: 17 abr. 2026.

SCHÄFER, L. GRUNDMANN, S. M., MAHESHWARI, G., HÖRING, M., LIEBISCH, G., MOST, E., RINGSEIS, R. 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, p. 20, 2023. DOI:10.1186/s40104-023-00831-6

SCHIAVONE, Achille; DE MARCO, M.; MARTÍNEZ, S.; DABBOU, S.; RENNA, M.; MADRID, J.; HERNANDEZ, F.; ROTOLO, L.; COSTA, P.; GAI, F.; GASCO, L. 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, 51, 2017.

SCHIAVONE, Achille; DE MARCO, M.; MARTÍNEZ, S.; DABBOU, S.; RENNA, M.; MADRID, J.; HERNANDEZ, F.; ROTOLO, L.; COSTA, P.; GAI, F.; GASCO, L. 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, 51, 2017. DOI: 10.1186/s40104-017-0181-5.

SECCI, G.; BOVERA, F.; NIZZA, S.; BARONTI, N.; GASCO, L.; CONTE, G.; SERRA, A.; BONELLI, A.; PARISI, G. Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. **Animal**, v. 12, n. 10, p. 2191–2197, 2018. DOI: 10.1017/S1751731117003603.

SIDDIQUI, S. A.; LI, C.; AIDOO, O. F.; FERNANDO, I.; HADDAD, M. A.; PEREIRA, J. A. M.; BLINOV, A.; GOLIK, A.; CÂMARA, J. S. Unravelling the potential of insects for medicinal purposes - A comprehensive review. **Heliyon**, v. 9, n. 5, e15938, 2023.

SILVA, A.F.; CRUZ, F.G.G.; RUFINO, J.P.F.; COSTA, V.R.; GUIMARÃES, C.C.; MELO, R.D. Substituição do milho pelo farelo de Tucumã em rações para poedeiras comerciais leves. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 16, n. 2, p. e7619, 2023. DOI:10.17765/2176-9168.2023v16n2e7619

SJOFJAN, O.; ARDIANTORO, A.; CAHYAWATI, I. N.; JIHANA, A. I.; NATSIR, M. H.; NUNINGTYAS, Y. F.; ADLI, D. N. Microwave-dried black soldier fly larvae enhance growth, intestinal health, and humoral immunity in broiler chickens: A functional feed approach. **Veterinary World**, v. 18, n. 7, p. 1840–1849, 2025. DOI: 10.14202/vetworld.2025.1840-1849.

SMETANA, Sergiy; SCHMITT, Eric; MATHYS, Alexander. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, p. 285-296, 2019.

SMITH, J., SONES, K., GRACE, D., MACMILLAN, S., TARAWALI, S.; HERRERO, M. Beyond milk, meat, and eggs: Role of livestock in food and nutrition security. **Animal Frontiers**, v. 3, n. 1, p. 6-13, 2013. DOI: 10.2527/af.2013-0002.

SOUZA, T. de; RUFINO, J. P. F.; DIAS, P. G.; SOUZA, L. F. de; ARAÚJO, K. F. de; MACHADO, N. de J. B. Uso de alimentos alternativos regionais na dieta de aves na Amazônia. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 12, p. e8447, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n12-287.

SUPARMAN, P.S; NAHARIAH, N. "Substitution of fish meal with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal to eggs production and physical quality of quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 492. N. 1. 2020.

SURENDRA, K. C. et al. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. **Renewable energy**, v. 98, p. 197-202, 2016. DOI: 10.1016/j.renene.2016.03.022.

TAHAMTANI, F. M.; IVARSSON, E.; WIKLICKY, V.; LALANDER, C.; WALL, H.; RODENBURG, T. B.; TUYTTENS, F. A. M.; HERNANDEZ, C. E. Feeding live Black Soldier Fly larvae (*Hermetia illucens*) to laying hens: effects on feed consumption, hen health, hen behavior, and egg quality. **Poultry Science**, v. 100, n. 10, 101400, 2021.

TAVARES-DIAS, Marcos; MATAQUEIRO, Maria Isabel. Características hematológicas, bioquímicas e biométricas de *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae) oriundos de cultivo intensivo. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 26, n. 2, p. 157-162, 2004.

TEIXEIRA FILHO, Nelson Poli. **Devoradores de lixo: Aspectos biológicos, produtivos e nutricionais da mosca soldado *Hermetia illucens* (L., 1758) (Díptera; Stratiomyidae) em resíduos sólidos orgânicos em Manaus, AM.** 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

THRALL, Mary Anna; WEISER, Glade; ALLISON, Robin W.; CAMPBELL, Terry W. **Veterinary Hematology and Clinical Chemistry**. 2. ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2012.

TYKAŁOWSKI, B.; KONCICKI, A.; KOWALCZYK, J.; ŚMIAŁEK, M.; BAKUŁA, T.; MURAWSKA, D.; SOBOTKA, W.; STENZEL, T. The impact of full-fat *Hermetia illucens* larvae meal on the health and immune system function of broiler chickens. **Journal of Veterinary Research**, v. 67, n. 2, p. 197–207, 2023. DOI: 10.2478/jvetres-2023-0022.

UDEH, I.; AKPORHUARHO, O. P.; MATTHEW, E. F. Egg quality characteristics of three strains of layer chickens, a principal component analysis. 2024. DOI: 10.14710/jitaa.47.1.29-34

USDA. **Egg-Grading Manual**. Washington, DC: Agricultural Handbook, 2000. p. 28.

VILELA, de Souza J.; KHERAVII, S. K.; SHARMA BAJAGAI, Y.; KOLAKSHYAPATI, M.; ZIMAZILE SIBANDA, T.; WU, S. B.; ANDREW, N. R.; RUHNKE, I. Inclusion of up to 20% Black Soldier Fly larvae meal in broiler chicken diet has a minor effect on caecal microbiota. **PeerJ**, v. 11, e15857, 2023. DOI: 10.7717/peerj.15857.

WINTROBE, Maxwell M. **Wintrobe's Clinical Hematology**. 11. ed. Philadelphia: Lippincott Williams; Wilkins, 2003.

WOYENGO, T.A.; BELTRANENA, E.; ZIJLSTRA, R.T Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, p. 76-86, 2017. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2016.05.006

YAN, Y.; ZHANG, J.; CHEN, X.; WANG, Z. Effects of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* Larvae) Meal on the Production Performance and Cecal Microbiota of Hens. **Veterinary Sciences**, v. 10, n. 5, 364, 2023. DOI: 10.3390/vetsci10050364.

YUNITASARI, F.; JAYANEGARA, A.; ULUPI, N. Performance, egg quality, and immunity of laying hens due to natural carotenoid supplementation: A meta-analysis. **Food Science of Animal Resources**, v. 43, n. 2, p. 282-302, 2023.

ZAWISKA, P.; SZYMCZYK, B.; ARCZEWSKA-WŁOSEK, A.; SZCZEPANIK, K. Effects of partial replacement of soybean meal with defatted *Hermetia illucens* meal in the diet of laying hens on performance, dietary egg quality, and serum biochemical and redox indices. **Animals**, v. 13, n. 3, 527, 2023.

ZHAO, J.; KAWASAKI, K.; MIYAWAKI, H.; HIRAYASU, H.; IZUMO, A.; IWASE, S. I.; KASAI, K. Egg quality and laying performance of Julia laying hens fed with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a long-term substitute for fish meal. **Poultry Science**, v. 101, n. 8, 101986, 2022.

ZOZO, Bongisiwe et al. The nutritional quality and structural analysis of black soldier fly larvae flour before and after defatting. **Insects**, v. 13, n. 2, p. 168, 2022. DOI:10.3390/insects13020168