

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
DOUTORADO EM ZOOTECNIA**

**FARINHA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (*Hermetia illucens*)
EM DIETAS PARA O CAMARÃO-DA-AMAZÔNIA (*Macrobrachium
amazonicum*)**

RAFAEL QUEIROZ DOS ANJOS

**SALVADOR – BAHIA
JULHO – 2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
DOUTORADO EM ZOOTECNIA**

**FARINHA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (*Hermetia illucens*)
EM DIETAS PARA O CAMARÃO-DA-AMAZÔNIA (*Macrobrachium
amazonicum*)**

**RAFAEL QUEIROZ DOS ANJOS
ENGENHEIRO DE PESCA, UFRB, 2018.**

**SALVADOR – BAHIA
JULHO – 2025**

RAFAEL QUEIROZ DOS ANJOS

**FARINHA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (*Hermetia illucens*) EM DIETAS PARA O CAMARÃO-DA-AMAZÔNIA
(*Macrobrachium amazonicum*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Aquicultura.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Fortes da Silva.

Coorientadora: Profª. Drª. Mariana Cutolo de Araujo.

**SALVADOR – BAHIA
JULHO – 2025**

Dados internacionais de catalogação-na-publicação
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Anjos, Rafael Queiroz dos.

Farinha de larvas da mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*) em dietas para o camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) / Rafael Queiroz dos Anjos. - 2025.
118 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Fortes da Silva.

Coorientadora: Profa. Dra. Mariana Cutolo de Araujo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Salvador, 2025.

1. Zootecnia. 2. Aquicultura. 3. Aquicultura - Aspectos ambientais. 4. Camarões - Criação. 5. Camarões - Nutrição. 6. Crustáceos - Nutrição. I. Silva, Rodrigo Fortes da. II. Universidade Federal da Bahia. Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia. III. Título.

CDD - 639.543

CDU - 639.512

RAFAEL QUEIROZ DOS ANJOS

FARINHA DE LARVAS DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (*Hermetia illucens*) EM DIETAS PARA O CAMARÃO-DA-AMAZÔNIA (*Macrobrachium amazonicum*)

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 28 de julho de 2025.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Fortes da Silva

Universidade Federal de Viçosa
Presidente

Prof. Dr. Carlos Eduardo Copatti

Universidade Federal da Bahia
Examinador Interno

Prof^a. Dr^a. Juliana Faveri

Universidade Federal da Bahia
Examinadora Interna

Prof^a. Dr^a. Karina Ribeiro

Universidade Federal do Rio Grande
do Norte
Examinadora Externa

Prof. Dr. Leandro Santos Costa

Universidade Federal de Viçosa
Examinador Externo

**Ao meu filho, Joaquim Queiroz, à minha
noiva (e futura esposa), Jhennipher, à minha
cadelinha, Sol, aos meus pais, Lilia
Margareth e Jorge Moisés, e à minha irmã,
Laís Fernanda, que, durante minha jornada,
foram minha fortaleza e meu refúgio.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me proporcionar a oportunidade de finalizar meu doutorado, por ter me dado o desafio dessa jornada e também a força para concluir mais esta etapa da minha vida, pessoal e acadêmica.

Aos meus pais, Lilia Margareth e Jorge Moisés, por sempre acreditarem em mim e no meu potencial, por todo o amor e por todos os momentos de dificuldade que nos fizeram, e ainda nos fazem, crescer.

Ao meu filho, Joaquim Queiroz, por ser quem me guia e me motiva diariamente a buscar voos mais altos e longos. Pois meu futuro é seu futuro. Tenho eterna gratidão por ser seu PAI.

À Jhennifer (minha futura esposa), por todo o amor do mundo, pela amizade, pelo carinho, pelo companheirismo, pela paixão e por todos os incentivos que me deu nos momentos mais difíceis. Agradeço também por estar sempre ao meu lado nos bons momentos, compartilhando cada alegria. Gratidão infinita!

À minha avó, Maria Aparecida (*In memoriam*), por permanecer viva em minhas lembranças e em meu coração, dando-me forças para continuar, mesmo diante de todas as dificuldades.

Aos meus familiares: Carla, Jana, Adriano, Ana Luiza, Vovó Lena, Sônia e demais, sem o amor e carinho de vocês, tudo teria sido mais difícil. Obrigado!

À Sol, minha filha de quatro patas, pelos quase 12 anos de amor incondicional e companheirismo. Nos momentos mais desafiadores da minha jornada, você sempre esteve ao meu lado. Minha eterna gratidão!

À Universidade Federal da Bahia (UFBA), por me conceder a oportunidade de concluir meu doutorado e por contribuir decisivamente para minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Rodrigo Fortes, pelas conversas, ensinamentos, dicas e sugestões que enriqueceram minha trajetória. Obrigado pelo incentivo e pelo apoio constante. Gratidão!

À minha coorientadora, Profª. Mariana Cutolo, pelos 12 anos de colaboração. Por ter aberto as portas do Laboratório de Carcinicultura da UFRB ainda em 2013, por todo apoio e ensinamento, e por aceitar minhas “loucuras”. Gratidão!

À Profª. Norma Barreto, por toda parceria e apoio nas atividades do LABMAA (microbiologia). Seus direcionamentos foram fundamentais para o desenvolvimento desta tese. Gratidão!

À Profª. Thais Billalba, por sempre abrir as portas do Laboratório de Fisiologia de Organismos Aquáticos e por se colocar à disposição sempre que precisei. Gratidão!

À Mile Ane e ao José Santos, meus “braços direitos” durante a execução experimental deste doutorado. Jamais esquecerei o apoio. Gratidão!

Ao Prof. Ranilson Bezerra, por abrir as portas do Laboratório de Enzimologia da UFPE para a realização das análises enzimáticas.

Aos membros da Comissão Examinadora por aceitarem contribuir com meu trabalho. Gratidão!

Aos meus professores da Engenharia de Pesca, por todo o conhecimento transmitido durante a graduação. Gratidão eterna!

Aos amigos e amigas do Laboratório de Carcinicultura da UFRB: André, Elaine, Jéssica, Alice, José, Lane, Carol e Ana, por todos os momentos que nos fizeram crescer e amadurecer entre muitas risadas e muito trabalho.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para esta jornada, dedico minha mais sincera gratidão.

RESUMO

Investigou-se a viabilidade da farinha de larvas da mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*) como substituta parcial da farinha de peixe em dietas para o camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*), visando promover a aquicultura mais sustentável. O estudo foi dividido em dois capítulos principais: o primeiro avaliou os efeitos da farinha de larvas da mosca-soldado-negro no crescimento, na composição corporal e na microbiota do gênero *Vibrio* presentes no hepatopâncreas e no intestino dos camarões, enquanto o segundo analisou o impacto da substituição da farinha de peixe no desempenho zootécnico, na atividade das enzimas digestivas, na preferência alimentar e na resistência do *M. amazonicum* ao *V. parahaemolyticus*. Foi demonstrado que a substituição de 25% da farinha de peixe por farinha de larvas da mosca-soldado-negro proporcionou melhor desempenho zootécnico, com aumento significativo no ganho de peso, taxa de crescimento específica e eficiência alimentar, além de reduzir a carga de *Vibrio* spp. patogênicos. A quantificação das enzimas digestivas revelou otimização na atividade de proteases, lipases e amilases, indicando adaptação metabólica à dieta. A inclusão da farinha de larvas da mosca-soldado-negro nas dietas, aumentou a resistência do *M. amazonicum* ao *V. parahaemolyticus*. Conclui-se que a farinha de larvas da mosca-soldado-negro é uma alternativa viável e sustentável para a nutrição de *M. amazonicum*, contribuindo para a redução da dependência da farinha de peixe e melhorando a saúde dos camarões.

Palavras-chave: Aquicultura sustentável; Carcinicultura; Farinha de insetos; Nutrição na aquicultura.

ABSTRACT

Investigates the feasibility of black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) as a partial replacement for fishmeal in diets for Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*), aiming to promote more sustainable aquaculture practices. The study was divided into two main chapters: the first evaluated the effects of black soldier fly larvae meal on growth performance, body composition and *Vibrio* spp. microbiota in the hepatopancreas and intestine of the prawns, while the second analyzed the impact of partial fishmeal replacement on zootechnical performance, digestive enzymes activity, feeding preference and resistance of *M. amazonicum* to *V. parahaemolyticus*. The results demonstrated that replacing 25% of fishmeal with black Soldier fly larvae meal provided better zootechnical performance, with significant improvements in weight gain, specific growth rate, and feed efficiency, along with reduced loads of pathogenic *Vibrio* spp. Digestive enzyme quantification revealed optimized protease, lipase and amylase activities, indicating metabolic adaptation to the diet. The inclusion of black soldier fly larvae meal in the diets enhanced *M. amazonicum* resistance to *V. parahaemolyticus*. In conclusion, black soldier fly larvae meal represents a viable and sustainable alternative for *M. amazonicum* nutrition, contributing to reduced dependence on fishmeal while improving prawn health.

Keywords: Aquaculture nutrition; Insect meal; Prawn farming; Sustainable aquaculture.

LISTA DE FIGURAS

Revisão de Literatura

Figura 1. Exemplar de <i>Macrobrachium amazonicum</i>	18
Figura 2. Diferentes morfotipos de machos de <i>Macrobrachium amazonicum</i>	19
Figura 3. Representação do ciclo de vida de <i>H. illucens</i>	27

Capítulo I

Figura 1. Contagem total de <i>Vibrio</i> spp. do hepatopâncreas e intestino de <i>M. amazonicum</i> alimentados com as dietas testes durante 75 dias. Os valores estão expressos em logaritmo (\log_{10}). Barras representam média \pm desvio-padrão. Letras distintas indicam diferença significativa pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p < 0,05$). Hepatopâncreas: P-valor <0,001; Intestino: P-valor = 0,002.	68
--	----

Figura 2. Comparaçao da abundância relativa hepatopancreática de <i>Vibrio</i> em <i>M. amazonicum</i> alimentado com diferentes dietas contendo FLHI. Letras distintas com cores iguais indicam diferença significativa pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p < 0,05$).	69
--	----

Figura 3. Comparaçao da abundância relativa intestinal de <i>Vibrio</i> em <i>M. amazonicum</i> alimentado com diferentes dietas contendo FLHI. Letras distintas com cores iguais indicam diferença significativa pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p < 0,05$).	70
--	----

Capítulo II

Figura 1. Atividade proteolítica alcalina (média \pm desvio-padrão) do extrato bruto do hepatopâncreas de <i>M. amazonicum</i> . Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.	100
---	-----

Figura 2. Atividade de tripsina (média \pm desvio-padrão) do extrato bruto do hepatopâncreas de <i>M. amazonicum</i> . Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.	101
---	-----

- Figura 3.** Atividade de quimotripsina (média ± desvio-padrão) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001. 101
- Figura 4.** Atividade leucina aminopeptidase (média ± desvio-padrão) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001. 102
- Figura 5.** Atividade de lipase (média ± desvio-padrão) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001. 102
- Figura 6.** Atividade de amilase alcalina (média ± desvio-padrão) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001. 103
- Figura 7.** Preferência alimentar de *M. amazonicum* expressa pelo consumo (%) das dietas FLHI0 e FLHI25 ao longo de 15 dias. Asterisco em cada dia indica diferença estatística ($p<0,05$) pelo teste t de Student. Barras representam média±desvio-padrão (n=5). ... 110

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Composição proximal da farinha de peixe e da farinha de larvas da mosca-soldado-negro utilizadas no presente estudo.	63
Tabela 2. Formulação e composição proximal das dietas experimentais.	64
Tabela 3. Desempenho de crescimento e utilização de nutrientes dos camarões <i>M. amazonicum</i> alimentados com as dietas testes por 75 dias.	66
Tabela 4. Composição proximal do músculo (abdômen) de <i>M. amazonicum</i> alimentado com as dietas testes por 75 dias.	67

Capítulo II

Tabela 1. Composição proximal da farinha de peixe e da farinha de larvas da mosca-soldado-negro utilizadas no presente estudo.	89
Tabela 2. Formulação e composição proximal das dietas experimentais.	91
Tabela 3. Desempenho de crescimento e utilização de nutrientes dos camarões <i>M. amazonicum</i> alimentados com as dietas experimentais por 60 dias.	98
Tabela 4. Marcadores de estresse oxidativo do extrato bruto do hepatopâncreas de <i>M. amazonicum</i> submetido a desafio com <i>V. parahaemolyticus</i> durante 10 dias.	105
Tabela 5. Parâmetros bioquímicos da hemolinfa e sobrevivência de <i>M. amazonicum</i> submetido a desafio com <i>V. parahaemolyticus</i> durante 10 dias.	108

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Camarão-da-amazônia (<i>Macrobrachium amazonicum</i>)	18
2.2 Nutrição e fisiologia digestiva de camarões	21
2.2.1 Enzimas digestivas de camarões	23
2.3 Ingredientes proteicos em dietas para camarões	24
2.3.1 Ingredientes proteicos convencionais	25
2.3.2 Ingredientes proteicos alternativos	26
2.4 Mosca-soldado-negro (<i>Hermetia illucens</i>)	27
2.4.1 Aspectos nutricionais da mosca-soldado-negro	28
2.5 Sistema imune e estresse oxidativo em camarões	30
2.5.1 Mecanismos de defesa imunológica	30
2.5.2 Estresse oxidativo e defesas antioxidantes	31
2.6 Vibrioses na carcinicultura	33
2.6.1 <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	33
2.7 Sustentabilidade ambiental e variabilidade econômica da farinha de larvas de <i>Hermetia illucens</i> na carcinicultura	35
3. REFERÊNCIAS GERAIS	37
CAPÍTULO I – Efeito de dietas contendo farinha de larvas da <i>Hermetia illucens</i> no crescimento e carga microbiana de <i>Vibrio</i> em <i>Macrobrachium amazonicum</i>	57
RESUMO	59
1. Introdução	60
2. Material e métodos	62

2.1 Nota ética	62
2.2 Aclimatação dos camarões e condições experimentais	62
2.3 Dietas experimentais	63
2.4 Desempenho de crescimento	64
2.5 Composição corporal	65
2.6 Contagem total e identificação de <i>Vibrio</i> no hepatopâncreas e no intestino ..	65
2.7 Análise estatística	65
3. Resultados	66
3.1 Desempenho	66
3.2 Composição corporal	66
3.3 Contagem total e identificação de <i>Vibrio</i> no hepatopâncreas e no intestino ..	67
4. Discussão	70
5. Conclusão	73
Agradecimentos	74
Declaração de interesse	74
Referências	74
CAPÍTULO II – Substituição da farinha de peixe por farinha de <i>Hermetia illucens</i> na alimentação do <i>Macrobrachium amazonicum</i>: crescimento, enzimas digestivas, preferência alimentar e resistência ao <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	84
RESUMO	86
1. Introdução	87
2. Material e métodos	88
2.1 Nota ética	88
2.2 Condições gerais e delineamento experimental	88
2.3 Alimentação e dietas experimentais	89

2.4 Desempenho zootécnico	91
2.5 Preparo dos extratos brutos para análise de enzimas digestivas	92
2.6 Atividade de proteases alcalinas	92
2.7 Atividade de tripsina, quimotripsina e leucina aminopeptidase	93
2.8 Atividade de lipase	93
2.9 Atividade de amilase	94
2.10 Níveis séricos da hemolinfa	94
2.11 Marcadores de estresse oxidativo	94
2.12 Preparação do inóculo para desafio bacteriano	96
2.13 Desafio com <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	96
2.14 Preferência alimentar	97
2.15 Análise estatística	97
3. Resultados e discussão	98
3.1 Desempenho zootécnico	98
3.2 Atividade de enzimas digestivas	99
3.3 Respostas ao estresse oxidativo	105
3.4 Níveis séricos da hemolinfa e sobrevivência pós-desafio com <i>V. parahaemolyticus</i>	107
3.5 Preferência alimentar	110
4. Conclusão	111
Agradecimentos	111
Declaração de interesse	112
Referências	112
CONSIDERAÇÕES FINAIS	117

1. INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura tem se consolidado como um dos setores de produção de alimentos que mais cresce no mundo, desempenhando um papel fundamental na segurança alimentar e nutricional global (FAO, 2024). No entanto, sua expansão enfrenta um desafio crítico: a dependência de fontes proteicas tradicionais de proteína, como a farinha de peixe, cuja produção é impactada pela redução dos estoques pesqueiros. Diante desse cenário, a busca por alternativas proteicas tornou-se primordial para garantir viabilidade da aquicultura no longo prazo.

Nesse contexto, a farinha de insetos emerge como uma das soluções mais promissoras, destacando-se a farinha de larvas da mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*) (KEETANON et al., 2024). Essa fonte proteica apresenta vantagens como alto o teor de proteína bruta (entre 30 e 60%), o perfil balanceado de aminoácidos essenciais, a elevada digestibilidade (acima de 80%) e a capacidade de ser produzida a partir de resíduos orgânicos (BARROSO et al., 2014; NUNES et al., 2023). Além disso, a farinha de larvas da mosca-soldado-negro contém compostos bioativos, como os peptídeos antimicrobianos e os ácidos graxos de cadeia média, que podem melhorar a saúde e a resistência a doenças em camarões (ZHANG et al., 2022).

O camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) é uma espécie nativa de grande importância econômica e ecológica na América do Sul com ampla distribuição geográfica, o que favorece o cultivo em diversas regiões (MORAES-VALENTI; VALENTI, 2010). De um modo geral, a principal fonte proteica em dietas para o camarão-da-amazônia ainda é a farinha de peixe, o que a médio e longo prazo pode limitar a sustentabilidade da sua produção. Apesar de alguns estudos avaliarem o uso de ingredientes alternativos em dietas para camarões (WANG et al., 2025; CHENG et al., 2026), nenhum concentrou-se nos efeitos da farinha de larvas da mosca-soldado-negro no desempenho zootécnico, na fisiologia digestiva e na saúde do trato digestório de *M. amazonicum*, sendo este estudo inédito.

Objetivou-se avaliar os efeitos da substituição parcial da farinha de peixe por farinha de larvas da mosca-soldado-negro em dietas para o *M. amazonicum*, com foco principal em três segmentos: 1- Crescimento, composição corporal, preferência alimentar

e enzimas digestivas; 2- Modulação da microbiota intestinal; e 3- Respostas imunes, marcadores de estresse oxidativo e resistência a patógenos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*)

O camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) (Figura 1) é uma espécie de grande importância ecológica e econômica, amplamente distribuída nos ecossistemas aquáticos da América do Sul. Sua ocorrência estende-se pelas principais bacias hidrográficas brasileiras, incluindo a Bacia Amazônica, a Bacia do São Francisco e as Bacias Costeiras do Norte e do Nordeste, além de ser encontrada em países vizinhos ao Brasil, como Venezuela, Colômbia e Peru (COELHO e RAMOS-PORTO, 1985). Estudos filogeográficos recentes demonstraram que sua variabilidade e distribuição podem estar intimamente relacionada a padrões históricos de dispersão apresentando variações populacionais associadas às barreiras geográficas (PASCHOAL, 2017; PASCHOAL e ZARA, 2024).



Figura 1. Exemplar de *Macrobrachium amazonicum*. **Fonte:** Próprio autor.

Esta espécie exibe considerável plasticidade ecológica, habitando diversos ambientes aquáticos que variam desde rios de águas mais claras até lagos temporários, passando por áreas alagadas sazonais (ODINETZ-COLLART e MAGALHÃES, 1994). Sua distribuição espacial é fortemente influenciada pelo regime pluviométrico, com

migrações entre habitats lênticos e lóticos em resposta às variações sazonais (BENTES et al., 2016). Os estágios juvenis e adultos apresentam comportamento bentônico, associando-se preferencialmente a substratos como vegetação submersa, troncos e sedimentos, que fornecem alimento e proteção contra predadores (MAGALHÃES, 2000).

A estrutura populacional de *M. amazonicum* apresenta características peculiares, como morfotipos masculinos bem definidos (Figura 2). Quatro morfotipos distintos foram identificados: *Translucent Claw* (TC), *Cinnamon Claw* (CC), *Green Claw 1* (GC 1) e *Green Claw 2* (GC 2), cada um com estratégias reprodutivas e de crescimento específicas (MORAES-VALENTI E VALENTI, 2010; PANTALEÃO et al., 2014). A dinâmica populacional da espécie é influenciada pela densidade, com redução na proporção de machos dominantes e fêmeas reprodutivas em condições de alta competição por recursos (MORAES-RIODADES et al., 2006).

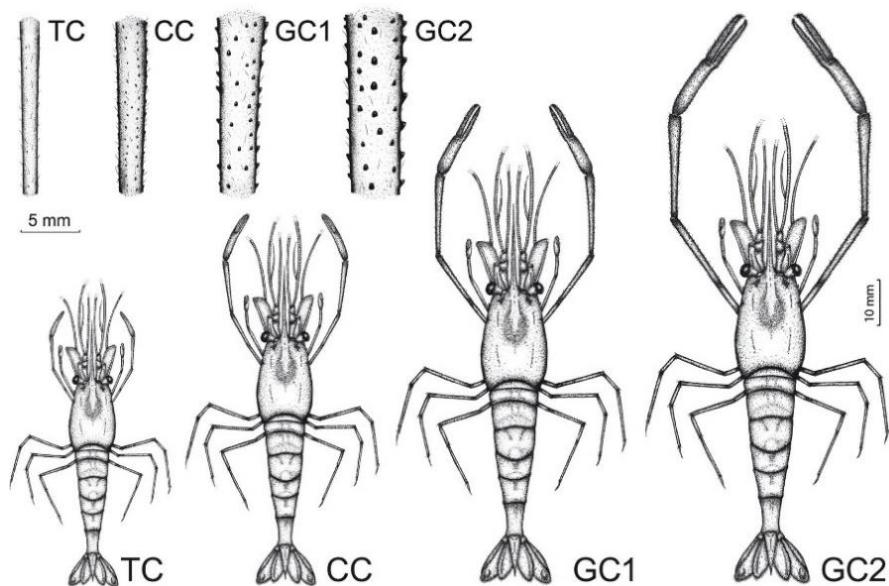


Figura 2. Diferentes morfotipos de machos de *Macrobrachium amazonicum*. **Fonte:** PANTALEÃO et al. (2014).

O desenvolvimento larval compreende nove estágios distintos (zoea I – zoea IX), com a duração e a sobrevivência influenciadas por fatores ambientais, como temperatura e salinidade (MAGALHÃES, 1985). Os primeiros estágios larvais são planctônicos, enquanto a pós-larva adquire hábito bentônico (ANGER e HAYD, 2009; ANGER e HAYD, 2010). A temperatura da água exerce papel crucial neste processo. Valores acima

de 30°C aceleram o desenvolvimento, mas reduzem significativamente as taxas de sobrevivência, sendo a faixa ideal de temperatura entre 28 a 30°C para as larvas e 24 a 28°C para juvenis e adultos (MORAES-RIODADES et al., 2006; MORAES-RIODADES; VALENTI, 2010; BASTOS et al., 2018).

O hepatopâncreas do *M. amazonicum* possui complexidade estrutural e funcional. Este órgão vital apresenta organização tubular com zonas celulares especializadas, cada uma com funções específicas na digestão e absorção de nutrientes (FRANCESCHINI-VICENTINI et al., 2009). A expressão de enzimas digestivas, de camarões *Macrobrachium*, como proteases (tripsina, quimotripsina e leucina aminopeptidase), lipases, carboidrases (amilase e celulase), além de quitinase, variam em resposta à composição da dieta, demonstrando notável capacidade adaptativa (NEW et al., 2010).

Do ponto de vista nutricional, o *M. amazonicum* apresenta hábito alimentar onívoro com preferência por invertebrados bentônicos em condições naturais. Em sistemas de cultivo, dietas contendo 37% de proteína bruta com adequado balanço de aminoácidos essenciais, particularmente lisina, arginina e metionina, promovem melhores taxas de crescimento (MORAES-VALENTI e VALENTI, 2010; SANTOS et al., 2017). A inclusão de lipídios ricos em ácidos graxos poli-insaturados é essencial para o desenvolvimento adequado e manutenção da saúde dos animais (D'ABRAMO; NEW, 2010).

Recentemente, avanços foram alcançados no desenvolvimento de tecnologias para o cultivo desta espécie. A intensificação na larvicultura do *M. amazonicum* se mostrou viável com resultados indicando que as larvas da espécie suportam altas densidades (140 larvas.L⁻¹) (VETORELLI et al., 2024). Sistemas aquapônicos, integrando o cultivo do *M. amazonicum* com rúcula, repolho-vermelho e beterraba, também tem sido promissor (GUERREIRO et al., 2024). A atividade alimentar noturna da espécie foi demonstrada com maior ingestão de alimento neste período (QUEIROZ-ANJOS, 2021).

A combinação de características como rusticidade, adaptabilidade a diferentes condições ambientais e o potencial para cultivo, posiciona o *M. amazonicum* como espécie de importância para o desenvolvimento da carcinicultura sustentável na região tropical. Seu estudo contínuo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de

manejo que garantam a viabilidade econômica do seu cultivo (MORAES-VALENTI; VALENTI, 2010; VALENTI et al., 2021).

2.2 Nutrição e fisiologia digestiva de camarões

A nutrição e a fisiologia digestiva dos camarões representam um sistema complexo e especializado, fundamental para o seu crescimento, metabolismo e saúde (ROTHLISBERG, 1998). O processo digestivo inicia quando as partículas alimentares são capturadas pelos apêndices bucais e encaminhadas ao sistema digestório, que nos camarões é composto por três regiões principais: o estômago, o hepatopâncreas e o intestino (QUEIROZ et al., 2011). O estômago, com sua estrutura quitinizada, funciona como uma câmara de trituração mecânica, onde os alimentos são fisicamente fragmentados antes da ação enzimática. Esta etapa é crucial, pois prepara o alimento para a digestão química subsequente (CRUZ-SUÁREZ et al., 2025).

O hepatopâncreas, órgão central na fisiologia digestiva dos camarões, desempenha múltiplas funções, incluindo secreção enzimática, absorção de nutrientes e metabolismo intermediário (ZIMMERMAN, 1998). Sua estrutura contém diferentes tipos celulares especializados: as células F (fibrilares) estão envolvidas na síntese de enzimas digestivas; as células B (tipo “bolhas” com um vacúolo central) atuam na absorção e armazenamento de nutrientes; as células R (reabsortivas) também participam da absorção de nutrientes e armazenamento de lipídios; e as células E (embrionárias) estão associadas a divisão celular (FRANCESCHINI-VICENTINI et al., 2009). Este complexo sistema celular permite que os camarões adaptem sua capacidade digestiva conforme a disponibilidade e qualidade do alimento no ambiente.

A digestão enzimática nos camarões é mediada por um sofisticado sistema de proteases, lipases e carboidrases. As proteases, particularmente a tripsina e a quimotripsina, são essenciais para a hidrólise de proteínas em aminoácidos livres, sendo sua produção diretamente influenciada pelo teor proteico da dieta (XIA et al., 2010; XIAO et al., 2023). Paralelamente, as lipases atuam na quebra de lipídios complexos em ácidos graxos e glicerol, enquanto as carboidrases como amilase e celulase, permitem a digestão de carboidratos estruturais (ZIMMERMANN, 1998). A regulação desta produção

enzimática é um processo dinâmico, com a expressão de diferentes enzimas, sendo modulada pela composição nutricional do alimento ingerido (XIAO et al., 2023).

As exigências nutricionais dos camarões variam significativamente entre as espécies e os estágios de desenvolvimento, mas alguns princípios fundamentais são universalmente conhecidos. A proteína, componente essencial das dietas, deve apresentar balanço adequado de aminoácidos essenciais, particularmente lisina, arginina e metionina (AYISI et al., 2017). Os lipídios devem conter ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, como o ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosapentaenoico (DHA), críticos para o desenvolvimento larval e a função imunológica (SOLLER et al., 2018). Os carboidratos, embora menos estudados, representam importante fonte energética, com níveis ótimos entre 15 e 30% da dieta, preferencialmente na forma de polissacarídeos complexos (ROSAS et al., 2000; ROSAS et al., 2001).

Os micronutrientes, incluindo vitaminas (particularmente C e E) e minerais como cálcio, zinco, potássio e selênio, desempenham papéis cruciais como cofatores enzimáticos e antioxidantes, protegendo os organismos contra o estresse oxidativo (MERCHIE et al., 2007; TRUONG et al., 2022). A interação entre estes componentes nutricionais e o sistema digestivo do camarão é fundamental para garantir não apenas o crescimento, mas também a resistência a doenças e a adaptação a diferentes condições ambientais (MIANDARE et al., 2017).

Os avanços recentes na nutrição de camarões têm enfrentado o desafio de substituir ingredientes tradicionais, como a farinha de peixe, por fontes alternativas mais sustentáveis (CHEN et al., 2023; KUO et al., 2024). Esta transição requer compreensão detalhada da capacidade digestiva dos camarões para diferentes matérias-primas, considerando fatores como digestibilidade, perfil de aminoácidos e presença de possíveis fatores antinutricionais (HERTRAMPF e PIEDAD-PASCUAL, 2000). Pesquisas atuais focam na otimização de dietas utilizando ingredientes inovadores como farinhas de insetos (SHARIFINIA et al., 2023; BARTH et al., 2025) e de microalgas (NUNES et al., 2025; ZHANG et al., 2025), sempre considerando a resposta adaptativa do sistema digestivo dos camarões a estas novas formulações.

O estudo da nutrição e da fisiologia digestiva em camarões continua a evoluir, com novas fronteiras de pesquisa explorando a modulação da microbiota intestinal (QU et al., 2025; WANG et al., 2025), a relação entre digestão e expressão gênica (SHAO et

al., 2025), e o desenvolvimento de dietas que possam melhorar simultaneamente o desempenho zootécnico e a resistência a estresses ambientais e patógenos (LI et al., 2025; THUY et al., 2025). Estes avanços são particularmente relevantes para espécies como o *M. amazonicum*, nos quais o entendimento detalhado da sua fisiologia digestiva pode abrir caminho para o desenvolvimento de protocolos alimentares mais eficientes e sustentáveis.

2.2.1 Enzimas digestivas de camarões

O sistema enzimático digestivo dos camarões apresenta complexa organização bioquímica que reflete sua adaptação evolutiva a diversos hábitos alimentares (ROMERO et al., 2021). As principais classes de enzimas digestivas incluem proteases, carboidrases, lipases e enzimas específicas para a digestão de componentes estruturais como quitina, cada uma com particularidades em sua expressão e regulação (PENG et al., 2022).

As proteases constituem o grupo mais estudado, com a tripsina e a quimotripsina sendo as principais endopeptidases no sistema digestivo dos camarões. Esta enzima, secretada na forma de tripsinogênio pelo hepatopâncreas, é ativada no lúmen intestinal por clivagem proteolítica (LE MOULLAC et al., 1997). A quimotripsina, outra protease importante, apresenta atividade ótima em pH mais alcalino (entre 8,5 e 9,0) comparada à tripsina que apresenta atividade ótima em pH 8,0, sugerindo complementação funcional no processo digestivo (VAN WORMHOUDT et al., 1992; SMALL, 2022).

As exopeptidases, incluindo carboxipeptidases A e B, completam o processo de digestão proteica a partir da liberação sequencial de aminoácidos a partir de peptídeos (D'ABRAMO e NEW, 2010). A atividade dessas enzimas mostra variações circadianas em algumas espécies, como *Penaeus vannamei*, com picos coincidindo com períodos naturais de alimentação (XU et al., 2020; GARCÍA-RODRÍGUEZ et al., 2021). As aminopeptidases, particularmente a leucina aminopeptidase, apresentam dupla função, participando tanto da digestão terminal quanto do processamento de peptídeos bioativos no hepatopâncreas (MATSUI et al., 2006; EZQUERRA et al., 2007).

No grupo das carboidrases, a α -amilase merece destaque por sua capacidade de hidrolisar ligações α -1-4-glicosídicas em amido e glicogênio (SUN et al., 2025). Estudo revelou que a amilase de *P. monodon* apresenta maior afinidade por amido de milho

comparado a outras fontes vegetais (NIU et al., 2012). A celulase, embora menos estudada, demonstra atividade significativa, sugerindo capacidade de aproveitar carboidratos fibrosos (KLAHAN et al., 2023). A quitinase, enzima especializada na digestão de quitina presente em exoesqueleto de artrópodes, apresenta padrão de expressão dependente da composição da dieta, com aumento significativo em camarões alimentados com dietas ricas em artrópodes, auxiliando também na regulação do sistema imune (ZHOU et al., 2017; NIU et al., 2018).

As lipases atuam preferencialmente na posição sn-1 de triglicerídeos, liberando ácidos graxos livres e 2-monoglicerídeos. As fosfolipases A2, enzima lipolítica importante, mostra especificidade por fosfolipídios contendo ácidos graxos poli-insaturados na posição sn-2 (RIVERA-PÉREZ et al., 2011; KUEPETHKAEW et al., 2016). A atividade dessas enzimas está intimamente relacionada ao perfil lipídico da dieta, com aumento significativo em resposta a dietas ricas em fosfolipídios (RIVERA-PÉREZ et al., 2010).

A regulação da produção enzimática ocorre em diversos níveis: 1- Regulação nutricional, em que dietas ricas em proteínas estimulam a síntese de proteases, enquanto carboidratos complexos induzem a produção de amilase (TALUKDAR et al., 2020); 2- Regulação hormonal, exemplificada por hormônios gastrointestinais semelhantes aos vertebrados, estimula a secreção de enzimas digestivas no sistema neuroendócrino de crustáceos (RESCH-SEDLMEIER et al., 1999); e 3- Regulação ontogenética, em que larvas, por exemplo, apresentam menor atividade de amilase em comparação aos adultos (FANG e LEE, 1992).

A compreensão detalhada desse sistema enzimático é importante para a formulação de dietas balanceadas que maximizem a digestibilidade, o desenvolvimento de alimentos funcionais com ativadores enzimáticos, a identificação de marcadores fisiológicos, a avaliação nutricional e a seleção genética de linhagens com melhor eficiência alimentar (PARDEDE et al., 2024).

2.3 Ingredientes proteicos em dietas para camarões

A seleção de ingredientes proteicos para formulação de rações destinadas ao cultivo de camarões representa um dos aspectos mais críticos na carcinicultura. A

qualidade e origem das fontes proteicas influenciam diretamente o desempenho zootécnico, a saúde dos organismos e a sustentabilidade ambiental da atividade (PAZMIÑO et al., 2025). Tradicionalmente, a indústria de rações para camarões tem se baseado em matérias-primas convencionais de alta qualidade, porém, nas últimas décadas, o surgimento de ingredientes alternativos vem transformando os paradigmas nutricionais neste setor (BANDARA, 2018).

2.3.1 Ingredientes proteicos convencionais

Entre as fontes proteicas convencionais mais utilizadas na alimentação de camarões, a farinha de peixe ocupa posição de destaque devido ao seu excelente perfil de aminoácidos essenciais e a sua alta digestibilidade (TACON; METIAN, 2008). Este ingrediente, derivado principalmente de pescado industrial, apresenta teores proteicos entre 50 e 70%, com níveis ideais de lisina (5,2 a 6,5%), arginina (3,8 a 4,5%) e metionina (2,1 a 2,8%), atendendo às exigências nutricionais das principais espécies cultivadas (NEW et al., 2010; NRC, 2011). A farinha de peixe é uma fonte proteica utilizada na nutrição de camarões em seus diversos estágios de desenvolvimento (CHEN et al., 2023).

O farelo de soja pode ser a principal alternativa vegetal à farinha de peixe, com teores proteicos entre 45 e 50% e com balanço de aminoácidos que se aproxima ao da farinha de peixe (DAVIS e ARNOLD, 2000). No entanto, sua utilização enfrenta desafios importantes, incluindo a presença de fatores antinutricionais como inibidores enzimáticos, lectinas e fitatos (NRC, 2011; PENG et al., 2022), que podem reduzir a disponibilidade de nutrientes e afetar a saúde intestinal dos camarões. Processos tecnológicos como extrusão, fermentação e tratamento enzimático têm sido empregados para mitigar estes efeitos negativos, com diferentes graus de sucesso (YANG et al., 2015; CHEN et al., 2021; BOONMEE et al., 2024).

Outros ingredientes convencionais incluem a farinha de glúten de milho que possui teor proteico entre 60 e 65% de proteína, também com alto teor de energia metabolizável (3.705 Kcal.Kg⁻¹), porém limitada pelo desbalanceamento aminoacídico, especialmente em metionina (1,16 a 1,34%) (ROSTAGNO; ALBINO, 2024). A farinha de subprodutos avícolas também se destaca nas formulações, oferecendo teores proteicos

entre 55 e 65% e boa palatabilidade, embora sua qualidade possa variar conforme o processo de produção (CRUZ-SUÁREZ et al., 2007; MARKEY et al., 2010).

2.3.2 Ingredientes proteicos alternativos

A busca por fontes proteicas alternativas à farinha de peixe tem sido impulsionada pela necessidade de reduzir a dependência de recursos marinhos e melhorar a sustentabilidade da carcinicultura. Dentre as opções mais promissoras, destaca-se a farinha de insetos, principalmente a produzida a partir da larva da mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*) (CHANG et al., 2025). Este ingrediente apresenta teores proteicos entre 30 e 60%, com perfil de aminoácidos comparável ao da farinha de peixe, além de conter ácido láurico (C12:0) com reconhecida atividade antimicrobiana (BARRAGAN-FONSECA et al., 2017). Estudos com *P. vannamei* demonstraram que a farinha da mosca-soldado-negro pode substituir até 30% da proteína da farinha de peixe sem comprometer o desempenho zootécnico (CHEN et al., 2021; OTERI et al., 2021).

A microalga *Chlorella vulgaris* e a cianobactéria *Limnospira platensis* representam outra fonte alternativa de grande potencial, apresentando teores proteicos entre 50 e 70% (BECKER, 2007). Além do valor nutricional, estas são ricas em pigmentos carotenoides, como a astaxantina e a cantaxantina, que melhoram a coloração dos camarões (BASRI et al., 2015) e atuam como potentes antioxidantes (LIU et al., 2025). O principal desafio para a sua adoção em larga escala está nos custos de produção e de processamento, embora avanços recentes em sistemas tenham reduzido significativamente estes obstáculos (SHAH et al., 2018).

As proteínas unicelulares, derivadas de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) e bactérias (*Methylococcus capsulatus*), se sobressaem como ingredientes funcionais, combinando valor nutricional com efeitos prebióticos e imunomoduladores (CHEN et al., 2021; ZHANG et al., 2022). Formulações contendo entre 3 e 15% destes ingredientes demonstraram aumento da resistência de *P. vannamei* contra patógenos como *V. parahaemolyticus*.

Proteínas vegetais alternativas, como farinha de canola, concentrado proteico de soja e farinha de algodão, têm sido avaliadas como alternativas parciais, porém seu uso é limitado por fatores antinutricionais e desbalanceamento de aminoácidos (ESCOBAR-

ALVAREZ et al., 2023; VILLARREAL, 2023). Processos biotecnológicos, incluindo fermentação sólida e hidrólise enzimática estão sendo adotados para superar estas limitações (SHI et al., 2015; ZHANG et al., 2022).

A seleção ideal de ingredientes proteicos deve considerar não apenas a composição nutricional, mas também aspectos como digestibilidade dos nutrientes, efeitos sobre a saúde intestinal, impacto na qualidade da água, sustentabilidade ambiental, custo benefício e disponibilidade regional (WOUTERS et al., 2001; LI et al., 2022).

2.4 Mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*)

A mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*) é uma espécie da ordem Diptera e da família Stratiomyidae que tem se destacado na produção animal sustentável. Originária das regiões neotropicais, esta espécie apresenta ampla distribuição geográfica, ocorrendo em regiões tropicais e temperadas de todo o mundo devido à sua notável capacidade de adaptação (SHEPPARD et al., 2002). O ciclo de vida completo varia entre 35 e 45 dias em condições ótimas (28-30°C; 60-70% de umidade) e compreende estágios distintos: ovo, larva, pré-pupa, pupa e adulto (Figura 3), sendo a fase larval a mais relevante para aplicações zootécnicas (SABLE et al., 2024).



Figura 3. Representação do ciclo de vida de *H. illucens*. **Fonte:** Adaptado de Lievens et al. (2021).

As larvas de *H. illucens* se sobressaem por sua capacidade de converter diversos substratos orgânicos como resíduos agrícolas (bagaço de cana, frutas e legumes descartados e casca de arroz), resíduos urbanos (resíduos de feiras livres) e resíduos da aquicultura (resíduos de peixes e resíduos do beneficiamento de camarão), em biomassa de alto valor nutricional, característica que as tornam organismos de interesse para sistemas de economia circular (VAN HUIS et al., 2013; MADAU et al., 2020; SOKAME et al., 2024). Morfologicamente, as larvas podem atingir até 27 mm de comprimento e 200 mg de peso, apresentando coloração que varia do creme ao marrom escuro, dependendo da composição do substrato alimentar (BARRAGAN-FONSECA et al., 2017). Fisiologicamente, estas possuem sistema digestivo especializado, capaz de decompor ampla gama de compostos orgânicos, incluindo resíduos agroindustriais que seriam considerados poluentes em outros contextos (TETTAMANTI et al., 2022; GANESAN et al., 2024; BRUNO et al., 2025). Essas características de alta eficiência na conversão alimentar tornam a espécie com potencial para produção em larga escala (VAN HUIS et al., 2017).

Em escala comercial, a produção de *H. illucens* tem demonstrado viabilidade técnica e econômica, com sistemas automatizados alcançando produtividade de 10 a 15 toneladas de larvas frescas por mês (SALOMONE et al., 2017; NUGROHO et al., 2023). A eficiência de conversão de resíduos em biomassa varia entre 10% e 25%, dependendo do substrato utilizado, sendo que dietas à base de restos alimentares ou farelo de cereais resultam em teores proteicos entre 40 e 45% e lipídios entre 25 e 35% com base na matéria seca (SHUMO et al., 2019). A padronização de protocolos de criação, aliada à legislação emergente para uso de insetos em rações animais (Regulamento UE 2017/893), tem impulsionado a expansão global desse mercado, projetado para atingir US\$ 3,4 bilhões até 2027 (MORDOR INTELLIGENCE, 2025).

2.4.1 Aspectos nutricionais da mosca-soldado-negro

A farinha obtida a partir das larvas de *H. illucens* representa fonte proteica alternativa de excelente qualidade para alimentação animal, com particular relevância para a carcinicultura (NUNES et al., 2023; KEETANON et al., 2024). As larvas contêm entre 30 e 60% de proteína, com perfil de aminoácidos que atende e alguns casos excedem

as exigências das principais espécies de camarão. Dentre os aminoácidos essenciais, destacam-se a lisina, a arginina e a metionina, ainda que a metionina possa variar conforme o substrato de criação utilizado (BARROSO et al., 2014).

A fração lipídica, que representa entre 15 e 35% da matéria seca, é particularmente relevante devido ao seu perfil de ácidos graxos. O ácido láurico (C12:0) pode constituir entre 30 e 50% do total de lipídios, um atributo único entre as fontes proteicas de interesse zootécnico (SPRANGHERS et al., 2017). Este ácido graxo de cadeia média apresenta comprovada atividade antimicrobiana contra bactérias, incluindo várias espécies de *Vibrio* que afetam camarões em cultivo (ROSSI et al., 2021). Além disso, a presença significativa dos ácidos palmítico (C16:0; entre 10 e 20%) e oleico (C18:1n9; entre 10 e 18%) contribui para a alta digestibilidade dos lipídios em crustáceos.

A quitina, um polissacarídeo estrutural que representa entre 3 e 10% da matéria seca das larvas, tem sido objeto de diversos estudos (WANG et al., 2020; GONZÁLEZ-LARA et al., 2025). Embora possa reduzir ligeiramente a digestibilidade para algumas espécies, estudos recentes sugerem que a quitina pode atuar como prebiótico e imunomodulador em camarões, estimulando a produção de enzimas quitinolíticas e ativando vias de defesa inata (PASCON et al., 2025). Esta dupla função torna a farinha de larvas da mosca-soldado-negro particularmente interessante como ingrediente funcional em dietas para camarões.

Do ponto de vista mineral, a farinha de larvas de *H. illucens* apresenta teores elevados de fósforo (0,6-1,2%), cálcio (2,5-8,0%) e magnésio (0,3-0,5%), com excelente biodisponibilidade (MAKKAR et al., 2014). O perfil vitamínico inclui quantidades significativas de vitaminas do complexo B (especialmente B12), vitamina E e carotenoides, estes últimos são importantes para a pigmentação e defesa antioxidante em crustáceos (ZULKIFLI et al., 2022).

Estudos específicos têm demonstrado que a substituição parcial da farinha de peixe por farinha de larvas de *H. illucens* em dietas para camarões não compromete o crescimento, a conversão alimentar e a sobrevivência (CHEN et al., 2023; CHANG et al., 2025). Alguns trabalhos reportam melhorias nos parâmetros imunológicos e da capacidade antioxidante total. Estes efeitos positivos parecem estar relacionados tanto à composição nutricional quanto à presença de compostos bioativos na farinha de larvas de *H. illucens* (KOUTSOS et al. 2022; NISHIGUCHI et al., 2024)

A qualidade nutricional da farinha de larvas da mosca-soldado-negro pode ser modulada a partir do substrato utilizado no cultivo (ST-HILAIRE et al., 2007). Substratos ricos em proteínas tendem a produzir larvas com maior teor proteico, enquanto substratos ricos em carboidratos resultam em larvas com maior conteúdo lipídico (OONINCX et al., 2019; GOLD et al., 2020; GROSSULE et al., 2025). Este grau de manipulação nutricional abre possibilidades para a produção de farinhas de acordo com as necessidades dos camarões em suas diferentes fases de cultivo.

2.5 Sistema imune e estresse oxidativo em camarões

A aquicultura intensiva, caracterizada por altas densidades de estocagem e condições ambientais controladas, impõe desafios fisiológicos significativos aos camarões cultivados, tornando-os mais suscetíveis a surtos infecciosos e desequilíbrios metabólicos. Historicamente, a carcinicultura enfrentou perdas devastadoras devido aos patógenos como o vírus da mancha branca (WSSV) e bactérias do gênero *Vibrio*, evidenciando a necessidade de compreender os mecanismos de defesa desses organismos (FLEGEL, 2019; LIU et al., 2024). Como invertebrados, os crustáceos dependem exclusivamente da imunidade inata, um sistema que combina barreira física, respostas celulares e humorais para neutralizar ameaças (SÖDERHALL e CERENIUS, 1992; BACHÈRE, 2000; HUANG et al., 2020).

2.5.1 Mecanismos de defesa imunológica

Os camarões, como todos os crustáceos, possuem sistema imunológico inato que lhes permite enfrentar os desafios patogênicos em seu ambiente. A primeira linha de defesa é constituída pelo exoesqueleto quitinoso, uma barreira física eficaz contra a maioria dos microrganismos invasores (BACHÈRE et al., 2004). Complementando esta proteção, o trato gastrointestinal apresenta uma camada de quitina e peptídeos antimicrobianos que atuam como barreira química, impedindo a colonização por patógenos (DESTOUMIEUX et al., 1997). Quando essas defesas primárias são ultrapassadas, seja durante o processo fisiológico de muda ou por lesões acidentais, entra

em ação um sistema de respostas celulares e humorais mediadas pela hemolinfa (CERENIUS e SÖDERHALL et al., 2004; AN et al., 2016).

Os hemócitos, células especializadas presentes na hemolinfa, representam o principal componente celular do sistema imunológico dos camarões (JIRAVANICHPAISAL et al., 2006). Estes podem ser classificados em três tipos principais com funções distintas: os hemócitos agranulares são encarregados da fagocitose de partículas menores e do processo de coagulação; os hemócitos semigranulares especializados na encapsulação de patógenos maiores; e os hemócitos granulares que armazenam e liberam enzimas citotóxicas como a profenoloxidase (CERENIUS et al., 2008; KIM et al., 2024). Esta última enzima é de extrema importância, pois desencadeia a cascata de melanização que produz intermediários reativos com potente ação antimicrobiana (CHAROENSAPSRI et al., 2014; THONGSOI et al., 2024).

Paralelamente à resposta celular, o sistema imune humoral atua a partir da produção de diversas moléculas efetoras. As lectinas, proteínas capazes de reconhecer padrões moleculares específicos de patógenos, desempenham papel crucial na identificação inicial de ameaças (MA et al., 2007; LUO et al., 2011). Complementando esta ação, peptídeos antimicrobianos como as penaeidinas e as crustinas atuam diretamente na neutralização de microrganismos, enquanto as lisozimas degradamativamente as paredes celulares bacterianas (KANG et al., 2007; ANTONY et al., 2011). Além disso, ainda há a produção de armadilhas extracelulares, que são estruturas complexas compostas por DNA e proteínas granulares que efetivamente capturam e neutralizam os invasores.

2.5.2 Estresse oxidativo e defesas antioxidantes

Em condições de cultivo intensivo, os camarões estão frequentemente expostos a situações que podem levar ao estresse oxidativo, um desequilíbrio que ocorre quando a produção de espécies reativas de oxigênio supera a capacidade do sistema antioxidante (LUSHCHAK, 2011). Este fenômeno pode ser desencadeado por diversos fatores, incluindo variações bruscas de parâmetros ambientais como temperatura e salinidade, presença de poluentes na água, deficiências nutricionais ou infecções patogênicas (PARRILLA-TAYLOR et al., 2011; KARI et al., 2025).

Para combater estas ameaças, os camarões possuem sistema antioxidante composto por múltiplas linhas de defesa. No nível enzimático, destacam-se a superóxido dismutase, responsável pela conversão do ânion superóxido em peróxido de hidrogênio (FRIDOVICH, 1995; SHENG et al., 2014); a catalase e glutationa peroxidase que transformam o peróxido de hidrogênio em água e oxigênio (WANG et al., 2012; TRASVIÑA-ARENAS et al., 2013; XIA; WU, 2018); e a glutationa-S-transferase, envolvida na desintoxicação de compostos eletrofílicos (CONTRERAS-VERGARA et al., 2007; ZHOU et al., 2009). Complementando esta ação, um conjunto de antioxidantes não enzimáticos, incluindo vitamina E, carotenoides e flavonoides, atuam na neutralização direta de radicais livres (HAN et al., 2012; TSOUPRAS et al., 2024).

A avaliação do estresse oxidativo em camarões é realizada a partir da medição de marcadores bioquímicos específicos. O malondialdeído, produto final da peroxidação lipídica, e as proteínas carboniladas, indicativas de dano oxidativo às estruturas proteicas, são parâmetros frequentemente utilizados (DALLE-DONE et al., 2003). Pesquisas têm demonstrado que estratégias nutricionais, como a suplementação vitamínica (ASAIKKUTTI et al., 2023), extratos vegetais (CITARASU et al. 2006) e óleos essenciais (REVETER et al., 2014), podem melhorar significativamente a resistência dos camarões a patógenos e estresses ambientais, reduzindo os danos oxidativos e melhorando o desempenho zootécnico.

No contexto da *H. illucens*, é relevante destacar que a farinha das larvas apresenta componentes com potencial modulador tanto do sistema imune quanto do sistema antioxidante dos camarões. O ácido láurico, presente em quantidade significativa, demonstra atividade antimicrobiana contra bactérias do gênero *Vibrio* (SPRANGHERS et al., 2017). Simultaneamente, a quitina estimula a produção de enzimas quitinolíticas dos camarões e ativa as vias imunes específicas (PASCON et al., 2025), enquanto os carotenoides naturais reforçam a capacidade antioxidante dos camarões (WADE et al., 2015; LING et al., 2025). Esta sinergia de efeitos, coloca a farinha de larvas da mosca-soldado-negro como ingrediente promissor para formulações de rações que visam o crescimento, a saúde e a resistência a doenças em sistemas de cultivo.

2.6 Vibrioses na carcinicultura

As doenças bacterianas representam um dos principais desafios para a sustentabilidade da carcinicultura mundial, com perdas econômicas significativas que podem atingir grande parte da produção (EL-SAADONY et al., 2022). Entre os patógenos mais relevantes, destacam-se as bactérias do gênero *Vibrio*, particularmente *V. parahaemolyticus* e *V. harveyi*, responsáveis por doenças como a Síndrome da Necrose Hepatopancreática Aguda (AHPND), anteriormente conhecida como Síndrome da Mortalidade Precoce (TRAN et al., 2013; KARUNASAGAR et al., 2018). Estas infecções são consideradas problemas crônicos na indústria de cultivo de camarões, manifestando-se principalmente na fase final de crescimento com sintomas característicos que incluem letargia, coloração avermelhada dos apêndices, alterações na coagulação da hemolinfa, melanização da cutícula e opacidade muscular (KEAWTHONG et al., 2023; THUY et al., 2025).

2.6.1 *Vibrio parahaemolyticus*

Vibrio parahaemolyticus é uma bactéria Gram-negativa, halofílica, em forma de bastonete, amplamente distribuída em regiões costeiras de climas temperados e tropicais (RIVAS-MONTAÑO et al., 2021). Sua patogenicidade está associada a diversos fatores de virulência, sendo os mais relevantes, a hemolisina termoestável direta (TDH), que provoca lise celular e danos teciduais (HONDA et al., 1992), a hemolisina termoestável relacionada (TRH), que atua como enterotoxina (WEST et al., 2013), e a urease (ureR), que compromete a barreira intestinal facilitando a colonização bacteriana (WANG et al., 2015). Além disso, cepas patogênicas produzem a toxina PirAB, responsável por lesões graves no hepatopâncreas que levam a necrose tecidual e mortalidade em massa nos cultivos (ZHENG et al., 2021; SANTOS et al., 2022).

A ecologia deste patógeno está intimamente ligada às condições ambientais dos viveiros de cultivo. Fatores como temperatura elevadas (acima de 30°C), pH alto (acima de 8,0), baixa oxigenação e excesso de nutrientes criam condições ideais para sua proliferação (BOONYAWANTANG et al., 2012; MAHIEDDINE et al., 2025). Estas bactérias utilizam a quitina, componente abundante no exoesqueleto dos camarões, como

fonte primária de carbono (SOTO-RODRIGUES et al., 2015). Esta adaptação, somada à sua versatilidade genética a partir de transferência horizontal de genes e altas taxas de mutação, torna o controle desses patógenos uma situação desafiadora (JOHNSON, 2013; VANDEPUTTE et al., 2024).

O impacto econômico do *V. parahaemolyticus* na carcinicultura foi evidenciado pelos surtos ocorridos entre 2009 e 2013 na Ásia e no México, que acarretaram em perdas significativas na produção, alcançando prejuízos de US\$ 43 bilhões (KUMAR et al., 2021). Além dos prejuízos diretos à aquicultura, esta espécie tem importância em saúde pública como um dos principais agentes de gastroenterite humana associada ao consumo de pescado cru ou mal cozido (BROBERG et al., 2011), acrescentando um ponto adicional aos desafios de seu controle.

A resistência antimicrobiana emergente entre as cepas de *Vibrio* representa uma preocupação crescente (THAOTUMPITAK et al., 2024). O uso histórico de antibióticos na aquicultura, muitas vezes de forma indiscriminada, levou ao desenvolvimento de resistência microbiana e à disseminação de genes de resistência entre populações bacterianas (VAIYAPURI et al., 2021). Este cenário tem impulsionando a busca por alternativas sustentáveis de controle, como o uso de probióticos (BUTT et al., 2021; ABDEL-LATIF et al., 2022), prebióticos (BARRIOS et al., 2023; EIASSA et al., 2025) e ingredientes alternativos como moduladores imunológicos, incluindo a farinha de *H. illucens* (CHEN et al., 2023), que apresenta componentes com atividade antimicrobiana comprovada contra *Vibrio* spp.

As estratégias de manejo para prevenção de vibrioses devem considerar abordagens integradas, incluindo o monitoramento rigoroso da qualidade da água, controle de densidades de estocagem, implementação de boas práticas de biossegurança e o desenvolvimento de dietas funcionais que fortalecem a resistência dos camarões (LIGHTNER et al., 2012; ZERMEÑO-CERVANTES et al., 2023; KARI, 2025). Medidas como restrição de acesso a áreas afetadas, tratamento adequado de efluentes e suspensão da comercialização de lotes infectados são essenciais para conter surtos e minimizar perdas econômicas.

A compreensão aprofundada da ecologia, mecanismos de patogenicidade e interações hospedeiro-patógeno de *V. parahaemolyticus* é fundamental para o desenvolvimento das estratégias eficazes de controle que garantem a sustentabilidade da

carcinicultura frente a este desafio sanitário. Pesquisas recentes têm explorado tanto abordagens tradicionais, como a seleção de linhagens de camarões mais resistentes, quanto inovações tecnológicas, incluindo enzimas específicas e moduladoras da microbiota intestinal (WANG et al., 2019; ARCE et al., 2021; SOLER et al., 2025), gerando novas perspectivas para o manejo sustentável desta importante patologia na produção de camarões.

2.7 Sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica da farinha de larvas de *Hermertia illucens* na carcinicultura

A substituição da farinha de peixe por fontes proteicas alternativas representa um dos maiores desafios para a sustentabilidade do setor, em função do aumento da produção aquícola e pelo crescimento da demanda de rações (FAO, 2024).

O potencial sustentável da farinha de *H. illucens* é particularmente relevante quando considerada sua capacidade de converter resíduos agroindustriais em biomassa de alto valor nutricional, fechando ciclos de nutrientes que normalmente seriam destinados a aterros ou corpos d'água (LIU et al., 2022; BRUNO et al., 2025). Estas características posicionam a produção de insetos como uma potencial fonte proteica alternativa para a aquicultura, transformando subprodutos que representam passivos ambientais em insumos valiosos para a produção de alimentos. Além disso, o cultivo de insetos requer significativamente menos água que a produção de proteínas convencionais, um aspecto crucial diante da crescente escassez hídrica (MIGLIETTA et al., 2015).

No entanto, os desafios econômicos para adoção em larga escala permanecem significativos, pois o custo de produção da farinha de *H. illucens* ainda é superior ao da farinha de peixe convencional. A farinha de larva de mosca-soldado-negro pode custar US\$ 2,0-3,0 por Kg, enquanto a farinha de peixe pode variar entre US\$ 1,5/2,0 por Kg, diferença de preços atribuída principalmente à escala ainda limitada de produção e aos custos associados ao processamento pós-colheita (SOGARI et al., 2023). Esta disparidade de custos representa importante barreira para adoção generalizada pela indústria.

A análise custo-benefício deve considerar fatores além do preço direto do ingrediente. Estudos de ciclo de vida demonstram que quando internalizados os custos ambientais associados à produção de farinha de peixe (impactos sobre biodiversidade

marinha, emissões de carbono e eutrofização), a farinha de insetos se torna competitiva (SMETANA et al., 2016). Adicionalmente, os benefícios indiretos, como a redução na incidência de doenças e melhoria na saúde dos camarões, podem resultar em economias significativas.

Do ponto de vista regulatório, a aprovação do uso de farinha de insetos na aquicultura pela União Europeia em 2017 e posteriormente, por outros países criou um marco importante para a expansão deste mercado (Regulamento UE 2017/893; MEIJER et al., 2025). O cenário regulatório brasileiro para o uso da farinha de insetos na alimentação humana apresenta característica peculiar, embora não exista proibição ao consumo de insetos por humanos, a ausência de normativas específicas acaba limitando sua produção em escala industrial (SCHARDONG et al., 2019).

Contrastando com essa situação, o uso de insetos na alimentação animal encontra respaldo legal mais consolidado. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento autoriza desde 2017 a utilização de larvas processadas de *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* e *Hermetia illucens* como ingredientes para ração animal (MAPA, 2017).

Perspectivas futuras sugerem que a otimização dos processos de produção, o aumento da escala produtiva e o desenvolvimento de cadeias logísticas deverão reduzir significativamente os custos da farinha de insetos nos próximos anos (SMETANA et al., 2016; AUZINS et al., 2024). Paralelamente, a valorização de produtos aquícolas certificados como sustentáveis no mercado internacional pode criar incentivos econômicos adicionais para adoção desta tecnologia (MANCINI et al., 2022). A combinação entre pressões ambientais crescentes, avanços tecnológicos e mudanças nas preferências do mercado sugere que a farinha de larvas da mosca-soldado-negro está a desempenhar papel cada vez mais importante na nutrição aquícola sustentável, representando solução viável para o desafio de produzir mais proteína de qualidade com menor impacto ambiental (DICKE, 2018).

3. REFERÊNCIAS GERAIS

- ABDEL-LATIF, Hany M. R. *et al.* Shrimp vibriosis and possible control measures using probiotics, postbiotics, prebiotics, and synbiotics: A review. **Aquaculture**, v. 551, p. 737951, 30 mar. 2022.
- ABDUL KARI, Zulhisyam. Abiotic and biotic factors affecting the immune system of aquatic species: A review. **Comparative Immunology Reports**, v. 9, p. 200230, 1 dez. 2025b.
- ABDUL KARI, Zulhisyam. Nutritional immunomodulation in aquaculture: functional nutrients, stress resilience, and sustainable health strategies. **Aquaculture International 2025 33:6**, v. 33, n. 6, p. 1–53, 12 jul. 2025a.
- ALLEN DAVIS, D.; ARNOLD, C. R. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 185, n. 3–4, p. 291–298, 25 maio 2000.
- AN, Ming Yu *et al.* A new subfamily of penaeidin with an additional serine-rich region from kuruma shrimp (*Marsupenaeus japonicus*) contributes to antimicrobial and phagocytic activities. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 59, p. 186–198, 1 jun. 2016.
- ANGÉLICA ZERMEÑO-CERVANTES, Lina *et al.* *Penaeus vannamei* challenged with a *Vibrio parahaemolyticus* AHPND strain shows hepatopancreatic microbiota imbalance. **Ciencias Marinas**, v. 49, p. 2023, 14 jun. 2023.
- ANGER, Klaus; HAYD, Liliam. Feeding and growth in early larval shrimp *Macrobrachium amazonicum* from the Pantanal, southwestern Brazil. **Aquatic Biology**, v. 9, n. 3, p. 251–261, 1 jun. 2010.
- ANGER, Klaus; HAYD, Liliam. From lecithotrophy to planktotrophy: Ontogeny of larval feeding in the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Aquatic Biology**, v. 7, n. 1–2, p. 19–30, 2009.
- ANTONY, Swapna P. *et al.* Molecular characterization of a crustin-like antimicrobial peptide in the giant tiger shrimp, *Penaeus monodon*, and its expression profile in response to various immunostimulants and challenge with WSSV. **Immunobiology**, v. 216, n. 1–2, p. 184–194, 1 jan. 2011.

- ASAIKKUTTI, Annamalai *et al.* Effect of dietary supplementation of vitamin C-loaded chitosan nanoparticles on growth, immune-physiological parameters, and resistance of white shrimp *Litopenaeus vannamei* to *Vibrio harveyi* challenge. **Animal Feed Science and Technology**, v. 305, p. 115764, 1 nov. 2023.
- AUZINS, Alberts *et al.* Assessing the Socio-Economic Benefits and Costs of Insect Meal as a Fishmeal Substitute in Livestock and Aquaculture. **Animals**, v. 14, n. 10, p. 1461, 1 maio 2024.
- AYISI, Christian Larbi *et al.* Recent Studies Toward the Development of Practical Diets for Shrimp and Their Nutritional Requirements. **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 24, n. 3, p. 109–117, 1 jul. 2017.
- BACHERE, E. Shrimp immunity and disease control. **Aquaculture**, v. 191, n. 1–3, p. 3–11, 20 nov. 2000.
- BACHÈRE, Evelyne *et al.* Insights into the anti-microbial defense of marine invertebrates: the penaeid shrimps and the oyster *Crassostrea gigas*. **Immunological Reviews**, v. 198, n. 1, p. 149–168, 1 abr. 2004.
- BANDARA, T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges. **Journal of Entomolgy and Zoology Studies**, v. 6, n. 2, p. 3087-3094, 2018.
- BARRAGAN-FONSECA, K. B.; DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 3, n. 2, p. 105–120, 2017.
- BARROSO, Fernando G. *et al.* The potential of various insect species for use as food for fish. **Aquaculture**, v. 422–423, p. 193–201, 20 fev. 2014.
- BARTH, Annalena *et al.* From Plant By-Products to Insects to Shrimp: A Pathway to Sustainable Aquaculture Feed in a Circular Economy. **Aquaculture Nutrition**, v. 2025, n. 1, p. 7288318, 1 jan. 2025.
- BASRI, Najamuddin Abdul *et al.* The potential of microalgae meal as an ingredient in the diets of early juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of Applied Phycology**, v. 27, n. 2, p. 857–863, 1 abr. 2015.
- BASTOS, Argemiro Midonê; LIMA, Jô Farias; TAVARES-DIAS, Marcos. Effect of increase in temperature on the survival and growth of *Macrobrachium amazonicum* (Palaemonidae) in the Amazon. **Aquatic Living Resources**, v. 31, p. 21, 2018.

- BECKER, E. W. Micro-algae as a source of protein. **Biotechnology Advances**, v. 25, n. 2, p. 207–210, 1 mar. 2007.
- BENTES, Bianca *et al.* Population dynamics of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) in a Brazilian Amazon Estuary. *[S.d.]*.
- BOONMEE, Teerapat *et al.* Improvement of nutritive value of soybean meal by microbial hydrolysis with *Bacillus subtilis* Hs-2 for use as raw material in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. **Aquaculture Reports**, v. 35, p. 101943, 1 abr. 2024.
- BOONYAWANTANG, Arisara *et al.* Behavior of pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* in prawn in response to temperature in laboratory and factory. **Food Control**, v. 26, n. 2, p. 479–485, 1 ago. 2012.
- BROBERG, Christopher A.; CALDER, Thomas J.; ORTH, Kim. *Vibrio parahaemolyticus* cell biology and pathogenicity determinants. **Microbes and Infection**, v. 13, n. 12–13, p. 992–1001, 1 nov. 2011.
- BRUNO, D. *et al.* Review: A journey into the black soldier fly digestive system: From current knowledge to applied perspectives. **animal**, p. 101483, 14 mar. 2025a.
- BUTT, Usman Dawood *et al.* Overview of the latest developments in the role of probiotics, prebiotics and synbiotics in shrimp aquaculture. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 114, p. 263–281, 1 jul. 2021.
- CERENIUS, Lage; LEE, Bok Luel; SÖDERHÄLL, Kenneth. The proPO-system: pros and cons for its role in invertebrate immunity. **Trends in Immunology**, v. 29, n. 6, p. 263–271, 1 jun. 2008.
- CERENIUS, Lage; SÖDERHÄLL, Kenneth. The prophenoloxidase-activating system in invertebrates. **Immunological Reviews**, v. 198, n. 1, p. 116–126, 1 abr. 2004.
- CHANG, Tong *et al.* Impact of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on health, muscle texture, and intestinal microbiota in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 596, p. 741755, 15 fev. 2025a.
- CHAROENSAPSRI, Walaiporn *et al.* Melanization reaction products of shrimp display antimicrobial properties against their major bacterial and fungal pathogens. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 47, n. 1, p. 150–159, 1 nov. 2014.

CHEN, Songming *et al.* Effects of *Bacillus subtilis*-fermented soybean meal replacing fish meal on antioxidant activity, immunity, endoplasmic reticulum stress and hepatopancreas histology in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Frontiers in Marine Science**, v. 11, p. 1449066, 22 jul. 2024.

CHEN, Yongkang *et al.* Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) revealed by innate immunity and 16S rRNA gene sequencing analysis. **Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics**, v. 46, p. 101080, 1 jun. 2023.

CHEN, Yongkang *et al.* Evaluation of the Dietary Black Soldier Fly Larvae Meal (*Hermetia illucens*) on Growth Performance, Intestinal Health, and Disease Resistance to *Vibrio parahaemolyticus* of the Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. 706463, 10 ago. 2021a.

CHEN, Yongkang *et al.* Replacement of fish meal with Methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 541, p. 736801, 30 ago. 2021b.

CHEN, Yongkang *et al.* Retrospect of fish meal substitution in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed: Alternatives, limitations and future prospects. **Reviews in Aquaculture**, v. 16, n. 1, p. 382–409, 1 jan. 2024.

CHENG, Ann Chang; KANG, Rui Jun; LIU, Chun Hung. Fermented fish meal derived from barramundi by-product enhances growth, immunity, and gut microbiota in white shrimp *Penaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 610, p. 742876, 30 out. 2026.

CITARASU, Thavasimuthu *et al.* Influence of selected Indian immunostimulant herbs against white spot syndrome virus (WSSV) infection in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* with reference to haematological, biochemical and immunological changes. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 21, n. 4, p. 372–384, 1 out. 2006.

COLLART, O. Odinetz; MAGALHÃES, C. Ecological constraints and life history strategies of palaemonid prawns in Amazonia. **Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen**, v. 25, n. 4, p. 2460–2467, out. 1994.

COMMISSION REGULATION (EU) 2017/893. **Regulation - 2017/893 - EN - EUR-Lex**. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/893/oj>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

- CONTRERAS-VERGARA, Carmen A. *et al.* A Mu-class glutathione S-transferase from gills of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei*: Purification and characterization. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, v. 21, n. 2, p. 62–67, 1 abr. 2007.
- CORRALES-BARRIOS, Yulaine *et al.* Effects of Fructooligosaccharides (FOS) on the Immune Response of the Shrimp *Penaeus vannamei* and on the Reduction in *Vibrio* spp. and *Pseudomonas* spp. in Cultures of Post-Larvae. **Microbiology Research 2023, Vol. 14, Pages 870-882**, v. 14, n. 3, p. 870–882, 8 jul. 2023.
- CRUZ-SUÁREZ, Lucia Elizabeth *et al.* Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. **Aquaculture**, v. 272, n. 1–4, p. 466–476, 26 nov. 2007.
- CRUZ-SUÁREZ, Lucía Elizabeth; GONZÁLEZ-FÉLIX, Mayra Lizett; PEREZ-VELAZQUEZ, Martin. Digestive anatomy and physiology of shrimp. In: KUMAR, Vikas (Org.). **Nutrition and Physiology of Fish and Shellfish: Feed Regulation, Metabolism, and Digestion**. [S.l.]: Academic Press, 2025. p. 691–741.
- DALLE-DONNE, Isabella *et al.* Protein carbonyl groups as biomarkers of oxidative stress. **Clinica Chimica Acta**, v. 329, n. 1–2, p. 23–38, 1 mar. 2003.
- DANIEL GARCÍA-RODRÍGUEZ, Luis *et al.* Enzymatic activity in the shrimp *Penaeus vannamei* fed at different feeding frequencies. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 49, n. 2, p. 280–288, 2021.
- DE LOS SANTOS ROMERO, Rodolfo *et al.* Variations of digestive enzymatic activity of the longarm river prawn, *Macrobrachium tenellum* (Smith 1871) adapted from the wild to culture with prepared meals. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 53, n. 3, p. 681–692, 1 jun. 2022.
- DE LOS SANTOS, Marcelo Victorio *et al.* The *Vibrio parahaemolyticus* subunit toxin PirBvp recognizes glycoproteins on the epithelium of the *Penaeus vannamei* hepatopancreas. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 257, p. 110673, 1 jan. 2022.
- DE QUEIROZ, Geisiany Maria *et al.* História natural de *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) e sua importância em reservatórios neotropicais do sudeste brasileiro. 4 set. 2017.

- DESTOUMIEUX, Delphine *et al.* Penaeidins, a New Family of Antimicrobial Peptides Isolated from the Shrimp *Penaeus vannamei* (Decapoda). **Journal of Biological Chemistry**, v. 272, n. 45, p. 28398–28406, 7 nov. 1997.
- DICKE, M. Insects as feed and the Sustainable Development Goals. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 4, n. 3, p. 147–156, 2018.
- DOS SANTOS, Lilian Dena *et al.* Increasing levels of crude protein in practical diets for amazon prawn. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, n. 3, p. 417–425, 25 set. 2017.
- EISSA, El Sayed Hemdan *et al.* Dietary supplementation with fermented prebiotics and probiotics can increase growth, immunity, and histological alterations in Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) challenged with *Vibrio parahaemolyticus*. **Aquaculture International**, v. 33, n. 1, p. 1–24, 1 fev. 2025.
- EL-SAADONY, M. E.; SWELUM, A. A.; GHANIMA, M. M. A.; SHUKRY, M.; OMAR, A. A.; TAHAA, A. E.; SALEM, H. M.; EL-TAHAN, A.; EL-TARABILY, K. A.; EL-HACK, M. E. A. Shrimp production, the most importante diseases that threaten it, and the role of probiotics in confronting these diseases: A review. **Research in Veterinary Science**, v. 144, p. 126–140, 2022.
- ESCOBAR-ALVAREZ, Rafael *et al.* Effects of soybean and canola meals as dietary protein sources on the production performance and meat quality of shrimp. **Veterinaria México OA**, v. 9, n. 1, p. 2022, 22 mar. 2022.
- FANG, Lee Shing; LEE, Bon Ning. Ontogenic change of digestive enzymes in *Penaeus monodon*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry**, v. 103, n. 4, p. 1033–1037, 1 dez. 1992.
- FAO, Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**, 7 jun. 2024.
- FLEGEL, Timothy W. A future vision for disease control in shrimp aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 50, n. 2, p. 249–266, 1 abr. 2019.
- FRANCESCHINI-VICENTINI, Irene Bastos *et al.* Histoarchitectural Features of the Hepatopancreas of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*. **International Journal of Morphology**, v. 27, n. 1, p. 121–128, 2009a.
- FRIDAVICH, Irwin. Superoxide radical and superoxide dismutases. **Annual Review of Biochemistry**, v. 64, n. Volume 64, 1995, p. 97–112, 1 jul. 1995.

- FU, Chun *et al.* Insects as Sustainable Feed: Enhancing Animal Nutrition and Reducing Livestock Environmental Impression. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 109, n. 2, p. 280–290, 1 mar. 2024.
- G, Pascon *et al.* Chitin and its effects when included in aquafeed. **Aquaculture International** **2025** **33:3**, v. 33, n. 3, p. 1–23, 20 fev. 2025a.
- GANESAN, Abirami Ramu *et al.* Food waste-derived black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval resource recovery: A circular bioeconomy approach. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 184, p. 170–189, 1 abr. 2024.
- GEPHART, Jessica A. *et al.* Environmental performance of blue foods. **Nature**, v. 597, n. 7876, p. 360–365, 16 set. 2021.
- GOLD, Moritz *et al.* Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. **Waste Management**, v. 102, p. 319–329, 1 fev. 2020.
- GONZÁLEZ-LARA, Hugo *et al.* Black Soldier Fly Culture as a Source of Chitin and Chitosan for Its Potential Use in Concrete: An Overview. **Polymers** **2025**, **Vol. 17, Page 717**, v. 17, n. 6, p. 717, 8 mar. 2025.
- GROSSULE, Valentina *et al.* Biowaste treatment using black soldier fly larvae: Effect of substrate macronutrients on process performance. **Journal of Environmental Management**, v. 373, p. 123605, 1 jan. 2025.
- GUERREIRO, Sávio L. M. *et al.* Integrating Aquaponics with *Macrobrachium amazonicum* (Palaemonidae: Decapoda) Cultivation for the Production of Microgreens: A Sustainable Approach. **AgriEngineering** **2024**, **Vol. 6, Pages 2718-2731**, v. 6, n. 3, p. 2718–2731, 7 ago. 2024.
- GUTIERREZ WEST, Casandra K.; KLEIN, Savannah L.; LOVELL, Charles R. High frequency of virulence factor genes *tdh*, *trh*, and *thl* in *Vibrio parahaemolyticus* strains isolated from a pristine estuary. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 7, p. 2247–2252, abr. 2013.
- HAN, Rui Min; ZHANG, Jian Ping; SKIBSTED, Leif H. Reaction Dynamics of Flavonoids and Carotenoids as Antioxidants. **Molecules** **2012**, **Vol. 17, Pages 2140-2160**, v. 17, n. 2, p. 2140–2160, 21 fev. 2012.

- HERTRAMPF, Joachim W.; PIEDAD-PASCUAL, Felicitas. **Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds.** [S.l.]: Springer Netherlands, 2000.
- HONDA, T. *et al.* The thermostable direct hemolysin of *Vibrio parahaemolyticus* is a pore-forming toxin. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 38, n. 11, p. 1175–1180, 2011.
- HUANG, Zishu *et al.* Modulation of Crustacean Innate Immune Response by Amino Acids and Their Metabolites: Inferences From Other Species. **Frontiers in Immunology**, v. 11, p. 574721, 5 nov. 2020.
- JAFIR, Muhammad *et al.* Greenhouse gases emission from edible insect species. In: RAHIMPOUR, Mohammad Reza; MAKAREM, Mohammad Amin; MESHKSAR, Maryam (Orgs.). **Advances and Technology Development in Greenhouse Gases: Emission, Capture and Conversion: Greenhouse Gases Emissions and Climate Change.** [S.l.]: Elsevier, 2024. p. 205–225.
- JIRAVANICHPAISAL, Pikul; LEE, Bok Luel; SÖDERHÄLL, Kenneth. Cell-mediated immunity in arthropods: Hematopoiesis, coagulation, melanization and opsonization. **Immunobiology**, v. 211, n. 4, p. 213–236, 2 jun. 2006.
- JOHNSON, Crystal N. Fitness Factors in Vibrios: a Mini-review. **Microbial Ecology 2013 65:4**, v. 65, n. 4, p. 826–851, 10 jan. 2013.
- KANG, Cui Jie *et al.* Characterization and expression of a new subfamily member of penaeidin antimicrobial peptides (penaeidin 5) from *Fenneropenaeus chinensis*. **Molecular Immunology**, v. 44, n. 7, p. 1535–1543, 1 mar. 2007.
- KARUNASAGAR, I.; KARUNASAGAR, I.; Ecology, Virulence Factors and Global Spread of *Vibrio parahaemolyticus*. **Asian Fisheries Science**, v. 31, p. 15-28, 2018.
- KEAWTHONG, Chalinda *et al.* Immune responses and histopathological analyses of giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*, De Man 1879) challenged with a sub-lethal dose of decapod iridescent virus 1 (DIV1) and chemical control investigation. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 137, p. 108792, 1 jun. 2023.
- KEETANON, Arunothai *et al.* Effects of black soldier fly larval meal on the growth performance, survival, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture International**, v. 32, n. 2, p. 2233–2248, 1 abr. 2024.

KIM, Ji Hoon *et al.* Expressions of Immune Prophenoloxidase (proPO) System-Related Genes Under Oxidative Stress in the Gonads and Stomach of the Mud Crab (*Macrophthalmus japonicus*) Exposed to Endocrine-Disrupting Chemicals. **Antioxidants 2024, Vol. 13, Page 1433**, v. 13, n. 12, p. 1433, 21 nov. 2024.

KLAHAN, Rungkan *et al.* Growth Performance, Feed Utilisation, Endogenous Digestive Enzymes, Intestinal Morphology, and Antimicrobial Effect of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Fed with Feed Supplemented with Pineapple Waste Crude Extract as a Functional Feed Additive. **Aquaculture Nutrition**, v. 2023, n. 1, p. 1160015, 1 jan. 2023.

KOUTSOS, Elizabeth; MODICA, Bree; FREEL, Tarra. Immunomodulatory potential of black soldier fly larvae: applications beyond nutrition in animal feeding programs. **Translational Animal Science**, v. 6, n. 3, 1 jul. 2022.

KUEPETHKAEW, Sakonwat *et al.* Laundry detergent-stable lipase from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) hepatopancreas: Effect of extraction media and biochemical characterization. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 4, p. 769–781, 3 abr. 2017.

KUMAR, Vikash *et al.* Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND): Virulence, Pathogenesis and Mitigation Strategies in Shrimp Aquaculture. **Toxins 2021, Vol. 13, Page 524**, v. 13, n. 8, p. 524, 27 jul. 2021.

KUO, Yi Chun *et al.* Feasibility assessment of replacing fishmeal with *Clostridium autoethanogenum* protein in commercial whiteleg shrimp diets: Impacts on growth, muscle characteristics, and health. **Animal Feed Science and Technology**, v. 309, p. 115916, 1 mar. 2024.

LE MOULLAC, Gilles *et al.* Adaptation of trypsin, chymotrypsin and α -amylase to casein level and protein source in *Penaeus vannamei* (Crustacea Decapoda). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 208, n. 1–2, p. 107–125, 3 jan. 1997.

LI, Jin *et al.* Dietary probiotic intervention strategies of *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus subtilis* co-cultured in *Litopenaeus vannamei* with low fishmeal diet: insights from immune enhancement, anti-*Vibrio* and ammonia nitrogen stress. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 164, p. 110414, 1 set. 2025.

- LI, X.; CHEN, Y.; ZHENG, C.; CHI, S.; ZHANG, S.; TAN, B.; XIE, S. Evaluation of Six Novel Protein Sources on Apparent Digestibility in Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Nutrition**, 2022.
- LIEVENS, S. *et al.* Chemical Safety of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*), Knowledge Gaps and Recommendations for Future Research: a Critical Review. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 7, n. 4, p. 383–396, 2021.
- LIGHTNER, D. V. *et al.* Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in the Americas. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 110, n. 2, p. 174–183, 1 jun. 2012.
- LING, Shirly Lim Yu *et al.* Black Soldier Fly Larvae Meal (BSFLM) as an alternative protein source in sustainable aquaculture production: A scoping review of its comprehensive impact on shrimp and prawn farming. **Animal Feed Science and Technology**, v. 319, p. 116174, 1 jan. 2025.
- LIU, Jing *et al.* Change of antibiotic resistance in *Vibrio* spp. during shrimp culture in Shanghai. **Aquaculture**, v. 580, p. 740303, 15 fev. 2024.
- LIU, Pujiang *et al.* Dietary Supplementation with Algae Powders and Carotenoids Enhances Growth Performance and Tissue-Specific Carotenoid Accumulation in *Penaeus vannamei*. **Animals 2025, Vol. 15, Page 1550**, v. 15, n. 11, p. 1550, 25 maio 2025.
- LIU, Tao *et al.* Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review. **Science of The Total Environment**, v. 833, p. 155122, 10 ago. 2022.
- LUO, Zhan *et al.* Identification of a novel C-type lectin from the shrimp *Litopenaeus vannamei* and its role in defense against pathogens infection. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 29, n. 5, p. 942–951, 8 set. 2011.
- LUSHCHAK, Volodymyr I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. **Aquatic Toxicology**, v. 101, n. 1, p. 13–30, 17 jan. 2011.
- MA, Tracy Hoi Tung *et al.* Molecular cloning of a C-type lectin (LvLT) from the shrimp *Litopenaeus vannamei*: Early gene down-regulation after WSSV infection. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 23, n. 2, p. 430–437, 1 ago. 2007.
- MADAU, F. A.; ARRU, B.; FURESI, R.; PULINA, P. Insect farming for feed and food production from a circular business model perspective. **Sustainability**, v. 12, n. 13, 2020.

- MAGALHÃES, Célio. Desenvolvimento larval obtido em laboratório de palaemonídeos da Região Amazônica. *Macrobrachium amazonicum* (HELLER, 1862) (Crustacea, Decapoda). **Amazoniana**, v. 2, p. 247–274, 1985.
- MAGALHÃES, Celio. Diversity and abundance of decapod crustaceans in the. In: **CONSERVATION INTERNATIONAL**. [S.l.: S.n.].
- MAHIEDDINE, Feriel C.; MATHIEU-DENONCOURT, Annabelle; DUPERTHUY, Marylise. Temperature Influences Antimicrobial Resistance and Virulence of *Vibrio parahaemolyticus* Clinical Isolates from Quebec, Canada. **Pathogens** **2025**, **Vol. 14, Page 521**, v. 14, n. 6, p. 521, 23 maio 2025.
- MAKKAR, Harinder P. S. *et al.* State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 1–33, 1 nov. 2014.
- MANCINI, Simone *et al.* Exploring the Future of Edible Insects in Europe. **Foods** **2022, Vol. 11, Page 455**, v. 11, n. 3, p. 455, 3 fev. 2022.
- MARKEY, Justin C.; AMAYA, E. A.; DAVIS, D. Allen. Replacement of Poultry By-product Meal in Production Diets for the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 41, n. 6, p. 893–902, 1 dez. 2010.
- MARTÍNEZ SOLER, Marina *et al.* Genetic parameters of resistance to acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) caused by *Vibrio parahaemolyticus* and their genetic correlations with growth traits in an Ecuadorian *Penaeus vannamei* population. **Aquaculture**, v. 604, p. 742458, 30 jun. 2025.
- MATSUI, Mikiko; FOWLER, Jonathan H.; WALLING, Linda L. Leucine aminopeptidases: Diversity in structure and function. **Biological Chemistry**, v. 387, n. 12, p. 1535–1544, 1 dez. 2006.
- MEIJER, N. *et al.* Review: European Union legislation and regulatory framework for edible insect production – Safety issues. **animal**, p. 101468, 25 fev. 2025.
- MERCHIE, G.; LAVENS, P.; SORGELOOS, P. Optimization of dietary vitamin C in fish and crustacean larvae: a review. **Aquaculture**, v. 155, n. 1–4, p. 165–181, 20 set. 1997.
- MIANDARE, H. K.; MIRGHAED, A. T.; HOSSEINI, M.; MAZLOUMI, N.; ZAGAR, A.; NAZARI, S. Dietary Immunogen® modulated digestive enzyme activity and immune gene expression in *Litopenaeus vannamei* post larvae. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 70, p. 621–627, nov. 2017.

MIGLIETTA, Pier Paolo *et al.* Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. **Water 2015, Vol. 7, Pages 6190-6203**, v. 7, n. 11, p. 6190–6203, 6 nov. 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Matérias-primas aprovadas pelo MAPA para uso na alimentação animal**. Acesso em: 2 jul. 2025.

MORAES-RIODADES, P. M. C.; KIMPARA, J. M.; VALENTI, W. C. Effect of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* culture intensification on ponds hydrobiology. **Acta Limnol. Bras**, v. 18, n. 3, p. 311–319, 2006.

MORAES-VALENTI, Patricia; VALENTI, Wagner Cotroni. Culture of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Freshwater Prawns: Biology and Farming**, p. 485–501, 2010.

MORDOR INTELLIGENCE. **Edible Insects Market Size, Growth & Competitive Landscape 2025 - 2030**. Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/edible-insects-market>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

NACIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. [S.l.]: National Academies Press, 2011.

NEW, M. B. *et al.* Freshwater prawns: biology and farming. p. 544, 2010.

NISHIGUCHI, Haruki *et al.* Dietary Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)-Dipterose-BSF-Enhanced Zebrafish Innate Immunity Gene Expression and Resistance to *Edwardsiella tarda* Infection. **Insects**, v. 15, n. 5, p. 326, 1 maio 2024.

NIU, Jin *et al.* Effect of seven carbohydrate sources on juvenile *Penaeus monodon* growth performance, nutrient utilization efficiency and hepatopancreas enzyme activities of 6-phosphogluconate dehydrogenase, hexokinase and amylase. **Animal Feed Science and Technology**, v. 174, n. 1–2, p. 86–95, 1 jun. 2012.

NIU, Shengwen *et al.* A chitinase from pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* involved in immune regulation. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 85, p. 161–169, 1 ago. 2018.

NUGROHO, Rudy Agung *et al.* Bioconversion of biowaste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) for dried larvae production: A life cycle assessment and environmental impact analysis. **F1000Research 2023 12:814**, v. 12, p. 814, 11 jul. 2023.

NUNES, Alberto J. P. *et al.* Potential of *Scenedesmus* sp. and *Aurantiochytrium* spp. as protein and n-3 fatty acid sources in practical diets for juvenile *Penaeus vannamei*. **Aquaculture International**, v. 33, n. 1, p. 1–20, 1 fev. 2025.

- NUNES, Alberto J. P. *et al.* The Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal Can Cost-Effectively Replace Fish Meal in Practical Nursery Diets for Post-Larval *Penaeus vannamei* under High-Density Culture. **Fishes** **2023**, **Vol. 8, Page 605**, v. 8, n. 12, p. 605, 10 dez. 2023.
- OONINCX, Dennis G. A. B. *et al.* Dietary enrichment of edible insects with omega 3 fatty acids. **Insect Science**, v. 27, n. 3, p. 500–509, 1 jun. 2020.
- OTERI, Marianna *et al.* Black Soldier Fly Larvae Meal as Alternative to Fish Meal for Aquaculture Feed. **Sustainability** **2021**, **Vol. 13, Page 5447**, v. 13, n. 10, p. 5447, 13 maio 2021.
- PANTALEÃO, J. A. F.; HIROSE, G. L.; COSTA, R. C. Ocurrence of male morphotypes of *Macrobrachium amazonicum* (Caridea, Palaemonidae) in a population with an entirely freshwater life cycle. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 3, p. S223–S232, 2014.
- PARDEDE, M. A.; SUKENDA, W.; YUHANA, M.; LOH, J. Y. Effects of dietary synbiotic supplementation on digestive enzymes, total *Vibrio* count, and hepatopâncreas of Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* challenged with *Vibrio parahaemolyticus*. **Journal of Applied Aquaculture**, 2024.
- PARRILLA-TAYLOR, Delia Patricia; ZENTENO-SAVÍN, Tania. Antioxidant enzyme activities in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in response to environmental hypoxia and reoxygenation. **Aquaculture**, v. 318, n. 3–4, p. 379–383, 8 ago. 2011.
- PASCHOAL, Lucas Rezende Penido; ZARA, Fernando José. Population dynamics and reproductive features of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) in neotropical reservoirs under drought events. **Belgian Journal of Zoology**, v. 154, p. 139–160, 1 out. 2024.
- PAZMIÑO, M. L.; CHICO-SANTAMARTA, L.; BOERO, A.; RAMIREZ, A. D. Environmental life cycle assessment and potential improvement measures in the shrimp and prawn aquaculture sector: A literature review. **Aquaculture and Fisheries**, v. 10, n. 2, p. 183-201, 2025.
- PENG, Kai *et al.* Effect of dietary soybean meal on growth performance, apparent digestibility, intestinal digestive enzyme activity, and muscle growth–related gene expression of *Litopenaeus vannamei*. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 945417, 12 ago. 2022a.
- QU, Yayu *et al.* Effects of replacing soybean meal with fermented rapeseed meal in low-fish-meal feed on the growth, immunity, and gut microbiota of juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 595, p. 741693, 30 jan. 2025.

QUEIROZ DOS ANJOS, Rafael. **Regulação da ingestão proteica pelo método de autoalimentação para juvenis de *Macrobrachium amazonicum*.** Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2021.

QUEIROZ, Luciano D.; ABRUNHOSA, Fernando A.; MACIEL, Cristiana R. Ontogenesis and functional morphology of the digestive system of the freshwater prawn, *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda: Palaemonidae). **Zoologia (Curitiba)**, v. 28, n. 3, p. 395–402, jun. 2011.

RESCH-SEDLMEIER, G.; SEDLMEIER, D. Release of digestive enzymes from the crustacean hepatopancreas: effect of vertebrate gastrointestinal hormones. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 123, n. 2, p. 187–192, 1 jun. 1999.

REVERTER, M. *et al.* Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. **Aquaculture**, v. 433, p. 50–61, 20 set. 2014.

RIVAS-MONTAÑO, Ana M. *et al.* Spatiotemporal distribution of *Vibrio parahaemolyticus* in relation to environmental parameters in a coastal lagoon on the Pacific coast of northwestern Mexico. **Ciencias marinas**, v. 44, n. 3, p. 141–153, 1 jan. 2018.

RIVERA-PÉREZ, Crisalejandra; DEL TORO, M. de los Ángeles Navarrete; GARCÍA-CARREÑO, Fernando. Purification and characterization of an intracellular lipase from pleopods of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 158, n. 1, p. 99–105, 1 jan. 2011.

RIVERA-PÉREZ, Crisalejandra; NAVARRETE DEL TORO, M. de los Ángeles; GARCÍA-CARREÑO, Fernando L. Digestive lipase activity through development and after fasting and re-feeding in the whiteleg shrimp *Penaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 300, n. 1–4, p. 163–168, 27 fev. 2010.

ROSAS, C. *et al.* Influence of dietary carbohydrate on the metabolism of juvenile *Litopenaeus stylirostris*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 249, n. 2, p. 181–198, 28 jun. 2000.

ROSAS, Carlos *et al.* Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 259, n. 1, p. 1–22, 30 abr. 2001.

ROSSI, Barbara *et al.* Antimicrobial Power of Organic Acids and Nature-Identical Compounds against Two *Vibrio* spp.: An In Vitro Study. **Microorganisms 2021, Vol. 9, Page 966**, v. 9, n. 5, p. 966, 29 abr. 2021.

- ROSTAGNO, Horacio Santiago; ALBINO, Luiz Fernando Teixeira. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 5. ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2024.
- ROTHLISBERG, Peter C. Aspects of penaeid biology and ecology of relevance to aquaculture: a review. **Aquaculture**, v. 164, n. 1–4, p. 49–65, 1 maio 1998.
- SABLE, Anita V.; KHAN, Faria S.; TAWALE, Jayshri B. Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) For Achieving Sustainable Development Through Circular Economy. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 14, n. 9, p. 461–474, 5 set. 2024.
- SALOMONE, R. *et al.* Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 890–905, 1 jan. 2017.
- SCHARDONG, Igor Sulzbacher *et al.* Brazilian consumers' perception of edible insects. **Ciência Rural**, v. 49, n. 10, p. e20180960, 23 set. 2019.
- SERVIN ARCE, Kurt *et al.* Modulation of the gut microbiota of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei* Boone, 1931) by dietary inclusion of a functional yeast cell wall-based additive. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, n. 4, p. 1114–1127, 1 ago. 2021.
- SHAH, Mahfuzur Rahman *et al.* Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. **Journal of Applied Phycology 2017 30:1**, v. 30, n. 1, p. 197–213, 5 set. 2017.
- SHAO, Jianchun *et al.* Enzyme-Treated Soybean Meal Serves as an Effective Alternative to Fishmeal in the Diet of the Shrimp *Penaeus vannamei*. **Aquaculture Nutrition**, v. 2025, n. 1, p. 2312302, 1 jan. 2025.
- SHARIFINIA, Moslem *et al.* Fishmeal replacement by mealworm (*Tenebrio molitor*) in diet of farmed Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): effects on growth performance, serum biochemistry, and immune response. **Aquatic Living Resources**, v. 36, p. 19, 2023.
- SHENG, Yuewei *et al.* Superoxide dismutases and superoxide reductases. **Chemical Reviews**, v. 114, n. 7, p. 3854–3918, 9 abr. 2014.
- SHEPPARD, D. Craig *et al.* Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). **Journal of Medical Entomology**, v. 39, n. 4, p. 695–698, 1 jul. 2002.

- SHI, Changyou *et al.* Solid state fermentation of rapeseed cake with *Aspergillus niger* for degrading glucosinolates and upgrading nutritional value. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 1–7, 8 abr. 2015.
- SHUMO, Marwa *et al.* The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 1 dez. 2019.
- SMALL, Brian C. Nutritional physiology. *In: HARDY, Ronald W.; KAUSHIK, Sadasivam J. (Orgs.). Fish Nutrition*. 4. ed. [S.l.]: Academic Press, 2022. p. 593–641.
- SMETANA, Sergiy *et al.* Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 741–751, 20 nov. 2016.
- SÖDERHÄLL, Kenneth; CERENIUS, Lage. Crustacean immunity. **Annual Review of Fish Diseases**, v. 2, n. C, p. 3–23, 1 jan. 1992.
- SOGARI, G. *et al.* Review: Recent advances in insect-based feeds: from animal farming to the acceptance of consumers and stakeholders. **animal**, v. 17, p. 100904, 1 jun. 2023.
- SOKAME, B. M.; RUNYU, J. C.; TONNANG, H. E. Z. Integrating edible insect into circular agriculture for sustainable production. **Sustainable Production and Consumption**, v. 52, p. 80–90, 2024.
- SOLLER, Fabio; ROY, Luke A.; DAVIS, D. Allen. Replacement of fish oil in plant-based diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, by stearine fish oil and palm oil. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 50, n. 1, p. 186–203, 1 fev. 2019.
- SOTO-RODRIGUEZ, Sonia A. *et al.* Field and experimental evidence of *Vibrio parahaemolyticus* as the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease of cultured shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in northwestern Mexico. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 81, n. 5, p. 1689–1699, 29 dez. 2015.
- SPRANGHERS, Thomas *et al.* Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 8, p. 2594–2600, 1 jun. 2017.
- ST-HILAIRE, Sophie *et al.* Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, n. 2, p. 309–313, 1 jun. 2007.

- TACON, Albert G. J.; METIAN, Marc. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. **Aquaculture**, v. 285, n. 1–4, p. 146–158, 7 dez. 2008.
- TALUKDAR, Avinash *et al.* Effects of different levels of dietary protein on the growth performance, nutrient utilization, digestive enzymes and physiological status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* juveniles reared in inland saline water. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, n. 1, p. 77–90, 1 fev. 2021.
- TETTAMANTI, G.; CAMPENHOUT, L. Van; CASARTELLI, M. A hungry need for knowledge on the black soldier fly digestive system. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 8, n. 3, p. 217–222, 2022.
- THAOTUMPITAK, Varangkana *et al.* Meta-Analysis and Systematic Review of Phenotypic and Genotypic Antimicrobial Resistance and Virulence Factors in *Vibrio parahaemolyticus* Isolated from Shrimp. **Antibiotics**, v. 13, n. 4, p. 370, 1 abr. 2024.
- THONGSOI, Ratiporn *et al.* Identification of an essential role against shrimp pathogens of prophenoloxidase activating enzyme 1 (PPAE1) from *Fenneropenaeus merguiensis* hemocytes. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 151, p. 105088, 1 fev. 2024.
- THUY, Nguyen Thi Bien *et al.* Immune response and resistance against *Vibrio parahaemolyticus* in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by dietary supplementation of a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation-derived postbiotic (SCFP). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 165, p. 110484, 1 out. 2025.
- TRAN, Loc *et al.* Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 105, n. 1, p. 45–55, 9 jul. 2013.
- TRASVIÑA-ARENAS, Carlos H. *et al.* White shrimp *Litopenaeus vannamei* catalase: Gene structure, expression and activity under hypoxia and reoxygenation. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 164, n. 1, p. 44–52, 1 jan. 2013.
- TRUONG, Ha H. *et al.* Mineral nutrition in penaeid shrimp. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, n. 4, p. 1355–1373, 1 set. 2023.

TSOUPRAS, Alexandros *et al.* Anti-Inflammatory, Antithrombotic, and Antioxidant Properties of Amphiphilic Lipid Bioactives from Shrimp. **Pharmaceuticals** **2025**, Vol. 18, Page 25, v. 18, n. 1, p. 25, 28 dez. 2024.

VAIYAPURI, Murugadas *et al.* Antimicrobial resistance in Vibrios of shrimp aquaculture: Incidence, identification schemes, drivers and mitigation measures. **Aquaculture Research**, v. 52, n. 7, p. 2923–2941, 1 jul. 2021.

VALENTI, W. C., BARROS, H. P., MORAES-VALENTI, P., BUENO, G. W., CAVALLI, R. O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, n. 19, 100611, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2021.100611>

VAN HUIS, Arnold *et al.* **Edible insects Future prospects for food and feed security**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.

VAN HUIS, Arnold; OONINCX, Dennis G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 5, p. 1–14, 1 out. 2017.

VAN WORMHOUDT, A.; LE CHEVALIER, P.; SELLOS, D. Purification, biochemical characterization and N-terminal sequence of a serine-protease with chymotrypsic and collagenolytic activities in a tropical shrimp, *Penaeus vannamei* (crustacea, decapoda). **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry**, v. 103, n. 3, p. 675–680, 1 nov. 1992.

VANDEPUTTE, Marieke *et al.* Genomic mining of *Vibrio parahaemolyticus* highlights prevalence of antimicrobial resistance genes and new genetic markers associated with AHPND and *tdh* + /*trh* + genotypes. **BMC Genomics**, v. 25, n. 1, p. 1–14, 1 dez. 2024.

VILLARREAL, Humberto. Shrimp farming advances, challenges, and opportunities. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 54, n. 5, p. 1092–1095, 1 out. 2023.

WADE, Nicholas M.; GABAUDAN, Jacques; GLENROSS, Brett D. A review of carotenoid utilisation and function in crustacean aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, v. 9, n. 2, p. 141–156, 1 jun. 2017.

WANG, Congcong *et al.* Evaluation of the enzymatic hydrolysis of sargassum mixed with fish protein hydrolysis product as an alternative protein source in shrimp feed, from the perspectives of growth performance, amino acid composition, antioxidant capacity and endoplasmic reticulum stress. **Aquaculture Reports**, v. 42, p. 102813, 15 jul. 2025a.

- WANG, Hongming *et al.* Effects of dietary cottonseed protein concentrate on growth performance, immunity, digestibility, and intestinal microbiota of *Penaeus vannamei* under different salinities. **Aquaculture**, v. 608, p. 742762, 30 set. 2025b.
- WANG, Huarui *et al.* Physicochemical structure of chitin in the developing stages of black soldier fly. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 901–907, 15 abr. 2020.
- WANG, Lei *et al.* Glutathione peroxidase from the white shrimp *Litopenaeus vannamei*: Characterization and its regulation upon pH and Cd exposure. **Ecotoxicology**, v. 21, n. 6, p. 1585–1592, 9 ago. 2012.
- WANG, Quanchao *et al.* Evaluation on the genomic selection in *Litopenaeus vannamei* for the resistance against *Vibrio parahaemolyticus*. **Aquaculture**, v. 505, p. 212–216, 30 abr. 2019.
- WANG, Rongzhi *et al.* The pathogenesis, detection, and prevention of *Vibrio parahaemolyticus*. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. MAR, p. 134247, 5 mar. 2015.
- WOUTERS, R.; LAVENS, P.; NIETO, J.; SORGELOOS, P. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. **Aquaculture**, v. 202, n. 1-2, p. 1-21, 2001.
- XIA, Sudong *et al.* Influence of dietary protein levels on growth, digestibility, digestive enzyme activity and stress tolerance in white-leg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), reared in high-density tank trials. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 12, p. 1845–1854, 1 nov. 2010.
- XIA, Zhenqiang; WU, Shengjun. Effects of glutathione on the survival, growth performance and non-specific immunity of white shrimps (*Litopenaeus vannamei*). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 73, p. 141–144, 1 fev. 2018.
- XIAO, Fei *et al.* Effects of Dietary Protein Levels on Growth, Digestive Enzyme Activity, Antioxidant Capacity, and Gene Expression Related to Muscle Growth and Protein Synthesis of Juvenile Greasyback Shrimp (*Metapenaeus ensis*). **Animals 2023, Vol. 13, Page 3886**, v. 13, n. 24, p. 3886, 18 dez. 2023.
- XU, Wujie *et al.* Effects of feeding frequency on growth, feed utilization, digestive enzyme activity and body composition of *Litopenaeus vannamei* in biofloc-based zero-exchange intensive systems. **Aquaculture**, v. 522, p. 735079, 30 maio 2020.
- YANG, Qihui *et al.* Effect of replacing fish meal with extruded soybean meal on growth, feed utilization and apparent nutrient digestibility of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Journal of Ocean University of China**, v. 14, n. 5, p. 865–872, 6 out. 2015.

ZHANG, Lei *et al.* Dietary inclusion of microalgae meal for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Effects on growth performance, flesh quality, and immunity. **Animal Feed Science and Technology**, v. 320, p. 116205, 1 fev. 2025.

ZHANG, Qile *et al.* Effects of Enzymatic Cottonseed Protein Concentrate as a Feed Protein Source on the Growth, Plasma Parameters, Liver Antioxidant Capacity and Immune Status of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*). **Metabolites 2022, Vol. 12, Page 1233**, v. 12, n. 12, p. 1233, 8 dez. 2022.

ZHANG, Shouyu *et al.* Transformation of food waste to source of antimicrobial proteins by black soldier fly larvae for defense against marine *Vibrio parahaemolyticus*. **Science of The Total Environment**, v. 826, p. 154163, 20 jun. 2022.

ZHANG, Xin *et al.* Effects of yeast culture substituting fishmeal on growth, nonspecific immunity, intestinal, and hepatopancreatic histology of *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 53, n. 6, p. 1155–1168, 1 dez. 2022.

ZHENG, Zhou *et al.* The PirB toxin protein from *Vibrio parahaemolyticus* induces apoptosis in hemocytes of *Penaeus vannamei*. **Virulence**, v. 12, n. 1, p. 481–492, 31 dez. 2021.

ZHOU, Jun *et al.* Glutathione S-transferase in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*: Characterization and regulation under pH stress. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 150, n. 2, p. 224–230, 1 ago. 2009.

ZHOU, Kaimin *et al.* Characterization and expression analysis of a chitinase gene (PmChi-4) from black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) under pathogen infection and ambient ammonia nitrogen stress. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 62, p. 31–40, 1 mar. 2017.

ZIMMERMANN, Sergio. Manejo de Alimentos e Alimentação dos Camarões. In: VALENTI, W. C. (Org.). **Carcinicultura de Água Doce: Tecnologia para a Produção de Camarões**. Brasília - DF: IBAMA/FAPESP, 1998.

ZULKIFLI, Nor Fatin Najihah Mohamad *et al.* Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. **PLOS ONE**, v. 17, n. 2, p. e0263924, 1 fev. 2022.

CAPÍTULO I

Efeito de dietas contendo farinha de larvas de *Hermetia illucens* no crescimento e carga microbiana de *Vibrio* em *Macrobrachium amazonicum*

Efeito da farinha de larvas de *Hermetia illucens* no crescimento e carga microbiana de *Vibrio* em *Macrobrachium amazonicum*

Rafael Queiroz dos Anjos^{a*}, José dos Santos^b, Mile Ane Larissa Costa Muricy^b, Norma Suely Evangelista Barreto^{b/c}, Mariana Cutolo de Araujo^c, Rodrigo Fortes da Silva^{a/d}

^a Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal da Bahia (UFBA), 40170-110, Bahia, Brasil

^b Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 44380-000, Bahia, Brasil

^c Setor do Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 44380-000, Bahia, Brasil

^d Departamento de Zootecnia, Campus Viçosa, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000, Minas Gerais, Brasil

*Autor correspondente: Rafael Queiroz dos Anjos, PPGZ/Universidade Federal da Bahia. E-mail: engpesca.queiroz@gmail.com (Queiroz-Anjos, R.).

RESUMO

Este estudo investigou os efeitos da substituição de farinha de peixe (FP) por farinha de larvas de *Hermetia illucens* (FLHI) na dieta sobre o desempenho zootécnico, composição proximal do músculo, contagem de *Vibrio* spp. no hepatopâncreas e no intestino, e composição da microbiota do gênero *Vibrio* nestes órgãos de *Macrobrachium amazonicum*. Para isto, 240 camarões ($1,02 \pm 0,13$ g) foram alimentados com quatro níveis de substituição da FP por FLHI: 0% (FLHI0), 12,5% (FLHI12), 25% (FLHI25) e 37,5% (FLHI37), com quatro réplicas em delineamento totalmente casualizado. O experimento teve a duração de 75 dias. Ao término do experimento, observou-se que o tratamento com 25% de FLHI promoveu maior ganho de peso, ganho de peso percentual, taxa de crescimento específica, taxa de conversão alimentar e taxa de eficiência proteica em comparação ao grupo controle ($p<0,05$). Não foram verificadas diferenças significativas ($p<0,05$) na sobrevivência. A análise da composição corporal revelou maior teor de proteína bruta no músculo no grupo FLHI25, enquanto o FLHI37 apresentou maior teor de extrato etéreo. Não houve diferença significativa ($p<0,05$) para a umidade e a matéria mineral. Em relação à microbiota, a contagem de *Vibrio* spp. no hepatopâncreas e no intestino foi significativamente reduzida ($p<0,05$) no tratamento FLHI37. A composição de *Vibrio* foi modulada pela inclusão de FLHI. No hepatopâncreas, observou-se aumento ($p<0,05$) na abundância relativa de *V. proteolyticus* e redução de *V. mediterranei* e *V. aerogenes*. No intestino, verificou-se aumento ($p<0,05$) de *V. proteolyticus* e declínio de *V. mediterranei* e *V. metschnikovii*. Desta forma, pode-se concluir que a substituição de FP por FLHI em 25% é viável, promovendo melhor desempenho e favorecendo a redução de *Vibro* em *M. amazonicum*. Os resultados fornecem subsídios para futuras pesquisas sobre a utilização de FLHI como alternativa proteica na aquicultura.

Palavras-chave: Atividade antimicrobiana, camarão de água doce, farinha de insetos, mosca-soldado-negro.

1. Introdução

A aquicultura vem se firmando como um setor essencial para a segurança alimentar global, com os crustáceos representando um dos grupos mais importantes deste segmento. Em 2022, a produção oriunda da aquicultura representou cerca de 52% de toda produção de organismos aquáticos e, no mesmo período, a carcinicultura de água doce produziu 600 mil toneladas (FAO, 2024), indicando ser uma atividade em crescimento e importante para o setor aquícola.

Dentre as espécies de água doce cultivadas, o camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) destaca-se por sua ampla distribuição geográfica, ocorrendo naturalmente em bacias hidrográficas da América do Sul, desde a Venezuela até o Paraguai (Coelho e Ramos-Porto, 1985), o que favorece a adaptação ao cultivo em diversas regiões. Esta espécie apresenta características zootécnicas favoráveis ao cultivo, como rápido crescimento, podendo atingir até 30 g e 16 cm (Moraes-Valenti; Valenti, 2010), além de boa aceitação comercial devido a sua textura mais firme e sabor mais realçado em relação ao *M. rosenbergii* (Maciel; Valenti, 2009). Além disso, seu cultivo em sistemas semi-intensivos, demonstra potencial, com densidades de estocagem de até 80 camarões/m² (Moraes-Valenti; Valenti, 2007).

No entanto, a intensificação dos sistemas de produção tem aumentado a ocorrência de doenças, especialmente as bacterianas, com destaque para as vibrioses, que representam uma das principais ameaças à carcinicultura mundial (Aguilera-Rivera et al., 2019; Valente; Wan, 2021). Dentre as espécies de *Vibrio* mais relevantes que acometem os camarões, destacam-se *V. harveyi*, *V. parahaemolyticus* e *V. alginolyticus* (Zhang et al., 2020; Yin et al., 2022). Essas bactérias causam enfermidades como a necrose hepatopancreática aguda (AHPND), caracterizada por atrofia e degeneração dos túbulos hepatopancreáticos, além da perda de células secretoras (Muthukrishnan et al., 2019; To et al., 2020). Como o hepatopâncreas é um órgão vital para a digestão e absorção de nutrientes, os impactos da doença tornam-se ainda mais preocupantes.

M. amazonicum tem sido relatado como hospedeiro de cepas patogênicas de *Vibrio*, incluindo *V. cholerae*, *V. vulnificus* e *V. mimicus* (Castelo-Branco et al., 2016), microrganismos reconhecidos por seu potencial de virulência em aquicultura e saúde pública (Baker-Austin e Oliver, 2017; Li et al., 2019). Tais patógenos representam um

risco significativo, estando associados a surtos de mortalidade em cultivos de camarão e a casos de infecção humana por consumo de crustáceos contaminados (Roig et al., 2022; Haque et al., 2023). Fatores como estressores ambientais, qualidade da água e, sobretudo, deficiências nutricionais podem aumentar a susceptibilidade dos camarões a infecções por *Vibrio* spp. (Bauer et al., 2020; Ko e Lee, 2024; He et al., 2025).

Nesse contexto, a busca por ingredientes alternativos em dietas para camarões tem crescido em resposta à demanda por novas fontes proteicas na produção de rações, com ênfase em fontes que combinem valor nutricional otimizado com propriedades funcionais, como compostos bioativos e imunoestimulantes (Agboola et al., 2020; Sánchez-Muros et al., 2020). A farinha de larvas da mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*) emerge como uma alternativa promissora à farinha de peixe (Mohan et al., 2022), não apenas devido ao seu elevado teor proteico (40-60% PB) e perfil equilibrado de aminoácidos essenciais (Cummins-Jr et al., 2017), mas também por seus efeitos imunomoduladores e anti-inflamatórios (Chen et al., 2023; Chang et al., 2025). Estudos indicam que sua inclusão em dietas para *Penaeus vannamei* pode melhorar o desempenho zootécnico (Richardson et al., 2021) e modular positivamente a microbiota intestinal, favorecendo o aumento de bactérias benéficas, como *Bacillus*, e reduzindo a carga de *Vibrio* (Chen et al., 2021). Adicionalmente, peptídeos antimicrobianos (defensinas) e ácidos graxos de cadeia média (ácidos láurico e mirístico), presentes nas larvas de *H. illucens*, demonstraram atividade inibitória contra patógenos, a exemplo de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* (Van Moll et al., 2022).

Apesar dos avanços na investigação da farinha de *H. illucens* em nutrição de camarões, seus efeitos sobre o crescimento e a microbiota de *Vibrio* em *M. amazonicum* permanecem desconhecidos, caracterizando esta como a primeira avaliação nessa espécie. Diante disso, objetivou-se avaliar o crescimento de *M. amazonicum* alimentado com dietas contendo farinha de larvas de *H. illucens*, bem como seus impactos na microbiota de *Vibrio* no hepatopâncreas e trato intestinal.

2. Material e métodos

2.1 Nota ética

De acordo com a Lei 11.974 de 8 de outubro de 2008, da Constituição Federal Brasileira, experimentos utilizando animais invertebrados não necessitam de submissão e aprovação na Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA).

2.2 Aclimatação dos camarões e condições experimentais

Os camarões utilizados no estudo foram capturados no Rio Paraguaçu ($12^{\circ} 32' 13''$ Sul e $39^{\circ} 04' 46''$ Oeste) por pescadores artesanais locais. A metodologia de captura dos camarões em ambiente natural com posterior estudo experimental voltado à alimentação/nutrição foi previamente validada por Ettefaghdoost et al. (2025) para *M. nipponense*.

Os animais foram transportados por aproximadamente 21 Km, em tanques com água e com aeração constante, ao Laboratório de Berçário e Maturação de Camarão da UFRB. Estes foram aclimatados por 15 dias em tanques circulares de 1.500 L com sistema de recirculação equipado com filtros físico-biológicos e aeradores. Durante a aclimatação, os camarões foram alimentados com dieta comercial (Poti Guaçu EXT Guabi® com 35% de proteína bruta; PB) duas vezes ao dia, até a saciedade aparente.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, avaliando a substituição de farinha de peixe (FP) por farinha de larvas de *H. illucens* (FLHI) nos níveis de 0% (FLHI), 12,5% (FLHI12), 25% (FLHI25) e 37,5% (FLHI37), com quatro repetições por tratamento. Cada unidade experimental consistiu em tanques circulares de polietileno (100 L, área de fundo = $0,95\text{ m}^2$) povoados com 15 camarões ($1,02 \pm 0,13\text{ g}$). O experimento teve duração de 75 dias, durante os quais os animais foram mantidos nas mesmas condições e alimentados com as dietas experimentais. Os parâmetros de qualidade de água foram mantidos na faixa ótima para o *M. amazonicum* de acordo com Moraes-Riodades et al. (2006). As médias foram de $26,96 \pm 0,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperatura, de $7,35 \pm 0,03$ para o pH e de $5,55 \pm 0,39\text{ mg.L}^{-1}$ para o oxigênio dissolvido. O experimento foi realizado em água doce.

2.3 Dietas experimentais

A farinha de larvas da mosca-soldado-negro (FLHI) utilizada neste experimento foi adquirida de um produtor no município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil. A composição proximal da FP e da FLHI estão descritas na Tabela 1. A dieta referência (37% PB) foi formulada a fim de conter 40% de FP.

Tabela 1. Composição proximal da farinha de peixe e da farinha de larvas da mosca-soldado-negro utilizadas no presente estudo.

Matéria-prima	Composição proximal (%)			
	MS	PB	EE	MM
FP	90,2 ± 0,4	56,4 ± 0,6	8,6 ± 0,4	10,26 ± 0,5
FLHI	91,7 ± 0,7	30,8 ± 0,3	21,6 ± 0,2	11,97 ± 0,8

MS: Matéria seca; PB: Proteína bruta; EE: Extrato etéreo; MM: Matéria mineral.

As dietas foram preparadas com a moagem (malha de 80 µm), pesagem e mistura dos ingredientes até a homogeneidade. Todos os ingredientes foram pesados, misturados com óleo e água destilada, e peletizados em *pellets* com 2,5 mm de diâmetro, utilizando máquina de peletização (Moedor de Carne Industrial Boca 300 kg/h BM20 Bermar, Brasil). Os *pellets* foram secos em estufa de ventilação forçada a 55°C até a umidade atingir 10% e posteriormente, armazenados a -20°C até o uso. As matérias-primas (FP e FLHI) e as dietas foram analisadas de acordo com os métodos da AOAC (1990) quanto à matéria seca (secagem a 105°C até peso constante), proteína bruta pelo método de Kjeldahl, extrato etéreo (extração com éter de petróleo) e cinzas (queima em mufla a 550°C). A formulação e a composição das dietas estão descritas na Tabela 2. Houve um ajuste dos níveis do farelo de soja e amido com a substituição da FP pela FLHI, para que as dietas fossem isoproteicas e isoenergéticas.

Tabela 2. Formulação e composição proximal das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Dietas			
	FLHI0	FLHI12	FLHI25	FLHI37
Farinha de peixe	40	35	30	25
Farelo de soja	35	37	39	42
Farinha de larvas da mosca-soldado-negro	0	5	10	15
Amido	16	14	12	9
Óleo de soja	1	1	1	1
Carboximetilcelulose	3	3	3	3
Premix vitamínico / mineral ^A	2	2	2	2
Fosfato bicálcico	2,7	2,7	2,7	2,7
Butil hidroxi tolueno	0,3	0,3	0,3	0,3
Composição (%)				
Matéria seca	90,05	90,16	90,32	90,54
Proteína bruta	37,73	37,45	37,17	37,34
Extrato etéreo	4,90	5,62	6,33	7,07
Cinzas	10,28	10,39	10,46	10,54
Energia (Kcal.Kg ⁻¹)	4003	4017	4040	4082

^AVitamina A, vitamina D3, vitamina E, vitamina K3, vitamina B1, vitamina B2, vitamina B6, vitamina B12, vitamina C, pantonato de cálcio, niacina, ácido fólico, cloreto de colina, biotina, sulfato de cobre, sulfato de ferro, sulfato de manganês, carbonato de cobalto, iodato de cálcio, selenito de sódio, sulfato de zinco, BHA, etoxiquina, ácido cítrico, inositol, dióxido de silício, óleo mineral. Vitamina A (min) 1000000.00 IU, vitamina D3 (min) 250000.00 IU, vitamina E (min) 12500.00 IU, vitamina K3 (min) 1250.00 mg, vitamina b1 (min) 1875.00 mg, vitamina B2 (min) 1875.00 mg, vitamina B6 (min) 1250.00 mg, vitamina B12 (min) 2500.00 mcg, vitamina C 300 mg, niacina (min) 10.00 g, ácido fólico (min) 625.00 mg, biotina (min) 62.50 mg, colina (min) 50.00 g, cobre (min), ferro (min) 6250.00 mg, manganês (min) 1875.00 mg, cobalto (min) 12.50 mg, iodo (min) 62.50 mg, zinco (min) 6250.00 mg, selênio (min) 12.50 mg, inositol (min) 12.50 g.

2.4 Desempenho de crescimento

Ao final do experimento, todos os grupos forma mantidos sob jejum por 24 h. Posteriormente, os camarões foram contados e pesados para obtenção dos dados de crescimento. O crescimento dos camarões foi avaliado pelo ganho de peso (GP, g), taxa

de crescimento específica (TCE, %.dia⁻¹), taxa de conversão alimentar (TCA), taxa de eficiência proteica (TEP) e taxa de sobrevivência (S, %). Os cálculos utilizados foram: GP (g) = (peso final - peso inicial); TCE = ((lnPF – lnPI) / tempo) * 100; TCA = consumo de ração / ganho de peso; TEP = ganho de peso / ingestão de proteína; S = (número de camarões ao final do experimento / número de camarões no início do experimento) * 100.

2.5 Composição corporal

Amostras do músculo dos camarões (n = 7 por unidade experimental; *pool* amostral) foram coletadas para determinação da composição proximal em triplicata, conforme AOAC (1990). As amostras foram secas em estufa a 105°C até peso constante para determinar a umidade (UM). A proteína bruta (PB) foi estimada pelo método de Kjeldahl (N x 6,25). O extrato etéreo (EE) quantificado por extração com éter de petróleo. A matéria mineral (MM) foi determinada pela queima das amostras secas em mufla a 550°C.

2.6 Contagem total e identificação de *Vibrio* no hepatopâncreas e no intestino

Ao final do experimento, foram coletados o intestino e o hepatopâncreas de cinco camarões por réplica. No Laboratório de Microbiologia de Alimentos e Ambiental da UFRB, as amostras foram diluídas sucessivamente (até 10⁻⁵) em água peptonada (0,1%) e plaqueadas no meio diferencial para *Vibrio* (ágar TCBS; tiosulfato de sódio, citrato de sódio, bile e sacarose) conforme metodologia de Silva et al. (2010). As placas foram incubadas a 35°C por 24 h em estufa bacteriológica, e as colônias típicas de *Vibrio* foram contadas e expressas em unidade formadora de colônia (UFC) por grama de amostra. A identificação fenotípica dos isolados foi realizada usando a chave de identificação proposta por Noguerola and Blanch (2008).

2.7 Análise estatística

Previamente, a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados foram

apresentados como média \pm desvio-padrão. Foi assumido que os dados em percentagem não possuem distribuição normal, por isso foram transformados em arcsen($\sqrt{\%}$). O programa R (Versão 2024.12.0) foi utilizado para realizar a análise dos resultados. Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) unidirecional, seguida pelo teste post-hoc de Tukey ($p < 0,05$).

3. Resultados

3.1 Desempenho

Não foi observada diferença estatística ($p > 0,05$) na taxa de sobrevivência dos animais, que foi acima de 85%. Contudo, influência significativa ($p < 0,05$) do desempenho foi observada para o grupo FLHI25 (Tabela 3). Os camarões alimentados com esta dieta obtiveram valores maiores para GP (g), GP (%), TCE, TCA e TEP em comparação aos camarões alimentados com FLHI0.

Tabela 3. Desempenho de crescimento e utilização de nutrientes dos camarões *M. amazonicum* alimentados com as dietas testes por 75 dias.

Variável	Dietas				P-valor
	FLHI0	FLHI12	FLHI25	FLHI37	
GP (g)	3,31 \pm 0,07 ^C	3,56 \pm 0,07 ^B	3,91 \pm 0,07 ^A	3,69 \pm 0,07 ^B	<0,001
TCE (%.dia ⁻¹)	1,46 \pm 0,02 ^B	1,52 \pm 0,02 ^{AB}	1,59 \pm 0,02 ^A	1,55 \pm 0,02 ^{AB}	<0,001
TCA	2,43 \pm 0,04 ^A	2,26 \pm 0,04 ^{AB}	2,06 \pm 0,04 ^C	2,18 \pm 0,04 ^{BC}	<0,001
TEP	1,11 \pm 0,02 ^B	1,20 \pm 0,02 ^{AB}	1,31 \pm 0,02 ^A	1,24 \pm 0,02 ^{AB}	<0,001
S (%)	86,7 \pm 0,04	85,0 \pm 0,04	88,3 \pm 0,04	86,7 \pm 0,04	0,94

Diferentes letras sobrescritas na mesma linha indicam diferença estatística pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p < 0,05$). Os resultados estão expressos em média \pm erro padrão da média.

3.2 Composição corporal

Conforme apresentado na Tabela 4, os camarões alimentados com a dieta FLHI25 apresentaram maior teor de proteína bruta no músculo, diferindo significativamente ($p < 0,05$) das demais dietas. O extrato etéreo aumentou ($p < 0,05$) com a inclusão de FLHI,

atingindo o valor mais elevado na dieta FLHI37. A umidade e a matéria mineral não variaram significativamente entre os tratamentos ($p>0,05$).

Tabela 4. Composição proximal do músculo (abdômen) de *M. amazonicum* alimentado com as dietas testes por 75 dias.

Variável (%)	Dietas				P-valor
	FLHI0	FLHI12	FLHI25	FLHI37	
UM	82,07±0,31	82,27±0,31	82,34±0,31	82,15±0,31	0,92
PB	62,75±0,33 ^C	64,14±0,33 ^B	66,35±0,33 ^A	64,29±0,33 ^B	<0,001
EE	7,38±0,31 ^D	8,43±0,31 ^C	9,09±0,31 ^B	9,86±0,31 ^A	<0,001
MM	5,05±0,14	5,21±0,14	4,98±0,14	5,13±0,14	0,65

Diferentes letras sobreescritas na mesma linha indicam diferença estatística pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p < 0,05$). Valores de PB, EE e MM expressos em base seca. Os resultados estão expressos em média ± erro padrão da média.

3.3 Contagem total e identificação de *Vibrio* no hepatopâncreas e no intestino

Os camarões alimentados com FLHI37 apresentaram menor contagem total de *Vibrio* no hepatopâncreas em relação aos grupos FLHI25, FLHI12 e FLHI0 (Figura 1). Não há diferença significativa para a contagem total entre FLHI12 E FLHI25 ($p>0,05$), porém estes grupos diferem do grupo FLHI0 ($p<0,05$). A contagem total de *Vibrio* no intestino também foi menor para os camarões alimentados com FLHI37 e FLHI25 quando comparados ao grupo controle FLHI0 ($p<0,05$).

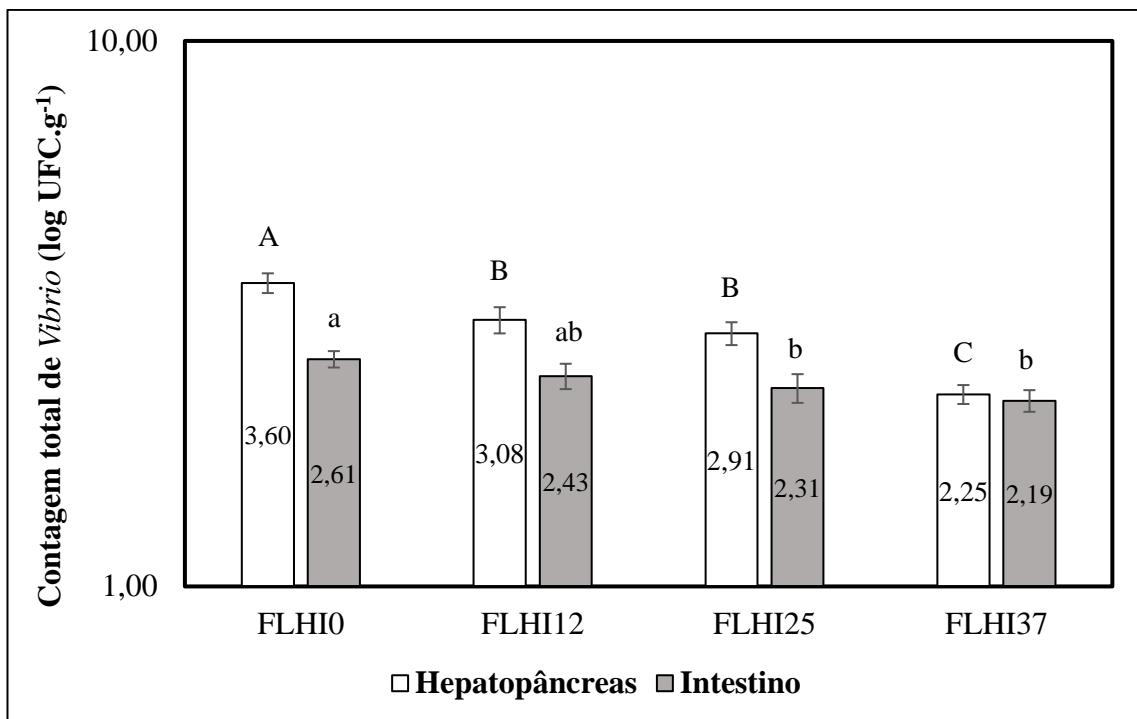


Figura 1. Contagem total de *Vibrio* spp. do hepatopâncreas e intestino de *M. amazonicum* alimentados com as dietas testes durante 75 dias. Os valores estão expressos em logaritmo (\log_{10}). Barras representam média \pm erro padrão da média. Letras distintas indicam diferença estatística pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p<0,05$). Hepatopâncreas: P-valor < 0,001; Intestino: P-valor = 0,002.

A composição microbiana de *Vibrio* no hepatopâncreas e no intestino de *M. amazonicum* após o período de alimentação com FLHI foi alterada (Figuras 2 e 3). No hepatopâncreas, houve a redução da abundância relativa de *V. mediterranei* e *V. aerogenes* do grupo FLHI37 em relação ao grupo FLHI0, enquanto ocorreu o aumento de *V. proteolyticus* e de *Vibrio* spp. para os mesmos grupos ($p<0,05$). Já para o intestino, ocorreu a redução da abundância relativa de *V. mediterranei* e *V. metschnikovii* do grupo FLHI37 em relação ao grupo FLHI0, enquanto a abundância de *V. proteolyticus* e *Vibrio* spp. aumentou ($p<0,05$).

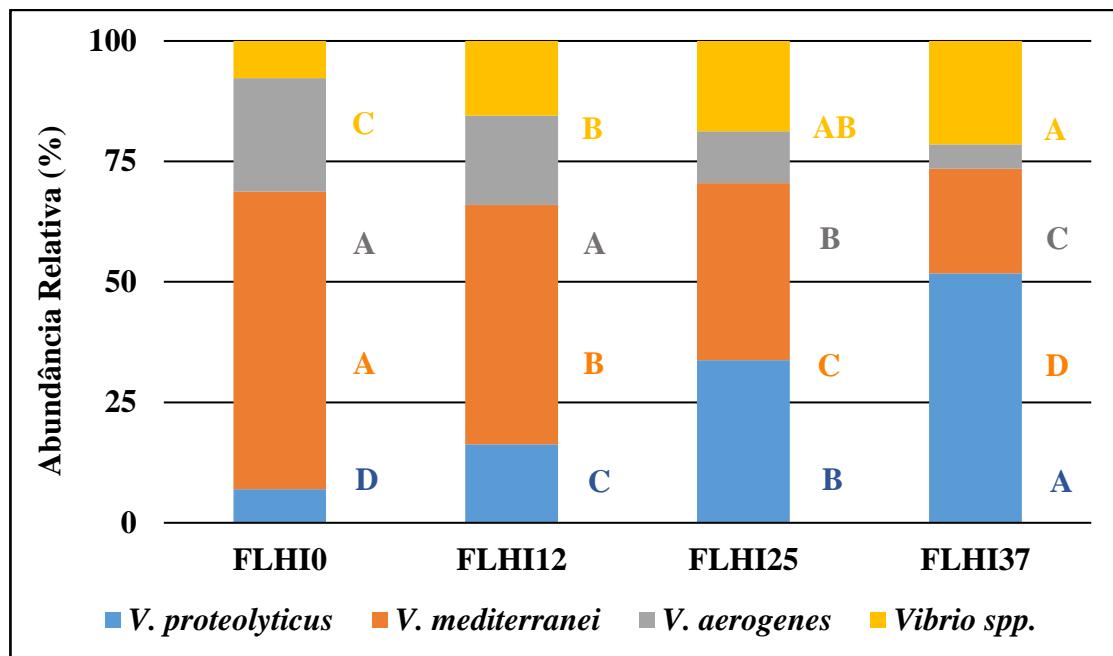


Figura 2. Comparação da abundância relativa hepatopancreática de *Vibrio* em *M. amazonicum* alimentado com diferentes dietas contendo FLHI. Letras distintas com cores iguais indicam diferença estatística pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p < 0,05$).

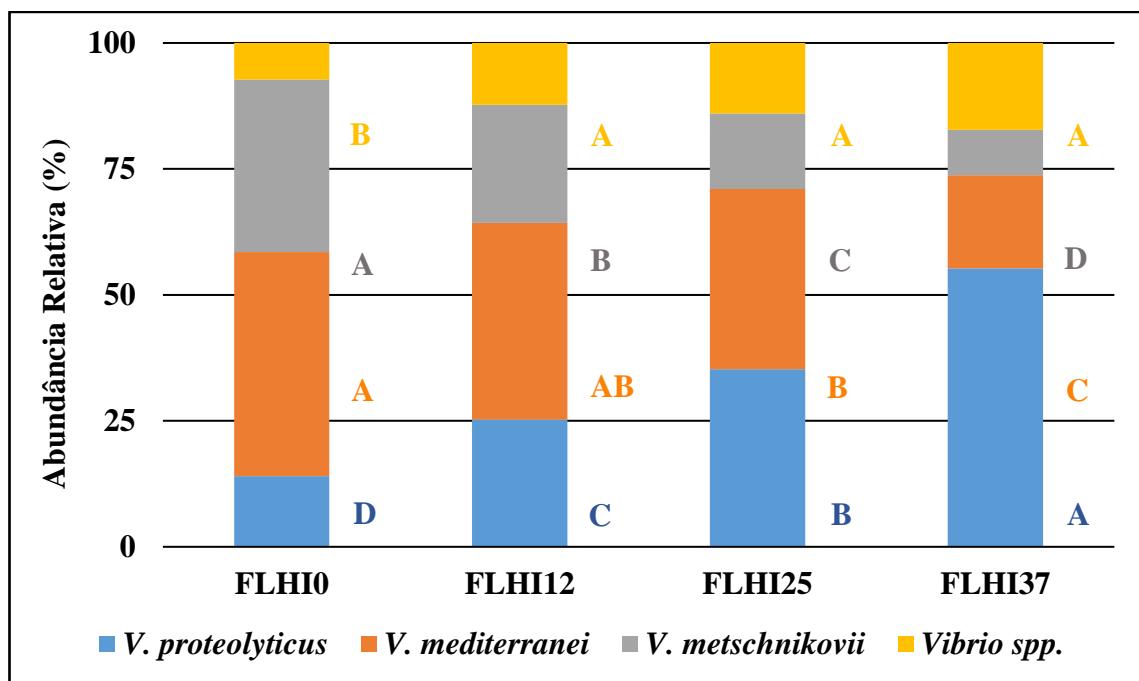


Figura 3. Comparação da abundância relativa intestinal de *Vibrio* em *M. amazonicum* alimentado com diferentes dietas contendo FLHI. Letras distintas com cores iguais indicam diferença estatística pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p<0,05$).

4. Discussão

Os camarões alimentados com 25% de FLHI apresentaram melhor de ganho de peso, taxa de crescimento específica, eficiência proteica, conversão alimentar em relação aos camarões do grupo controle. Poucos estudos na literatura relatam o uso de FLHI na alimentação de camarões, mas o uso da farinha de insetos para peixes tem sido muito pesquisado. Algumas espécies de peixes possuem limitação no crescimento quando alimentadas com altas concentrações de farinha de insetos devido à concentração de quitina (Finke, 2007; Fisher et al., 2020), a exemplo do bagre-africano (*Clarias gariepinus*) (Ng et al., 2001), pregado (*Psetta máxima*) (Kroeckel et al., 2012) e tilápia (*Oreochromis* sp.) (Munguti et al., 2025). Contudo, camarões do gênero *Macrobrachium* são onívoros e no ambiente natural consomem insetos aquáticos. Segundo D’Abramo e New (2010), estes camarões tem facilidade na digestão destes ingredientes devido a produção de quitinase. Esta enzima é capaz de degradar esse polissacarídeo nitrogenado, impedindo que este se complexe com as proteínas dos insetos tornando-as menos

disponíveis e impedindo a sua absorção (Lindsay et al., 1984; Karlsen et al., 2015). Essa informação pode explicar a diferença no desempenho de camarões alimentados com 25% de substituição da farinha de peixes pela FLHI. O perfil de aminoácidos limitantes é outro fator que favorece a substituição da FP pela FLHI. Barroso et al. (2014) descreveram os níveis de arginina (8,24%), lisina (7,6%) e metionina (1,5%) para larvas da mosca-soldado-negro. Estudos com farinha de insetos são escassos para *M. amazonicum*, entretanto já foram realizados com outras espécies de camarão com níveis próximos ao do presente estudo. Richardson et al. (2021) substituindo aproximadamente 30% da FP por FLHI em dietas para pós-larvas de *P. vannamei* verificaram que a substituição resultou em crescimento significativamente maior nos camarões em relação ao grupo controle, sem afetar a sobrevivência. Entretanto, Chen et al. (2021) ao substituírem 30% de FP por FLHI para juvenis de *P. vannamei* encontraram redução significativa do ganho de peso e taxa de crescimento específica em relação ao grupo controle. Em estudo com *M. rosenbergii*, Zarantoniello et al. (2023) demonstraram que a substituição da FP por FLHI em 20% não afetou negativamente o crescimento e a taxa de sobrevivência. Estes achados corroboram com o presente estudo e indicam que a mosca-soldado-negro é uma alternativa adequada para desempenho de crescimento em camarões.

Os resultados demonstraram que a substituição de 25% da FP por FLHI promoveu melhorias significativas na composição proximal do músculo de *M. amazonicum*, em especial no teor de proteína bruta. Este incremento proteico está alinhado aos resultados de desempenho zootécnico. O aumento progressivo no teor de extrato etéreo muscular, demonstra clara relação dose-resposta à inclusão de FLHI na dieta. Este padrão de acúmulo lipídico, também observado para *P. vannamei* por Wang et al. (2021), sugere que camarões apresentam a capacidade limitada de metabolizar lipídios quando a inclusão de FLHI ultrapassa 25%. Apesar deste aumento, os teores de umidade e matéria mineral mantiveram-se estáveis em todos os tratamentos.

A farinha de larvas da mosca-soldado-negro além de melhorar o desempenho de crescimento foi capaz de reduzir significativamente a carga microbiana de *Vibrio* no hepatopâncreas e intestino do camarão-da-amazônia, além de alterar a abundância relativa de espécies de *Vibrio* nos mesmos órgãos. A redução significativa da carga de *Vibrio* no presente estudo pode estar atribuída ao fato da FLHI ser rica em peptídeos

antimicrobianos (AMP's) que tem potencial de inibição de crescimento de bactérias patogênicas, incluindo espécies de *Vibrio*, sem acarretar em resistência microbiana (Xia et al., 2021; Zhang et al., 2024). Os mecanismos de resistência bacteriana a peptídeos antimicrobianos podem incluir modificações na membrana celular (Epand e Vogel, 1999), produção de enzimas que inativam os AMP's (Wright, 2005; Nadeem et al., 2020) e efluxo de AMP's a partir de bombas e formação de filmes que dificultam a penetração dos AMP's nas células bacterianas (Li et al., 2012). Contudo, Zhang et al. (2022) relataram a eficiência de peptídeos antimicrobianos derivados da mosca-soldado-negro em inibir *V. parahaemolyticus* *in vitro* e *in vivo*. Estudos anteriores também demonstraram o efeito de larvas da mosca-soldado-negro como potencial inibidor de *Vibrio* em crustáceos como, por exemplo, Keetanon et al. (2024) ao utilizarem entre 5% e 10% de FLHI em dietas para *P. vannamei*, encontraram redução hepatopancreática e intestinal para *Vibrio*. He et al. (2022) ao utilizarem larvas frescas da mosca-soldado-negro em até 50% na dieta observaram redução da carga intestinal de *Vibrio* em aproximadamente 17%. Chen et al. (2021) também ao substituírem entre 10% e 30% da FP pela FLHI para *P. vannamei* encontraram redução na carga intestinal de *Vibrio* e aumento de bactérias benéficas à saúde intestinal, como *Bacillus* e *Pseudoalteromonas*.

A microbiota do hepatopâncreas e do intestino têm significativo efeito no crescimento, saúde e sobrevivência dos camarões, pois auxiliam na digestão, proteção contra patógenos e redução do estresse (Chen et al., 2017; Dong et al., 2021; Chang et al., 2023). Até o momento não há estudos que avaliem o efeito da FLHI na microbiota hepatopancreática e intestinal do camarão-da-amazônia. Entretanto, é conhecido o efeito para o salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (Weththasinghe et al., 2022), truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Drosdowech et al., 2024), lagostim marrom liso (*Cherax cainii*) (Foysal et al., 2019), dourada prateada (*Pagrus major*) (Oktay et al., 2024), camarão-branco-do-pacífico (*P. vannamei*) (He et al., 2022), dentre outras espécies.

No presente estudo o aumento da inclusão da FLHI acarretou na redução da abundância relativa de *V. mediterranei* e *V. aerogenes* no hepatopâncreas, e de *V. mediterranei* e *V. metschnikovii* no intestino dos camarões. Ainda que as espécies mais conhecidas como patógenos para camarões sejam *V. parahaemolyticus* (Raja et al., 2017; Bachand et al., 2020) e *V. harveyi* (Jayasree et al., 2006; Zhang et al., 2020), espécies como *V. mediterranei* e *V. metschnikovii* já foram relatadas como potenciais patógenos

para organismos aquáticos (De La Peña et al., 2001; Elhadi et al., 2004; Fan et al., 2023), podendo ser veiculados ao ser humano por meio da cadeia alimentar (Linde et al., 2004; Cao et al., 2010). A redução da abundância relativa de algumas espécies de *Vibrio* em *M. amazonicum* está associada ao aumento da abundância de *V. proteolyticus*. Esta, é uma espécie conhecida por sua capacidade em produzir quitinase, uma enzima que decompõe a quitina, importante componente do exoesqueleto de crustáceos e insetos (Kaya et al., 2014; Mohan et al., 2020; Triunfo et al., 2021). Assim, o aumento da inclusão da FLHI aumentou consequentemente a concentração de quitina nas dietas. Entre as quitinases produzidas por *V. proteolyticus*, a quitinase endoativa denominada quitinase A exibe alta atividade quitinolítica (Itoi et al., 2007), em especial na estrutura cristalina da α -quitina, derivada de artrópodes. Adicionalmente, o domínio C-terminal da quitinase A demonstra ser importante para a expressão de sua atividade enzimática frente à substratos de quitina insolúvel. A quitina da mosca-soldado-negro é predominantemente α -quitina, conhecida por sua estabilidade e integridade estrutural (Purkayastha e Sarkar, 2019; Soetemans et al., 2020; Wang et al., 2020) e a quitinase A produzida pelo *V. proteolyticus* é capaz de degradá-la. Outro fator relevante que pode ter influenciado no aumento da abundância de *V. proteolyticus* em detrimento as outras espécies de *Vibrio* é a capacidade da espécie em produzir proteases extracelulares como vibriolisinas e coleagenases (Sonoda et al., 2009; Miyoshi, 2013) que além de auxiliar na aquisição de nutrientes, fornece vantagem competitiva ao degradar tecidos e matrizes extracelulares, promovendo assim a disseminação e colonização bacteriana.

5. Conclusão

A substituição em 25% da FP pela FLHI favorece o crescimento dos camarões quando comparados ao grupo controle. Além disso, a FLHI pode ser capaz de reduzir significativamente a carga microbiana total de *Vibrio* no hepatopâncreas e intestino. Nossos resultados podem ser relevantes para embasar o uso de farinha de larvas da mosca-soldado-negro na alimentação *M. amazonicum*, em especial para avaliação futura do efeito de farinhas desengorduradas e desquitinadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) na concessão da bolsa de doutorado oferecida à Rafael Queiroz dos Anjos. Rodrigo Fortes da Silva é bolsista de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com número de processo: 306382/2023-7.

Declaração de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse na publicação deste estudo.

Referências

- Agboola, J. O., Øverland, M., Skrede, A., & Hansen, J. Ø. (2020). Yeast as major protein-rich ingredient in aquafeeds: a review of the implications for aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 949–970.
<https://doi.org/10.1111/RAQ.12507>;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION
- Aguilera-Rivera, D., Prieto-Davó, A., Rodríguez-Fuentes, G., Escalante-Herrera, K. S., & Gaxiola, G. (2019). A vibriosis outbreak in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in biofloc and clear seawater. *Journal of Invertebrate Pathology*, 167, 107246. <https://doi.org/10.1016/J.JIP.2019.107246>
- AOAC. (1990). *Official Methods Of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists inc.
- Bachand, P. T., Tallman, J. J., Powers, N. C., Woods, M., Azadani, D. N., Zimba, P. V., & Turner, J. W. (2020). Genomic identification and characterization of co-occurring Harveyi clade species following a vibriosis outbreak in Pacific white shrimp, *Penaeus (litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 518, 734628.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734628>
- Baker-Austin, C., & Oliver, J. D. (2017). *Vibrio vulnificus*: new insights into a deadly opportunistic pathogen. *Environmental Microbiology*, 20(2), 423–430.
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.13955>

- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422–423, 193–201. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2013.12.024>
- Bauer, J., Teitge, F., Neffe, L., Adamek, M., Jung, A., Peppler, C., Steinhagen, D., & Jung-Schroers, V. (2020). Impact of a reduced water salinity on the composition of *Vibrio* spp. in recirculating aquaculture systems for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and its possible risks for shrimp health and food safety. *Journal of Fish Diseases*, 44(1), 89–105. <https://doi.org/10.1111/jfd.13270>
- Cao, J., Xu, J., Zheng, Q., & Yan, P. (2010). Rapid Detection of *Vibrio metschnikovii* in Aquatic Products by Real-Time PCR. *Folia Microbiologica*, 55(6), 607–613. <https://doi.org/10.1007/S12223-010-0098-2/METRICS>
- Castelo-Branco, D. de S. C. M., Sales, J. A., Brilhante, R. S. N., Guedes, G. M. de M., Ponte, Y. B. de, Sampaio, C. M. de S., Bandeira, T. de J. P. G., Moreira, J. L. B., Alencar, L. P. de, Paiva, M. de A. N., Cordeiro, R. de A., Monteiro, A. J., Pereira-Neto, W. de A., Sidrim, J. J. C., & Rocha, M. F. G. (2016). Enterobacteria and Vibrio from *Macrobrachium amazonicum* prawn farming in Fortaleza, Ceará, Brazil. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 9(1), 27–31. <https://doi.org/10.1016/J.APJTM.2015.12.006>
- Chang, T., Lin, H., Han, F., Xu, C., & Li, E. (2025). Impact of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on health, muscle texture, and intestinal microbiota in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 596, 741755. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2024.741755>
- Chang, Y.-T., Ko, H.-T., Wu, P.-L., Kumar, R., Wang, H.-C., & Lu, H.-P. (2023). Gut microbiota of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) exhibits distinct responses to pathogenic and non-pathogenic *Vibrio parahaemolyticus*. *Microbiology Spectrum*, 11(5). https://doi.org/10.1128/SPECTRUM.01180-23/SUPPL_FILE/SPECTRUM.01180-23-S0001.DOCX
- Chen, W. Y., Ng, T. H., Wu, J. H., Chen, J. W., & Wang, H. C. (2017). Microbiome Dynamics in a Shrimp Grow-out Pond with Possible Outbreak of Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/S41598-017-09923-6;TECHMETA=22,23,45,77;SUBJMETA=171,1878,2565,326,631;KWRD=MICROBIAL+COMMUNITIES,WATER+MICROBIOLOGY>

- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., & Xie, S. (2021). Evaluation of the Dietary Black Soldier Fly Larvae Meal (*Hermetia illucens*) on Growth Performance, Intestinal Health, and Disease Resistance to *Vibrio parahaemolyticus* of the Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Frontiers in Marine Science*, 8, 706463. [https://doi.org/10.3389/FMARS.2021.706463/BIBTEX](https://doi.org/10.3389/FMARS.2021.706463)
- Chen, Y., Zhuang, Z., Liu, J., Wang, Z., Guo, Y., Chen, A., Chen, B., Zhao, W., & Niu, J. (2023). Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) revealed by innate immunity and 16S rRNA gene sequencing analysis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 46, 101080. <https://doi.org/10.1016/J.CBD.2023.101080>
- Coelho, P. A., & Ramos-Porto, M. (1985). Camarões de água doce do Brasil: Distribuição geográfica. *Revista Brasileira de Zoologia*, 2(6), 405–410.
- Cummins, V. C., Rawles, S. D., Thompson, K. R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., & Webster, C. D. (2017). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 473, 337–344. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2017.02.022>
- D’Abramo, L. R., & New, M. B. (2010). Nutrition, Feeds and Feeding. In: *Freshwater Prawns: Biology and Farming*, 218–238. <https://doi.org/10.1002/9781444314649.CH12>
- De La Peña, L. D., Lavilla-Pitogo, C. R., & Paner, M. G. (2001). Luminescent Vibrios Associated with Mortality in Pond-Cultured Shrimp *Penaeus monodon* in the Philippines: Species Composition. *Fish Pathology*, 36(3), 133–138. <https://doi.org/10.3147/JFP.36.133>
- Dong, P., Guo, H., Wang, Y., Wang, R., Chen, H., Zhao, Y., Wang, K., & Zhang, D. (2021). Gastrointestinal microbiota imbalance is triggered by the enrichment of *Vibrio* in subadult *Litopenaeus vannamei* with acute hepatopancreatic necrosis disease. *Aquaculture*, 533, 736199. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.736199>
- Drosdowech, S., Bezner, S., Daisley, B., Chiasson, M., Easton, A., Rooney, N., & Huyben, D. (2024). Influence of feeding black soldier fly (*Hermetia illucens*), cricket (*Gryllodes sigillatus*), and superworm (*Zophobas morio*) on the gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Applied Microbiology*, 135(12), 295. <https://doi.org/10.1093/JAMBIO/LXAE295>
- Elhadi, N., Radu, S., Chen, C. H., & Nishibuchi, M. (2004). Prevalence of Potentially Pathogenic Vibrio Species in the Seafood Marketed in Malaysia. *Journal of Food Protection*, 67(7), 1469–1475. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.7.1469>

- Epand, R. M., & Vogel, H. J. (1999). Diversity of antimicrobial peptides and their mechanisms of action. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1462(1–2), 11–28. [https://doi.org/10.1016/S0005-2736\(99\)00198-4](https://doi.org/10.1016/S0005-2736(99)00198-4)
- Ettefaghdoost, M., Navirian, H., & Haghghi, H. (2025). Effects of dietary β -carotene supplementation on growth performance, biochemical indices, hemato-immunological parameters, and physio-metabolic responses of the oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*). *Aquaculture Nutrition*. <https://doi.org/10.1155/anu/5184405>
- Fan, C., Liu, S., Dai, W., He, L., Xu, H., Zhang, H., & Xue, Q. (2023). Characterization of *Vibrio mediterranei* Isolates as Causative Agents of Vibriosis in Marine Bivalves. *Microbiology Spectrum*, 11(2). https://doi.org/10.1128/SPECTRUM.04923-22/SUPPL_FILE/SPECTRUM.04923-22-S0001.PDF
- FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. <https://doi.org/10.4060/CD0683EN>
- Finke, M. D. (2007). Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26(2), 105–115. <https://doi.org/10.1002/ZOO.20123;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>
- Fisher, H. J., Collins, S. A., Hanson, C., Mason, B., Colombo, S. M., & Anderson, D. M. (2020). Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 521, 734978. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.734978>
- Foysal, M. J., Fotedar, R., Tay, C. Y., & Gupta, S. K. (2019). Dietary supplementation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal modulates gut microbiota, innate immune response and health status of marron (*Cherax cainii*, Austin 2002) fed poultry-by-product and fishmeal based diets. *PeerJ*, 2019(5), e6891. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.6891/SUPP-6>
- Haque, Z. F., Islam, M. S., Sabuj, A. A. M., Pondit, A., Sarkar, A. K., Hossain, M. G., & Saha, S. (2023). Molecular Detection and Antibiotic Resistance of *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus*, and *Vibrio alginolyticus* from Shrimp (*Penaeus monodon*) and Shrimp Environments in Bangladesh. *Aquaculture Research*, 2023(1), 5436552. <https://doi.org/10.1155/2023/5436552>
- He, H., Huang, S., Weng, S., He, J., & Li, C. (2025). Acute hypoxia stress decreases the resistance of *Litopenaeus vannamei* to *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Aquaculture*, 599, 742131. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2025.742131>

- He, Y., Zhang, N., Wang, A., Wang, S., Che, Y., Huang, S., Yi, Q., Ma, Y., & Jiang, Y. (2022). Positive effects of replacing commercial feeds by fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Immune enzyme, water quality, and intestinal microbiota. *Frontiers in Marine Science*, 9, 987363. [https://doi.org/10.3389/FMARS.2022.987363/BIBTEX](https://doi.org/10.3389/FMARS.2022.987363)
- Itoi, S., Kanomata, Y., Koyama, Y., Kadokura, K., Uchida, S., Nishio, T., Oku, T., & Sugita, H. (2007). Identification of a novel endochitinase from a marine bacterium *Vibrio proteolyticus* strain. No. 442. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, 1774(9), 1099–1107. <https://doi.org/10.1016/J.BBAPAP.2007.06.003>
- Jayasree, L., Janakiram, P., & Madhavi, R. (2006). Characterization of *Vibrio* spp. associated with diseased shrimp from culture ponds of Andhra Pradesh (India). *Journal of the World Aquaculture Society*, 37(4), 523–532. <https://doi.org/10.1111/J.1749-7345.2006.00066.X>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
- Karlsen, Ø., Amlund, H., Berg, A., & Olsen, R. E. (2015). The effect of dietary chitin on growth and nutrient digestibility in farmed Atlantic cod, Atlantic salmon and Atlantic halibut. *Aquaculture Research*, 48(1), 123–133. <https://doi.org/10.1111/ARE.12867>
- Kaya, M., Baublys, V., Can, E., Šatkauskienė, I., Bitim, B., Tubelytė, V., & Baran, T. (2014). Comparison of physicochemical properties of chitins isolated from an insect (*Melolontha melolontha*) and a crustacean species (*Oniscus asellus*). *Zoomorphology*, 133(3), 285–293. [https://doi.org/10.1007/S00435-014-0227-6/TABLES/1](https://doi.org/10.1007/S00435-014-0227-6)
- Keetanon, A., Chuchird, N., Phansawat, P., Kitsanayanyong, L., Chou, C. C., Verstraete, P., Ménard, R., Richards, C. S., Ducharme, F., & Rairat, T. (2024). Effects of black soldier fly larval meal on the growth performance, survival, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture International*, 32(2), 2233–2248. <https://doi.org/10.1007/S10499-023-01267-5/FIGURES/3>
- Ko, D., & Lee, K. J. (2024). Dietary vitamin C reduces mortality of pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) post-larvae by *Vibrio parahaemolyticus* challenge. *Fish & Shellfish Immunology*, 151, 109723. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2024.109723>
- Kroeckel, S., Harjes, A. G. E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., & Schulz, C. (2012). When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute — Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364–365, 345–352. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2012.08.041>

- Li, X., Yang, H., Gao, X., Zhang, H., Chen, N., Miao, Z., Liu, X., & Zhang, X. (2019). The pathogenicity characterization of non-O1 *Vibrio cholerae* and its activation on immune system in freshwater shrimp *Macrobrachium nipponense*. *Fish & Shellfish Immunology*, 87, 507–514. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2019.01.050>
- Li, Y., Xiang, Q., Zhang, Q., Huang, Y., & Su, Z. (2012). Overview on the recent study of antimicrobial peptides: Origins, functions, relative mechanisms and application. *Peptides*, 37(2), 207–215. <https://doi.org/10.1016/J.PEPTIDES.2012.07.001>
- Linde, H. J., Kobuch, R., Jayasinghe, S., Reischl, U., Lehn, N., Kaulfuss, S., & Beutin, L. (2004). *Vibrio metschnikovii*, a rare cause of wound infection. *Journal of Clinical Microbiology*, 42(10), 4909–4911. <https://doi.org/10.1128/JCM.42.10.4909-4911.2004/ASSET/AAEA8423-3212-472F-9D05-03C329D88EFD/ASSETS/GRAFIC/ZJM0100446430001.JPG>
- Lindsay, G. J. H., Walton, M. J., Adron, J. W., Fletcher, T. C., Cho, C. Y., & Cowey, C. B. (1984). The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. *Aquaculture*, 37(4), 315–334. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90297-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90297-7)
- Maciel, C. R., & Valenti, W. C. (2009). Biology, Fisheries, and Aquaculture of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*: A Review. *Nauplius*, 17(2), 61–79. https://www.caunesp.unesp.br/Home/publicacoes/rp_maciel_biology-fisheries-and-aquaculture.pdf
- Miyoshi, S.-I., & Ceccarelli, D. (2013). Extracellular proteolytic enzymes produced by human pathogenic vibrio species. *Frontiers in Microbiology*, 4, 66662. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2013.00339>
- Mohan, K., Ganesan, A. R., Muralisankar, T., Jayakumar, R., Sathishkumar, P., Uthayakumar, V., Chandirasekar, R., & Revathi, N. (2020). Recent insights into the extraction, characterization, and bioactivities of chitin and chitosan from insects. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 17–42. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.08.016>
- Mohan, K., Rajan, D. K., Muralisankar, T., Ganesan, A. R., Sathishkumar, P., & Revathi, N. (2022). Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs. *Aquaculture*, 553, 738095. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738095>
- Moraes-Riodades, Kimpara, P. M. C.; & Valenti, J. M. &. (2006). Effect of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* culture intensification on ponds hydrobiology. *Acta Limnol. Bras*, 18(3), 311–319.

- Moraes-Valenti, P. M. C., & Valenti, W. C. (2007). Effect of Intensification on Grow Out of the Amazon River Prawn, *Macrobrachium amazonicum*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(4), 516–526. <https://doi.org/10.1111/J.1749-7345.2007.00125.X>
- Moraes-Valenti, P., & Valenti, W. C. (2010). Culture of the Amazon River Prawn *Macrobrachium Amazonicum*. In: *Freshwater Prawns: Biology and Farming*, 485–501. <https://doi.org/10.1002/9781444314649.CH22>
- Munguti, J., Muthoka, M., Mboya, J. B., Kyule, D., Meenakshisundaram, M., & Tanga, C. M. (2025). Unraveling the Potential of Black Soldier Fly Larvae as a Sustainable Protein Source for Nile Tilapia Production in Diverse Aquaculture Systems. *Aquaculture Nutrition*, 2025(1), 3598843. <https://doi.org/10.1155/ANU/3598843>
- Muthukrishnan, S., Defoirdt, T., Ina-Salwany, M. Y., Yusoff, F. M., Shariff, M., Ismail, S. I., & Natrah, I. (2019). *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio harveyi* causing Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) in *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) isolated from Malaysian shrimp ponds. *Aquaculture*, 511, 734227. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734227>
- Nadeem, S. F., Gohar, U. F., Tahir, S. F., Mukhtar, H., Pornpukdeewattana, S., Nukthamna, P., Moula Ali, A. M., Bavisetty, S. C. B., & Massa, S. (2020). Antimicrobial resistance: more than 70 years of war between humans and bacteria. *Critical Reviews in Microbiology*, 46(5), 578–599. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2020.1813687>
- Ng, W. K., Liew, F. L., Ang, L. P., & Wong, K. W. (2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32(1), 273–280. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x>
- Noguerola, I., & Blanch, A. R. (2008). Identification of *Vibrio* spp. with a set of dichotomous keys. *Journal of Applied Microbiology*, 105(1), 175–185. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2672.2008.03730.X>
- Oktay, O., Seong, T., Kabeya, N., Morioka, S., Liu, C. M., Kobayashi, T., Shimoda, M., Satoh, S., & Haga, Y. (2024). Can black soldier fly meal in diets improve gut microbiota diversity, nutrient digestibility, and growth response of marine fish? A study on red sea bream *Pagrus major*. *Fisheries Science*, 90(5), 773–786. <https://doi.org/10.1007/S12562-024-01807-9/FIGURES/3>
- Purkayastha, D., & Sarkar, S. (2019). Physicochemical Structure Analysis of Chitin Extracted from Pupa Exuviae and Dead Imago of Wild Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Polymers and the Environment*, 28(2), 445–457. <https://doi.org/10.1007/S10924-019-01620-X/TABLES/1>

- Raja, R. A., Sridhar, R., Balachandran, C., Palanisammi, A., Ramesh, S., & Nagarajan, K. (2017). Pathogenicity profile of *Vibrio parahaemolyticus* in farmed Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 67, 368–381. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2017.06.020>
- Richardson, A., Dantas-Lima, J., Lefranc, M., & Walraven, M. (2021). Effect of a Black Soldier Fly Ingredient on the Growth Performance and Disease Resistance of Juvenile Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals 2021, Vol. 11, Page 1450*, 11(5), 1450. <https://doi.org/10.3390/ANI11051450>
- Roig, A. P., Salido, H. C., Sanjuán, E., Fouz, B., & Amaro, C. (2022). A multiplex PCR for the detection of *Vibrio vulnificus* hazardous to human and/or animal health from seafood. *International Journal of Food Microbiology*, 377, 109778. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2022.109778>
- Sánchez-Muros, M. J., Renteria, P., Vizcaino, A., & Barroso, F. G. (2020). Innovative protein sources in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feeding. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 186–203. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12312>
- Silva, N. da, Junqueira, V. C. A., Silveira, N. F. de A., Taniwaki, M. H., Gomes, R. A. R., & Okazaki, M. M. (2010). *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água*. (4th ed., Vol. 1). Varela.
- Soetemans, L., Uyttebroek, M., & Bastiaens, L. (2020). Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 3206–3214. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.11.041>
- Sonoda, H., Daimon, K., Yamaji, H., & Sugimura, A. (2009). Efficient production of active *Vibrio proteolyticus* aminopeptidase in *Escherichia coli* by co-expression with engineered vibriolysin. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84(1), 191–198. <https://doi.org/10.1007/S00253-009-2089-2/FIGURES/5>
- To, T. T. H., Yanagawa, H., Thuan, N. K., Hiep, D. M., Van Cuong, D., Khai, L. T. L., Taniguchi, T., Kubo, R., & Hayashidani, H. (2020). Prevalence of *Vibrio parahaemolyticus* Causing Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease of Shrimp in Shrimp, Molluscan Shellfish and Water Samples in the Mekong Delta, Vietnam. *Biology 2020, Vol. 9, Page 312*, 9(10), 312. <https://doi.org/10.3390/BIOLOGY9100312>
- Triunfo, M., Tafi, E., Guarnieri, A., Scieuzzo, C., Hahn, T., Zibek, S., Salvia, R., & Falabella, P. (2021). Insect chitin-based nanomaterials for innovative cosmetics and cosmeceuticals. *Cosmetics*, 40(8). <https://doi.org/10.3390/cosmetics8020040>

- Valente, C. S., & Wan, A. H. L. (2021). *Vibrio* and major commercially importante vibriosis diseases in decapod crustaceans. *Journal of Invertebrate Pathology*, 181(1). <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107527>
- Van Moll, L., De Smet, J., Paas, A., Tegtmeier, D., Vilcinskas, A., Cos, P., & Van Campenhout, L. (2022). In Vitro Evaluation of Antimicrobial Peptides from the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) against a Selection of Human Pathogens. *Microbiology Spectrum*, 10(1). https://doi.org/10.1128/SPECTRUM.01664-21/SUPPL_FILE/SPECTRUM01664-21_SUPP_1_SEQ9.PDF
- Wang, H., Rehman, K. ur, Feng, W., Yang, D., Rehman, R. ur, Cai, M., Zhang, J., Yu, Z., & Zheng, L. (2020). Physicochemical structure of chitin in the developing stages of black soldier fly. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 901–907. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.01.293>
- Wang, G., Peng, K., Hu, J., Mo, W., Wei, Z., & Huang, Y. (2021). Evaluation of defatted *Hermetia illucens* larvae meal for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth performance, nutrition retention, antioxidant and immune response, digestive enzymes activity and hepatic morphology. *Aquaculture Nutrition*, 1-12. <https://doi.org/10.1111/anu.13240>
- Weththasinghe, P., Rocha, S. D. C., Øyås, O., Lagos, L., Hansen, J., Mydland, L. T., & Øverland, M. (2022). Modulation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) gut microbiota composition and predicted metabolic capacity by feeding diets with processed black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meals and fractions. *Animal Microbiome*, 4(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/S42523-021-00161-W/FIGURES/8>
- Wright, G. D. (2005). Bacterial resistance to antibiotics: Enzymatic degradation and modification. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 57(10), 1451–1470. <https://doi.org/10.1016/J.ADDR.2005.04.002>
- Xia, J., Ge, C., & Yao, H. (2021). Antimicrobial Peptides from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Potential Antimicrobial Factors Representing an Alternative to Antibiotics in Livestock Farming. *Animals 2021, Vol. 11, Page 1937*, 11(7), 1937. <https://doi.org/10.3390/ANI11071937>
- Yin, X., Zhuang, X., Liao, M., Huang, L., Cui, Q., Liu, C., Dong, W., Wang, F., Liu, Y., & Wang, W. (2022). Transcriptome analysis of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) hepatopancreas challenged by *Vibrio alginolyticus* reveals lipid metabolic disturbance. *Fish & Shellfish Immunology*, 123, 238–247. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2022.03.004>

- Zarantoniello, M., Chemello, G., Ratti, S., Pulido-Rodríguez, L. F., Daniso, E., Freddi, L., Salinetti, P., Nartea, A., Bruni, L., Parisi, G., Riolo, P., & Olivotto, I. (2023). Growth and Welfare Status of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) Post-Larvae Reared in Aquaponic Systems and Fed Diets including Enriched Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Prepupae Meal. *Animals 2023, Vol. 13, Page 715, 13(4), 715.* <https://doi.org/10.3390/ANI13040715>
- Zhang, S., Xiong, P., Ma, Y., Jin, N., Sun, S., Dong, X., Li, X., Xu, J., Zhou, H., & Xu, W. (2022). Transformation of food waste to source of antimicrobial proteins by black soldier fly larvae for defense against marine *Vibrio parahaemolyticus*. *Science of The Total Environment, 826, 154163.* <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.154163>
- Zhang, X. H., He, X., & Austin, B. (2020). *Vibrio harveyi*: a serious pathogen of fish and invertebrates in mariculture. *Marine Life Science and Technology, 2(3), 231–245.* <https://doi.org/10.1007/S42995-020-00037-Z/TABLES/3>
- Zhang, Z. L., Meng, Y. Q., Li, J. J., Zhang, X. X., Li, J. T., Xu, J. R., Zheng, P. H., Xian, J. A., & Lu, Y. P. (2024). Effects of antimicrobial peptides from dietary *Hermetia illucens* larvae on the growth, immunity, gene expression, intestinal microbiota and resistance to *Aeromonas hydrophila* of juvenile red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Fish & Shellfish Immunology, 147, 109437.* <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2024.109437>

CAPÍTULO II

Substituição da farinha de peixe por farinha de *Hermetia illucens* na alimentação do *Macrobrachium amazonicum*: crescimento, enzimas digestivas, preferência alimentar e resistência ao *Vibrio parahaemolyticus*

Substituição da farinha de peixe por farinha de larvas de *Hermetia illucens* na alimentação de *Macrobrachium amazonicum*: crescimento, enzimas digestivas, preferência alimentar e resistência ao *Vibrio parahaemolyticus*

Rafael Queiroz dos Anjos^a, José dos Santos^b, Mile Ane Larissa Costa Muricy^b, Jhennifer da Silva Pereira^c, Ranilson de Souza Bezerra^c, Thais Billalba Carvalho^d, Norma Suely Evangelista Barreto^{b/d}, Mariana Cutolo de Araujo^d, Rodrigo Fortes da Silva^{a/e}

^aPrograma de Pós-Graduação em Zootecnia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal da Bahia (UFBA), 40170-110, Bahia, Brasil

^bPrograma de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 44380-000, Bahia, Brasil

^cLaboratório de Enzimologia, Departamento de Bioquímica, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-420, Recife, Pernambuco

^dSetor do Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 44380-000, Bahia, Brasil

^eDepartamento de Zootecnia, Campus Viçosa, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000, Minas Gerais, Brasil

*Autor correspondente: Rafael Queiroz dos Anjos, PPGZ/Universidade Federal da Bahia. E-mail: engpesca.queiroz@gmail.com (Queiroz-Anjos, R.).

RESUMO

Este estudo avaliou os efeitos da substituição da farinha de peixe (FP) por farinha de larvas da mosca-soldado-negro (FLHI) em dietas para o *Macrobrachium amazonicum*, durante 60 dias, analisando desempenho zootécnico, atividade de enzimas digestivas, preferência alimentar e resistência ao *Vibrio parahaemolyticus*. Quatro dietas experimentais (0%, 12,5%, 25% e 37,5% de substituição) foram testadas em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições cada. Os resultados demonstraram que a inclusão de 25% de FLHI proporcionou o melhor desempenho ($p<0,05$), com resultados superiores de ganho de peso e taxa de conversão alimentar, em relação ao controle. A atividade de proteases alcalinas e tripsina foi maximizada no tratamento com 25% de substituição, enquanto a lipase aumentou com a inclusão de FLHI. No desafio bacteriano, o grupo com 25% de substituição apresentou maior sobrevivência, melhores níveis de estresse oxidativo (MDA, CAT e GSH) e melhor resposta à infecção em comparação ao controle ($P<0,05$). Em um segundo experimento, para avaliar a preferência alimentar durante 15 dias, os camarões preferiram significativamente ($p<0,05$) a dieta com 25% de substituição em relação ao controle. Conclui-se que a substituição de 25% da FP por FLHI otimiza o crescimento, a atividade de enzimas digestivas e a resistência ao *V. parahaemolyticus*, sendo uma alternativa viável para a aquicultura.

Palavras-chave: camarão de água doce, farinha de insetos, mosca-soldado-negro, proteína.

1. Introdução

A aquicultura é um dos setores de produção de alimentos que mais cresce globalmente, desempenhando papel crucial na segurança alimentar e nutricional. No entanto, sua expansão sustentável enfrenta o desafio crítico da dependência de fontes tradicionais de proteína, como a farinha de peixe, cuja produção depende de recursos pesqueiros finitos e está associada a impactos ambientais significativos, como a sobrepesca (FAO, 2024). A busca por alternativas proteicas sustentáveis tem se intensificado, com destaque para os insetos, que apresentam alto valor nutricional, eficiência na conversão alimentar e potencial para produção a partir de resíduos orgânicos (Sánchez-Muros et al., 2014; Nogales-Mérida et al., 2018; Shah et al., 2022).

Dentre as espécies de insetos com maior potencial para a aquicultura, a mosca-soldado-negro (*Hermetia illucens*) se destaca devido ao seu rápido ciclo de vida, elevados teores de proteína bruta com perfil balanceado de aminoácidos essenciais, além da presença de ácidos-graxos poli-instaurados e compostos bioativos (Liu et al., 2017; Ahmed et al., 2023). A farinha de larvas da mosca-soldado-negro tem sido testada com sucesso em dietas para peixes e camarões, mostrando resultados promissores em termos de desempenho zootécnico (Novriadi et al., 2023; Mahato et al., 2024).

Macrobrachium amazonicum é uma espécie nativa da América do Sul com grande importância econômica e ecológica, amplamente distribuída no Brasil devido à sua adaptabilidade (Maciel e Valenti, 2009). Sua nutrição proteica, tradicionalmente baseada em rações com altos teores de farinha de peixe (Moraes-Valenti e Valenti, 2010), pode ser otimizada com a inclusão de ingredientes alternativos, desde que mantenham ou aumentem o desempenho zootécnico e melhorem a saúde dos camarões. Estudos indicam que a substituição parcial da farinha de peixe por farinha de larvas da mosca-soldado-negro pode aumentar o crescimento dos camarões (Cummins-Jr et al., 2017; Novriadi et al., 2023), entanto, sua aplicação na dieta do *Macrobrachium amazonicum*, ainda carece de estudos detalhados, especialmente para avaliar o crescimento e o perfil de enzimas digestivas.

Além do desempenho zootécnico, a atividade de enzimas digestivas é um parâmetro crucial para avaliar a eficácia de dietas alternativas. Dietas desbalanceadas podem levar a alterações enzimáticas, afetando o crescimento e a saúde dos animais.

Portanto, entender como a farinha de larvas da mosca-soldado-negro modula essas enzimas é essencial para o desenvolvimento de dietas eficientes e sustentáveis (ISLAM et al., 2024).

A capacidade da farinha de larvas da mosca-soldado-negro de modular a resposta imune de *M. amazonicum*, especialmente frente a desafios bacterianos como *Vibrio parahaemolyticus*, um patógeno de grande relevância na carcinicultura (Zhang et al., 2021; Chang et al., 2023), ainda não havia sido investigada antes do presente estudo. A presença de compostos bioativos na farinha de larvas da mosca-soldado-negro, como a quitina e peptídeos antimicrobianos, pode potencialmente fortalecer as defesas antioxidantes (via aumento da atividade de catalase e glutatona) e aumentar a sobrevivência pós infecção (Lu et al., 2022; Praseatsook et al., 2025).

Neste contexto, no presente estudo foi objetivado avaliar os efeitos da substituição da farinha de peixe por farinha de larvas da mosca-soldado-negro no desempenho zootécnico, na atividade de enzimas digestivas, na preferência alimentar e na resistência de *M. amazonicum* ao *V. parahaemolyticus*.

2. Material e Métodos

2.1 Nota ética

De acordo com a Lei 11.974 de 8 de outubro de 2008, da Constituição Federal Brasileira, experimentos utilizando animais invertebrados não necessitam de submissão e aprovação na Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA).

2.2 Condições gerais e delineamento experimental

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), utilizando as instalações do Laboratório Berçário de Manutenção de Camarão e do Laboratório de Microbiologia de Alimentos e Ambiental. Exemplares de *M. amazonicum* foram pescados no Rio Paraguaçu (12°32'13"S, 39°04'46"W) por pescadores artesanais e transportados até a universidade (21 Km). Antes do início do experimento, estes foram submetidos a 15 dias de aclimatação em tanques de 1.500 litros

com sistema de recirculação com filtragem biológica e aeração. Durante este período, os organismos foram alimentados duas vezes ao dia (09h00 e 17h00) com ração comercial (Poti Guaçu EXT Guabi®, 35% PB) até saciedade aparente.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, avaliando a substituição de farinha de peixe (FP) por farinha de larvas de *H. illucens* (FLHI) na porcentagem de 0% (FLHI0), 12,5% (FLHI12), 25% (FLHI25) e 37,5% (FLHI37), com cinco repetições por tratamento. Antes dos camarões serem distribuídos nas unidades experimentais, estes foram submetidos a jejum por 24 horas. Cada unidade experimental consistiu em tanques circulares de polietileno (100 L, área de fundo = 0,95 m²) povoados com 20 camarões (peso inicial 1,13 ± 0,22 g). O experimento teve duração de 60 dias, durante os quais os animais foram mantidos nas mesmas condições e alimentados com as dietas experimentais. Os parâmetros de qualidade de água (temperatura: 26,41 ± 0,29 °C; oxigênio dissolvido: 5,36 ± 0,48 mg.L⁻¹; pH: 7,40 ± 0,05) foram monitorados e mantidos dentro das faixas adequadas para a espécie, conforme estabelecido por Moraes-Riodades et al. (2006). O experimento foi executado em água doce.

2.3 Alimentação e dietas experimentais

A farinha de larvas da mosca-soldado-negro (FLHI) utilizada neste estudo foi adquirida de um produtor do município de Cruz das Almas, Bahia, Brasil. A análise da composição proximal da FLHI e da FP foram analisadas conforme AOAC (1990) (Tabela 1). A dieta controle foi formulada contendo 40% de farinha de peixe (FP), com teor proteico de 37%.

Tabela 1. Composição proximal da farinha de peixe e da farinha de larvas da mosca-soldado-negro utilizadas no presente estudo.

Matéria-prima	Composição proximal (%)			
	MS	PB	EE	MM
FP	90,2 ± 0,4	56,4 ± 0,6	8,6 ± 0,4	10,26 ± 0,5
FLHI	91,7 ± 0,7	30,8 ± 0,3	21,6 ± 0,2	11,97 ± 0,8

MS: Matéria seca; PB: Proteína bruta; EE: Extrato etéreo; MM: Matéria mineral.

Para o preparo das dietas experimentais, os ingredientes foram inicialmente moídos (malha de 80 µm), pesados e homogeneizados com adição de óleo e água destilada. Posteriormente, a mistura foi peletizada em peletizadora adaptada (Moedor de Carne Industrial Boca 300 kg/h BM20 Bermar, Brasil), e obtendo *pellets* com diâmetro uniforme de 2,5 mm. Os *pellets* foram secos em estufa de ventilação forçada (55°C) até atingirem 10% de umidade e, posteriormente, armazenados a -20°C até o momento do uso.

A composição centesimal das dietas foi realizada conforme metodologias padronizadas pela AOAC (1990), determinando-se os teores de matéria seca, proteína bruta (método de Kjeldahl), extrato etéreo e cinzas (Tabela 2).

Tabela 2. Formulação e composição proximal das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Dietas			
	FLHI0	FLHI12	FLHI25	FLHI37
Farinha de peixe	40	35	30	25
Farelo de soja	35	37	39	42
Farinha de larvas da mosca-soldado-negro	0	5	10	15
Amido	16	14	12	9
Óleo de soja	1	1	1	1
Carboximetilcelulose	3	3	3	3
Premix vitamínico / mineral ^A	2	2	2	2
Fosfato bicálcico	2,7	2,7	2,7	2,7
Butil hidroxi tolueno	0,3	0,3	0,3	0,3
Composição Nutricional (%)				
Matéria seca	90,05	90,16	90,32	90,54
Proteína bruta	37,73	37,45	37,17	37,34
Extrato etéreo	4,90	5,62	6,33	7,07
Cinzas	10,28	10,39	10,46	10,54
Energia (Kcal.Kg ⁻¹)	4003	4017	4040	4082

^AVitamina A, vitamina D3, vitamina E, vitamina K3, vitamina B1, vitamina B2, vitamina B6, vitamina B12, vitamina C, pantonato de cálcio, niacina, ácido fólico, cloreto de colina, biotina, sulfato de cobre, sulfato de ferro, sulfato de manganês, carbonato de cobalto, iodato de cálcio, selenito de sódio, sulfato de zinco, BHA, etoxiquina, ácido cítrico, inositol, dióxido de silício, óleo mineral. Vitamina A (min) 1000000.00 IU, vitamina D3 (min) 250000.00 IU, vitamina E (min) 12500.00 IU, vitamina K3 (min) 1250.00 mg, vitamina b1 (min) 1875.00 mg, vitamina B2 (min) 1875.00 mg, vitamina B6 (min) 1250.00 mg, vitamina B12 (min) 2500.00 mcg, vitamina C 300 mg, niacina (min) 10.00 g, ácido fólico (min) 625.00 mg, biotina (min) 62.50 mg, colina (min) 50.00 g, cobre (min), ferro (min) 6250.00 mg, manganês (min) 1875.00 mg, cobalto (min) 12.50 mg, iodo (min) 62.50 mg, zinco (min) 6250.00 mg, selênio (min) 12.50 mg, inositol (min) 12.50 g.

2.4 Desempenho zootécnico

Ao término do período experimental, os camarões foram submetidos ao jejum de 24 horas para esvaziamento do trato digestório. Posteriormente, foram contados e pesados

individualmente para avaliação dos parâmetros zootécnicos. O desempenho foi avaliado com base nos seguintes indicadores: ganho de peso (GP, g), taxa de crescimento específica (TCE, %.dia⁻¹), taxa de conversão alimentar (TCA), taxa de eficiência proteica (TEP) e taxa de sobrevivência (S, %). Os cálculos utilizados foram: GP (g) = (peso final - peso inicial); TCE = ((lnPF - lnPI) / tempo) * 100; TCA = consumo de ração / ganho de peso; TEP = ganho de peso / ingestão de proteína; S = (número de camarões ao final do experimento / número de camarões no início do experimento) * 100.

2.5 Preparo dos extratos brutos para análises de enzimas digestivas

Ao final do período experimental, amostras de hepatopâncreas de cinco camarões (por unidade experimental) foram coletadas de forma aleatória e armazenadas a -80°C para obtenção dos extratos brutos. Posteriormente, os órgãos foram pesados e homogeneizados (40 mg de tecido para 1 mL tampão Tris-HCl 0,1M pH 8,0) utilizando homogeneizador (IKA RW-20, Staufen, Alemanha). O homogeneizado foi centrifugado a 8.000 rpm por 10 minutos a 4°C para remoção de restos celulares e nucleotídeos. Logo após, o sobrenadante (extrato bruto) foi congelado a -20°C para realização dos ensaios enzimáticos (Santos et al., 2013). A concentração de proteína dos extratos brutos foi determinada conforme Bradford (1976) usando albumina sérica bovina como padrão.

2.6 Atividade de proteases alcalinas

A atividade das proteases alcalinas foi quantificada de acordo com Bezerra et al. (2005). Na qual 1% (p/v) de azocaseína foi preparada em tampão Tris-HCl 0,1M pH 8,0 e incubada com 30µL de extrato bruto por 60 minutos a 25°C. Em seguida, 240 µL de ácido tricloroacético a 10% (p/v) foram adicionados para interromper a reação. Após 15 minutos, as amostras foram centrifugadas a 8000 rpm por 5 minutos. Em uma microplaca, 70 µL de sobrenadante foram adicionados a 140 µL de NaOH 1M. A absorbância das amostras foi lida a 450 nm utilizando um espectrofotômetro de microplaca (Bio-Rad xMark, Hercules CA, EUA). Os brancos foram preparados usando Tris-HCl 0,1M pH 8,0 e os ensaios foram realizados em triplicata. Uma unidade de atividade enzimática (U) foi

definida como a quantidade de enzima que hidrolisa a azocaseína produzindo uma mudança de 0,001 em absorbância por minuto por miligrama de proteína.

2.7 Atividade de tripsina, quimotripsina e leucina aminopeptidase

A atividade de tripsina foi determinada a partir da adaptação de Buarque et al. (2009) utilizando como substrato BApNA 8,0 mM ($\text{Na}\text{-benzoil-DL-arginina-p-nitroanilida}$) na concentração final de 1,2 mM diluído em dimetilsulfóxido (DMSO). Extratos brutos (30 μL) foram incubados com 30 μL de substrato BApNA e 140 μL de tampão Tris-HCl 0,1M pH8,0 por 15 minutos. A absorbância foi medida a 405 nm e os brancos foram preparados com tampão Tris-HCl 0,1M pH 8,0. A atividade de quimotripsina foi medida utilizando N-succinil-L-fenilalanina-p-nitroanilida (Suc-Phe-p-Nan) e de leucina aminopeptidase foi determinada utilizando leucina-p-nitroanilida (Leu-p-Nan) como substratos específicos (Bezerra *et al.*, 2005), seguindo os mesmos procedimentos da atividade de tripsina.

Os ensaios foram realizados em triplicata e uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de p-nitroanilina por minuto. A atividade específica da enzima se refere a U por miligramas de proteína.

2.8 Atividade de lipase

A atividade de lipase foi determinada a partir da adaptação de Aryee et al. (2007) com p-nitrofenil palmitato (p-NPP) (8,0 mM) dissolvido em 10% de isopropanol (solução estoque do substrato). A solução de trabalho do substrato foi preparada dissolvendo 1 mL da solução estoque em 9 mL de Tris-HCl (50 mM) com 0,4% de Tween 80 (p/v) e 0,1% de goma arábica (p/v) pH 8,0. A hidrólise do p-NPP foi medida a 405 nm após 20 minutos de reação. Os ensaios foram realizados em triplicata com a adição de 30 μL do extrato bruto a 27 μL de solução de trabalho do substrato. Os brancos foram preparados semelhantes às análises anteriores. Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como a quantidade de enzima que catalisa a hidrólise de um μmol de p-nitrofenol (p-NP) por minuto por miligramas de proteína.

2.9 Atividade de amilase

A atividade de amilase foi determinada seguindo o método do ácido dinitrossalicílico (DNSA) usando 2% de amido solúvel (m/v) como substrato (Bernfeld, 1955). Os ensaios foram realizados em 0,125 mL de tampão fosfato de sódio (50 mM pH 7,0) em que 0,025 mL de extrato bruto e 0,125 mL de substrato foram adicionados por 10 minutos a 37°C. Em seguida, a mistura foi incubada em tubos de microcentrífuga de 1,5 mL com 0,1 mL de reagente DNSA por 10 minutos em água fervente (~90 e 100°C). Então, 0,1 mL da mistura da reação foi coletada e a absorbância foi lida a 570 nm. Para determinação da atividade de amilase, uma curva padrão de concentrações crescentes de maltose foi gerada. Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como a quantidade de enzima capaz de liberar 1 µg de maltose por minuto por miligrama de proteína.

2.10 Níveis séricos da hemolinfa

Antes do desafio experimental, sete camarões, e ao final (indivíduos sobreviventes), a hemolinfa foi coletada do seio ventral do primeiro pleômero, de todas as unidades experimentais. Para a coleta, foi utilizado uma seringa estéril de 1 mL acoplada a uma agulha hipodérmica de 2 mm de diâmetro. Esta foi previamente tratada com anticoagulante (EDTA 10%) e mantida a 4°C para evitar alterações metabólicas.

Após a coleta, as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 10 minutos para separação do plasma, que foi imediatamente armazenado a -20°C até a análise bioquímica. Os níveis plasmáticos de proteína total (g.dL⁻¹), glicose (mg.dL⁻¹), colesterol total (mg.dL⁻¹) e triglicerídeos (mg.dL⁻¹) foram obtidos em analisador bioquímico semiautomático (MedMax – MaxBio Touch®) utilizando kits enzimáticos colorimétricos (Vida Biotecnologia®) específicos para cada parâmetro.

2.11 Marcadores de estresse oxidativo

Os extratos brutos utilizados para análises dos marcadores de estresse oxidativo foram os mesmo preparados anteriormente para análises das enzimas digestivas. Foram

analisados os marcadores de estresse oxidativo antes e após o desafio bacteriano para verificação do efeito das dietas na condição fisiológica dos animais. Foram realizadas análises para quantificação de MDA (malondialdeído), CAT (catalase) e GSH (glutationa reduzida).

A peroxidação lipídica foi medida (em triplicata) a partir dos níveis de malondialdeído (MDA) conforme método de Buege e Aust (1978). O extrato bruto (100 μ L) foi homogeneizado em 200 μ L de solução TBARS (15% de ácido tricloroacético, 0,375% de ácido tiobarbitúrico e ácido clorídrico 0,25 mol.L⁻¹), depois foi aquecido a 90°C por 40 minutos em banho-maria. Após resfriamento foram acrescentados 300 μ L de n-Butanol e os extratos foram centrifugados a 9500 RPM em temperatura ambiente. O sobrenadante (200 μ L) foi retirado e lido em 535 nm. A concentração de MDA nas amostras foi determinada com base na curva padrão conhecida de 1,1,3,3-tetrametoxipropano (TMPO). Os resultados foram expressos em μ mol.mg⁻¹.

A atividade de catalase foi medida (em triplicata) segundo Aebi (1984). Utilizou-se solução de peróxido de hidrogênio como substrato em solução tampão fosfato 50 mM pH 7,4. A reação nos extratos brutos, foi iniciada com a adição da catalase de fígado bovino e a absorbância foi medida no intervalo de 60 segundos em 240 nm para avaliar a decomposição do peróxido de hidrogênio nesse intervalo. Os resultados de catalase foram expressos em U.mg⁻¹ de proteína.

A concentração de glutationa reduzida (GSH) foi determinada, em triplicata, conforme o método descrito por Ellman (1959), com base na formação de 5-tionitrobenzoato (TNB) a partir da reação da GSH com o reagente 5,5'-ditiobis(2-nitrobenzoico) (DTNB). Os extratos foram desproteinizados pela adição de ácido tricloroacético (TCA) a 5% (v/v), em proporção de 1:1 (v/v), seguidos de centrifugação a 12.000 rpm por 10 minutos a 4°C. O sobrenadante obtido foi adicionado de uma solução de DTNB a 10 mM. A reação foi incubada por 5 minutos em temperatura ambiente antes da leitura a 412 nm. Os resultados foram expressos em μ mol de GSH por miligrama de tecido (μ mol.mg⁻¹).

2.12 Preparação do inóculo para desafio bacteriano

A partir de cultura bacteriana crescidas em Ágar Triptose de Soja (TSA) (Himedia®), contendo 3% de NaCl e incubadas a 30 °C por 24 horas, uma alçada da cultura de *V. parahaemolyticus* foi suspensa em tubos contendo 9 mL de solução salina estéril (NaCl 0,85%) até atingir a concentração de $1,0 \times 10^8$ UFC.mL⁻¹ (equivalente ao padrão 0,5 na escala de McFarland) e absorbância de 0,08 a 0,1 no comprimento de onda de 625 nm em espectrofotômetro modelo Spectrum SP 1105. Em seguida, foi realizada uma diluição de 1:100 para se obter a concentração final de 10^6 UFC.mL⁻¹ do patógeno (CLSI, 2012).

2.13 Desafio com *Vibrio parahaemolyticus*

O desafio foi realizado conforme adaptação de Nadella et al. (2017). Após a etapa de desempenho (60 dias de alimentação com as dietas experimentais) os animais de cada grupo experimental foram aleatorizados e distribuídos em aquários de acordo com as respectivas dietas, correspondendo aos mesmos 4 tratamentos com 5 repetições cada.

O desafio foi conduzido em 20 aquários retangulares (capacidade de 12 litros), cada um contendo cinco camarões. O inóculo foi injetado no seio dorsal do cefalotórax, administrando-se 50 µL da suspensão de *V. parahaemolyticus* contendo $1,0 \times 10^6$ UFC.mL⁻¹ de *V. parahaemolyticus* em todos os grupos experimentais.

O desafio durou 10 dias, durante o qual os animais foram mantidos sob alimentação *ad libitum* com as respectivas dietas experimentais. Ao término do desafio, os espécimes sobreviventes foram eutanasiados (por hipotermia; 4°C), e coletadas amostras da hemolinfa e do hepatopâncreas para as análises posteriores. As amostras de hepatopâncreas foram criopreservadas a -80°C e as amostras de hemolinfa, após separação do plasma foram armazenadas a -20°C para posterior avaliação de parâmetros séricos e os marcadores de estresse oxidativo associados à resposta ao desafio bacteriano.

2.14 Preferência alimentar

Para avaliação da preferência alimentar dos camarões em relação as dietas experimentais, foram avaliados grupo de camarões diferentes dos da etapa de desempenho, se configurando como uma etapa experimental à parte (2º experimento).

Os animais ($n = 5$; $1,14 \pm 0,16$ g) foram aclimatados individualmente em aquários de 20 litros com filtragem biológica individual e interna. As dietas experimentais FLHI0 e FLHI25 (escolhidas em função dos resultados de desempenho) foram fornecidas aos camarões simultaneamente e ficaram disponíveis por um período de 60 minutos (18h00 às 19h00) em locais distintos e equidistantes para evitar a tendência de consumo. Cada camarão passou pelo teste de preferência por 15 dias consecutivos com alteração da posição das dietas diariamente em cada aquário para evitar a tendência de consumo. A quantidade de ração fornecida diariamente foi de aproximadamente 0,5g para cada camarão e o consumo diário foi obtido pela diferença entre o fornecimento e as sobras. As sobras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas.

2.15 Análise estatística

Previamente à análise dos dados, a normalidade foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homogeneidade das variâncias foi avaliada utilizando o teste de Bartlett. Os resultados são expressos como média \pm desvio-padrão. Considerando a distribuição não paramétrica dos dados percentuais, estes foram submetidos à transformação arcsen($\sqrt{\%}$) para normalização.

As análises foram realizadas no programa R (Versão 2024.12.0), adotando-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Inicialmente, os dados de crescimento, enzimas digestivas, desafio, níveis séricos e marcadores de estresse oxidativo foram submetidos a uma análise de variância unidirecional (ANOVA one-way). Na detecção de diferenças significativas, aplicou-se o teste *post-hoc* de Tukey para comparações múltiplas entre os grupos experimentais. Já os dados de preferência alimentar foram submetidos a um teste *t* de *Student*.

3. Resultados e Discussão

3.1 Desempenho zootécnico

Os resultados demonstraram que a substituição da farinha de peixe por farinha de larvas da mosca-soldado-negro influenciou significativamente o desempenho de *M. amazonicum* ao longo de 60 dias (Tabela 3). Não houve diferença significativa ($p>0,05$) para a sobrevivência que se manteve acima de 80% durante o experimento. Foi observada diferença significativa ($p<0,05$) para os camarões alimentados com FLHI25 em relação ao camarões alimentados com FLHI0, com melhoria das variáveis GP, TCE, TCA e TEP em comparação a FLHI0.

Tabela 3. Desempenho de crescimento e utilização de nutrientes (média ± erro padrão da média) dos camarões *M. amazonicum* alimentados com as dietas experimentais por 60 dias.

Variável	Dietas				P-valor
	FLHI0	FLHI12	FLHI25	FLHI37	
GP (g)	2,79±0,05 ^C	3,03±0,05 ^B	3,33±0,05 ^A	3,16±0,05 ^B	<0,001
TCE (%.dia ⁻¹)	1,34±0,01 ^C	1,43±0,01 ^B	1,50±0,01 ^A	1,44±0,01 ^B	<0,001
TCA	2,31±0,04 ^A	2,12±0,04 ^B	1,93±0,04 ^C	2,04±0,04 ^{BC}	<0,001
TEP	1,17±0,02 ^B	1,27±0,02 ^{AB}	1,40±0,02 ^A	1,33±0,02 ^{AB}	<0,001
S (%)	87,0±0,04	86,0±0,04	83,8±0,04	87,0±0,04	0,98

Diferentes letras sobreescritas na mesma linha indicam diferença estatística pela ANOVA e teste post-hoc de Tukey (nível de significância $p < 0,05$).

A substituição parcial da FP pela FLHI demonstrou efeitos benéficos no crescimento de *M. amazonicum*, evidenciando deste modo o potencial dessa fonte proteica como alternativa na aquicultura. Os resultados indicaram que a inclusão de 25% de FLHI melhora o crescimento da espécie.

O maior GP e TCE nos camarões observados sugerem que a inclusão de FLHI otimizou a utilização dos nutrientes, possivelmente devido ao perfil balanceado de aminoácidos essenciais e ácidos graxos. Estudos anteriores relataram que farinha de insetos, como a FLHI, apresenta alta digestibilidade proteica e balanceado teor de lipídeos

(Chen et al., 2021; Ling et al., 2024), fatores que podem favorecer o metabolismo energético e o crescimento em crustáceos. A melhoria na TEP com a inclusão de 25% de FLHI destaca o potencial desta fonte proteica em substituição da FP, uma vez que a TEP é um excelente indicador da qualidade da proteína dietética. Resultados semelhantes foram reportados por Shin e Lee (2021), que relataram maior TEP em *P. vannamei* alimentados com FLHI em comparação a dietas baseadas em FP. A ausência de diferenças na sobrevivência (acima de 80% em todos os tratamentos) corrobora a segurança no uso da FLHI.

Embora a dieta FLHI25 tenha apresentado os melhores resultados, a substituição de 37,5% (FLHI37) resultou em desempenho inferior ao de FLHI25, ainda que superior ao controle. Esse declínio sugere um limite de substituição, possivelmente associado a desbalanços nutricionais em níveis mais elevados de FLHI, como excesso de lipídios ou deficiência aminoacídica. Estudos como os de Rizal et al. (2024) destacam que a proporção ideal de inclusão de farinhas de insetos varia conforme a espécie, exigindo assim ajustes na formulação para garantia do equilíbrio nutricional.

A substituição de 25% da FP pela FLHI reduz a dependência de recursos pesqueiros, alinhando-se às demandas por fontes proteicas alternativas sustentáveis. A FLHI apresenta vantagens ambientais, a exemplo da menor “pegada hídrica” (Mohan et al., 2022), além de ser produzida a partir de resíduos orgânicos (Zarantoniello et al., 2020). Contudo, a viabilidade econômica em larga escala depende da redução dos custos de produção da FLHI e da padronização de sua composição nutricional.

3.2 Atividade de enzimas digestivas

Os resultados da atividade das enzimas digestivas dos camarões alimentados com as diferentes dietas experimentais são apresentados nas Figuras de 1 a 6. Observou-se que a atividade enzimática variou significativamente ($p < 0,05$) em função da alimentação. A protease alcalina apresentou maior atividade no grupo FLHI25 ($p < 0,05$). Padrão similar foi observado para a tripsina. A quimotripsina e a leucina aminopeptidase também exibiram maior atividade ($p < 0,05$) no grupo FLHI25.

Em contraste, a atividade de lipase apresentou aumento progressivo e significativo ($p < 0,05$) do grupo FLHI0 ao FLHI37. Por outro lado, a amilase mostrou um padrão

inverso, com maior atividade no grupo FLHI e redução significativa ($p < 0,05$) nos demais grupos.

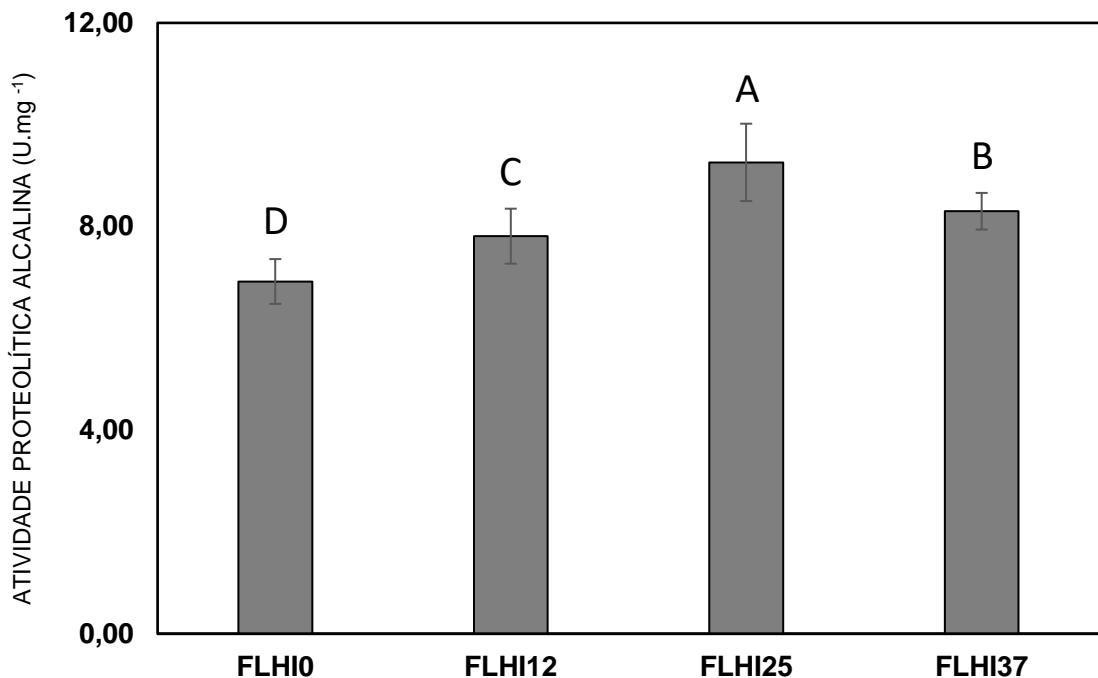


Figura 1. Atividade proteolítica alcalina (média ± erro padrão da média) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.

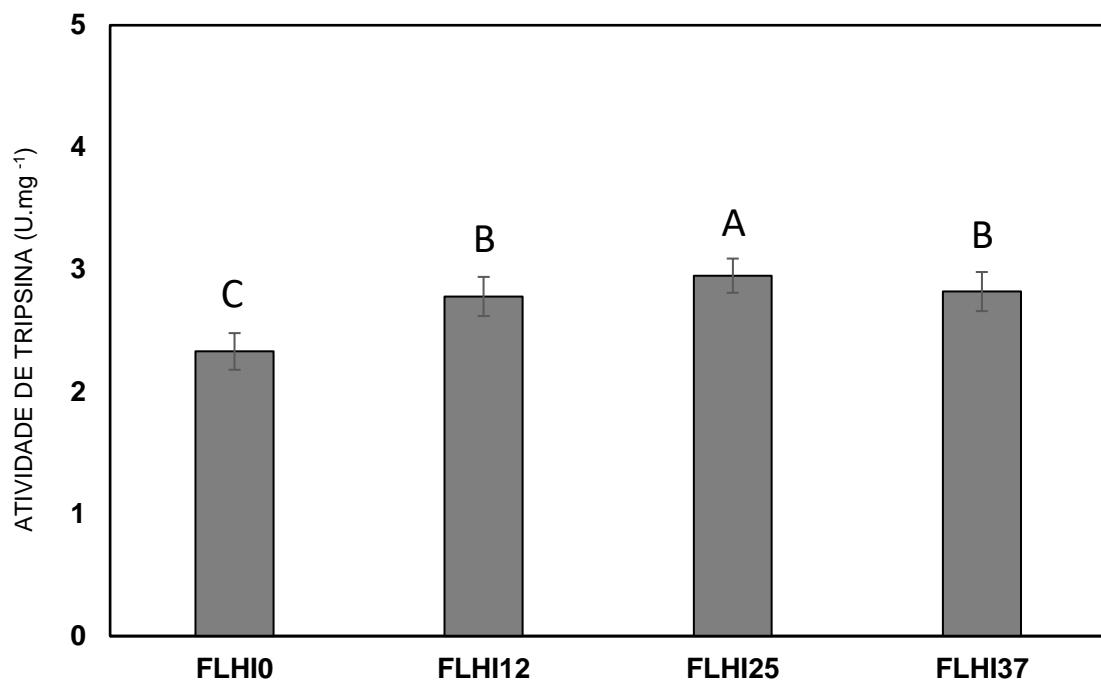


Figura 2. Atividade de tripsina (média ± erro padrão da média) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.

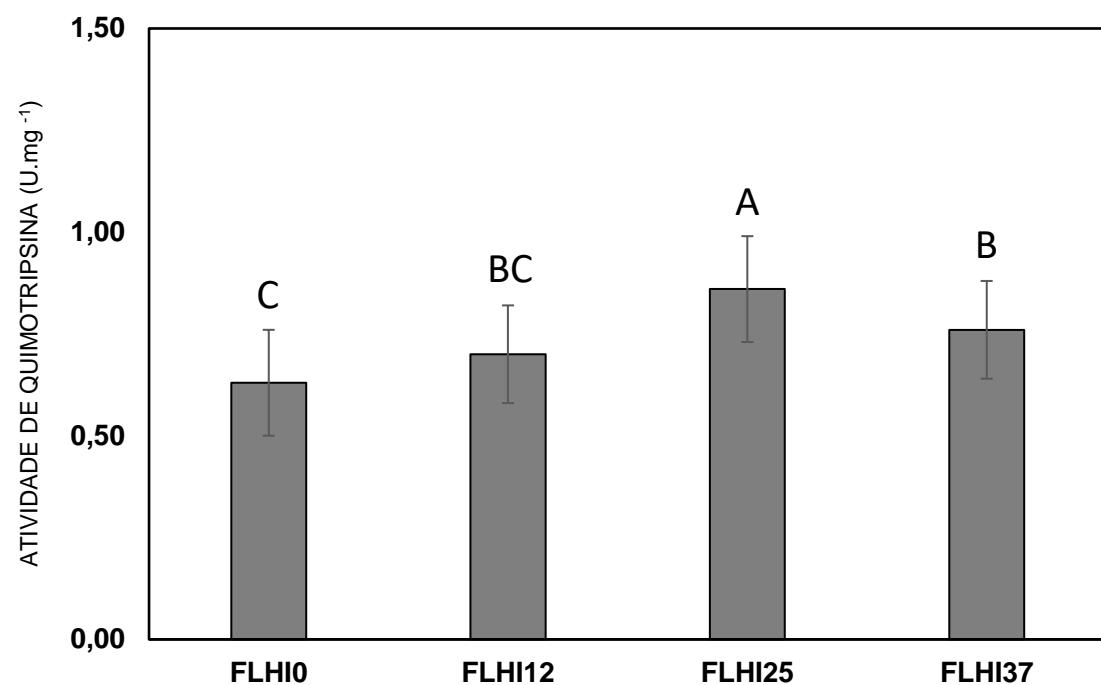


Figura 3. Atividade de quimotripsina (média ± erro padrão da média) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.

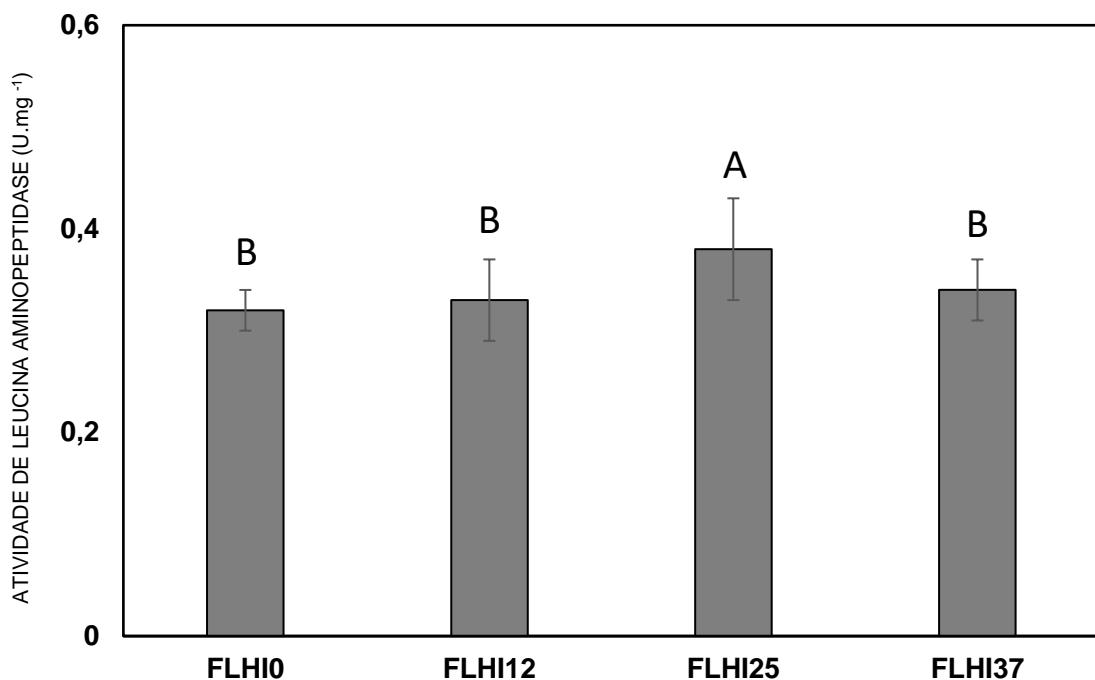


Figura 4. Atividade de leucina aminopeptidase (média ± erro padrão da média) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.

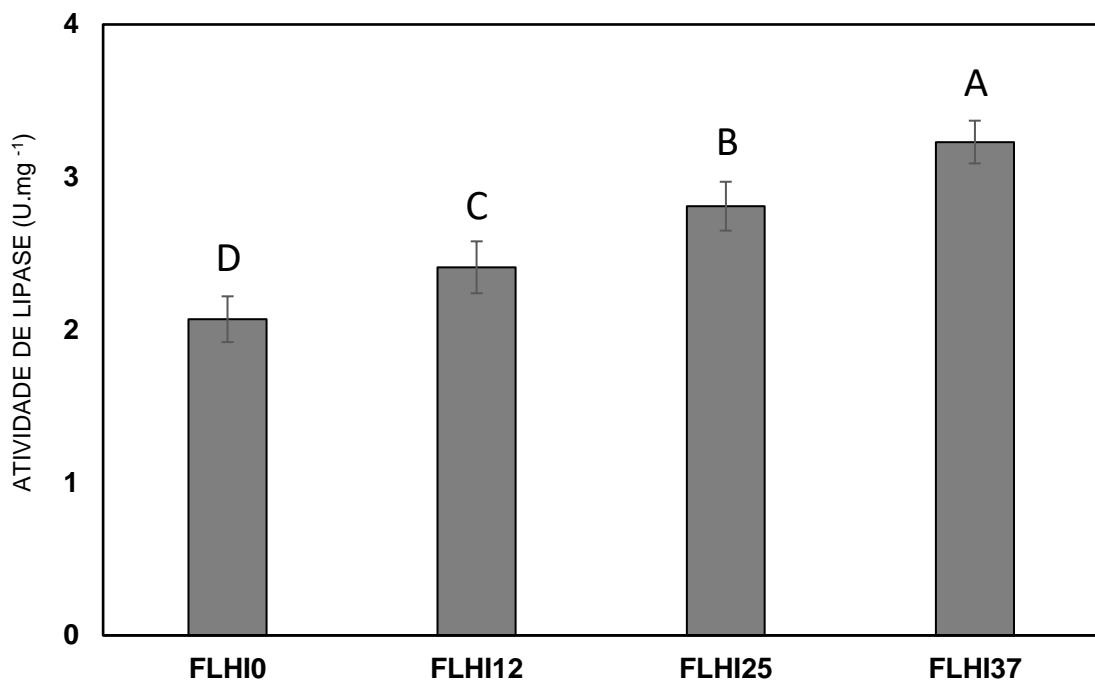


Figura 5. Atividade de lipase (média ± erro padrão da média) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.

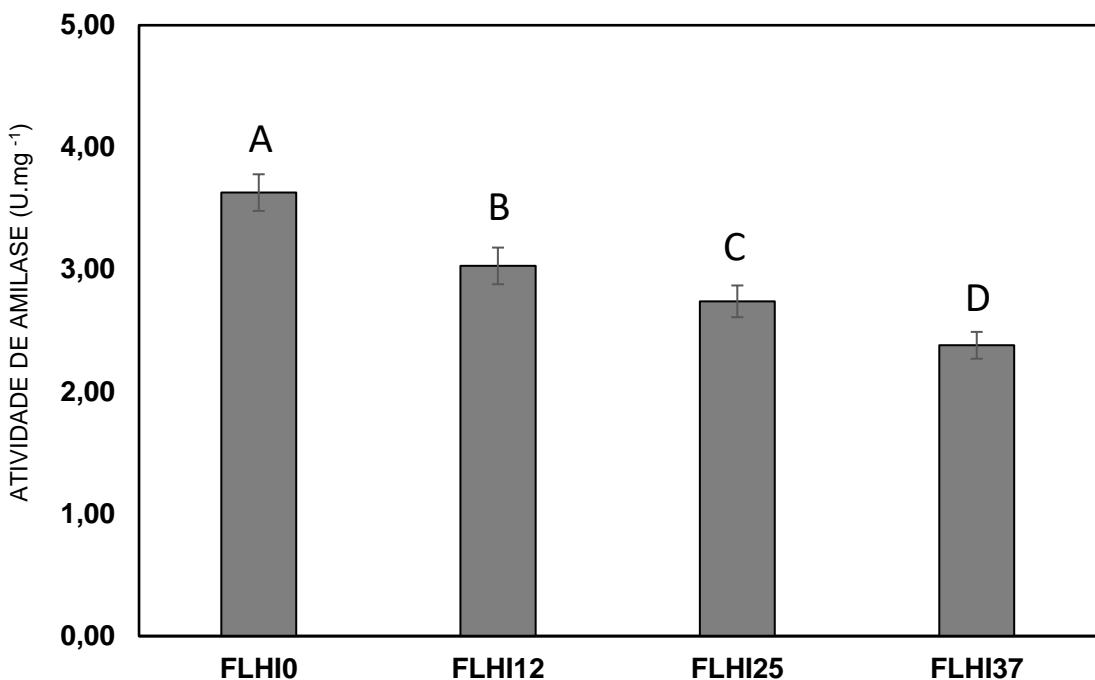


Figura 6. Atividade de amilase (média ± erro padrão da média) do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum*. Letras distintas indicam diferença estatística pelo Teste de Tukey. P-valor < 0,001.

As proteases alcalinas apresentaram aumento significativo na atividade com a inclusão de FLHI, atingindo o pico na dieta FLHI25 (9,26 U.mg⁻¹), seguido por uma redução na FLHI37 (8,30 U.mg⁻¹). Esse padrão sugere que a substituição de 25% da FP por FLHI otimizou a digestibilidade proteica, possivelmente devido ao perfil de aminoácidos FLHI ou à presença de compostos bioativos estimularam a secreção enzimática. A redução da atividade na FLHI37 pode indicar um limite de tolerância à inclusão de FLHI, pela inibição da atividade proteolítica ou pela saturação desta atividade. Esses resultados corroboram estudo prévio que relatou a modulação da atividade de proteases nos crustáceos em função de fontes proteicas alternativas, refletindo adaptações metabólicas à qualidade da proteína dietética (Wang et al., 2021).

A atividade de tripsina foi maior na dieta FLHI25 (2,95 U.mg⁻¹), enquanto a quimotripsina seguiu tendência semelhante (0,86 U.mg⁻¹). Essas enzimas, específicas para clivagem de ligações peptídicas de aminoácidos básicos (tripsina) e aromáticos (quimotripsina) (Perona et al., 1995) são indicadores da eficiência da digestão proteica. O aumento observado sugere que a FLHI25 proporcionou um balanço ideal de

aminoácidos essenciais (como lisina e arginina) e peptídeos estimulatórios da produção e secreção enzimática.

A leucina aminopeptidase, envolvida na hidrólise terminal de peptídeos, apresentou maior atividade ($p < 0,05$) na FLHI25 ($0,38 \text{ U.mg}^{-1}$), alinhando-se aos resultados das outras proteases. Essa enzima é crítica para absorção de aminoácidos livres em crustáceos (Serrano, 2015), e seu incremento no grupo FLHI25 reforça a hipótese de que essa dieta promoveu uma digestão mais eficiente de proteínas.

O aumento significativo da atividade de lipase ($p < 0,05$) com a inclusão de FLHI, atingiu o valor máximo na FLHI37 ($3,23 \text{ U.mg}^{-1}$). Esse resultado está diretamente relacionado ao maior teor lipídico da FLHI em comparação a farinha de peixe, exigindo maior capacidade digestiva para hidrólise de triglicerídeos. A adaptação do hepatopâncreas à dieta com maior teor de lipídios foi evidenciada pela regulação de lipases, mediada por ácidos graxos de cadeia média presentes na FLHI (como o ácido láurico) (Almeida et al., 2022; Suryati et al., 2023), conhecido por estimular a produção e secreção de enzimas lipolíticas.

A atividade de amilase diminuiu ($p < 0,05$) com o aumento da FLHI, reduzindo de $3,63 \text{ U.mg}^{-1}$ a $2,38 \text{ U.mg}^{-1}$, refletindo a redução proporcional de carboidratos nas dietas experimentais, em especial amido. Camarões são organismos com limitada capacidade de utilizar carboidratos complexos (Kong et al., 2019), e a menor demanda por digestão de amido nas dietas com FLHI justifica a regulação dessa enzima. Esse achado está em consonância com estudos anteriores como Ding et al. (2022) e Frías-Gómez et al. (2023), que demonstraram regulação negativa de amilases em respostas a dietas hiperproteicas.

Os resultados demonstraram que a inclusão de 25% de FLHI otimizou a atividade das principais enzimas digestivas, equilibrando a digestão de proteínas e lipídios sem comprometer a eficiência metabólica. A redução na atividade de amilase não representa um fator limitante, já que camarões priorizam vias catabólicas para lipídios e proteínas (Shiau e Peng, 1992; Shen et al., 2022). Entretanto, a queda na atividade de proteases na FLHI37 sugere a necessidade de ajustes nutricionais dietéticos para evitar desbalanços nutricionais.

3.3 Respostas ao estresse oxidativo

Os resultados dos marcadores de estresse oxidativo (MDA) e antioxidantes (CAT e GSH) do hepatopâncreas de *M. amazonicum* antes e após o desafio com *V. parahaemolyticus* estão descritos na Tabela 4. No período pré-desafio, observou-se uma redução nos níveis de MDA com o aumento da inclusão de FLHI, atingindo o valor mínimo no tratamento FLHI37, significativamente menor ($p<0,05$) que o observado no tratamento FLHI0.

Paralelamente, a atividade da CAT e os teores de GSH apresentaram aumento, com os maiores valores registrados no grupo FLHI37. Após o desafio bacteriano, todos os tratamentos apresentaram elevação nos níveis de MDA. O grupo FLHI37 manteve os menores valores, significativamente inferiores ($p<0,05$) ao grupo FLHI0. A atividade da CAT e os teores de GSH aumentaram significativamente em todos os grupos pós-desafio, com destaque para o grupo FLHI37, que apresentou os maiores valores para CAT e GSH, demonstrando diferença estatística ($p<0,05$) em relação ao controle.

Tabela 4. Marcadores de estresse oxidativo e antioxidantes do extrato bruto do hepatopâncreas de *M. amazonicum* submetido a desafio com *V. parahaemolyticus* durante 10 dias.

VARIÁVEL	PRÉ-DESAFIO				P-VALOR	
	TRATAMENTOS					
	FLHI0	FLHI12	FLHI25	FLHI37		
MDA ($\mu\text{mol}.\text{mg}^{-1}$)	7,28 \pm 0,30 ^B	6,04 \pm 0,30 ^{AB}	5,09 \pm 0,30 ^{AB}	4,35 \pm 0,30 ^A	<0,001	
CAT ($\text{U}.\text{mg}^{-1}$)	5,67 \pm 0,43 ^C	7,40 \pm 0,43 ^{BC}	12,85 \pm 0,43 ^{AB}	16,22 \pm 0,43 ^A	<0,001	
GSH ($\mu\text{mol}.\text{mg}^{-1}$)	30,99 \pm 1,67 ^B	33,18 \pm 1,67 ^{AB}	34,29 \pm 1,67 ^{AB}	37,46 \pm 1,67 ^A	0,043	
VARIÁVEL	PÓS-DESAFIO				P-VALOR	
	TRATAMENTOS					
	FLHI0	FLHI12	FLHI25	FLHI37		
MDA ($\mu\text{mol}.\text{mg}^{-1}$)	21,59 \pm 0,61 ^A	19,65 \pm 0,61 ^{AB}	17,22 \pm 0,61 ^{AB}	12,88 \pm 0,61 ^B	<0,001	
CAT ($\text{U}.\text{mg}^{-1}$)	15,05 \pm 0,67 ^C	18,04 \pm 0,67 ^{BC}	26,63 \pm 0,67 ^{AB}	30,15 \pm 0,67 ^A	<0,001	
GSH ($\mu\text{mol}.\text{mg}^{-1}$)	28,59 \pm 2,15 ^C	31,96 \pm 2,15 ^{BC}	38,53 \pm 2,15 ^B	47,76 \pm 2,15 ^A	<0,001	

Letras distintas nas linhas indica diferença significativa ($p<0,05$) pelo teste de Tukey. MDA: malondialdeído; CAT: catalase; GSH: glutationa reduzida. Resultados expressos em média \pm erro padrão da média.

Os resultados evidenciam que a inclusão de FLHI na dieta promoveu efeitos antioxidantes significativos em *M. amazonicum*, tanto nas condições basais quanto após o desafio bacteriano. A redução nos níveis de MDA no período pré-desafio sugere que a FLHI pode conter compostos bioativos com propriedades antioxidantes, como relatado previamente por Zhou et al. (2023). O aumento na atividade da CAT e nos teores de GSH indica uma melhoria no sistema de defesa antioxidante dos animais, possivelmente associada à presença de nutrientes específicos na FLHI que estimulam a produção dessas moléculas (Lu et al., 2022; Navajas-Porras et al., 2024).

A resposta mais eficiente ao desafio bacteriano observada nos grupos com maior inclusão de FLHI, particularmente no tratamento FLHI37, pode ser atribuída a vários fatores. Primeiramente, a menor elevação nos níveis de MDA sugere que esses animais apresentaram menor dano oxidativo induzido pela infecção, provavelmente devido à maior capacidade de neutralização de espécies reativas de oxigênio. O aumento significativo na atividade da CAT e nos teores de GSH após o desafio corrobora essa hipótese, indicando uma resposta antioxidante mais robusta nos grupos alimentados com FLHI.

Estudo recente demonstrou que a composição lipídica da FLHI, particularmente seu alto teor de ácido láurico (C12:0) (Suryati et al., 2023), pode modular positivamente o metabolismo em crustáceos, como descrito por Chang et al., 2025. Esse ácido graxo de cadeia média tem sido associado à ativação de vias de sinalização celular envolvidas na produção de enzimas antioxidantes, o que poderia explicar os resultados observados no presente estudo. Além disso, a presença de quitina na FLHI pode ter estimulado a produção de GSH através da modulação da microbiota intestinal, como sugerido por Hu et al. (2025) para *Micropterus salmoides*.

A maior resistência ao desafio bacteriano observada nos grupos com maior inclusão de FLHI tem importantes implicações práticas para a aquicultura. A redução no estresse oxidativo e o fortalecimento do sistema antioxidante podem contribuir para melhorar a sobrevivência dos animais em condições de desafio sanitário, um fator crítico para a produção comercial. Esses resultados são particularmente relevantes considerando os crescentes desafios associados ao uso de antibióticos na aquicultura e a necessidade de estratégias nutricionais alternativas para promover a saúde dos organismos produzidos.

Os mecanismos pelos quais a FLHI modula a resposta antioxidante em *M. amazonicum* merecem investigação mais detalhada em estudos futuros. Análises transcriptômicas poderiam elucidar as vias de sinalização envolvidas na regulação das enzimas antioxidantes, enquanto estudos de microbiota intestinal poderiam avaliar o possível papel da modulação microbiana na resposta observada. Além disso, seria interessante investigar se os efeitos benéficos da FLHI se mantêm em diferentes fases de desenvolvimento do camarão e sob diferentes condições de cultivo.

3.4 Níveis séricos da hemolinfa e sobrevivência pós-desafio com *V. parahaemolyticus*

Os resultados demonstraram alterações significativas nos parâmetros bioquímicos da hemolinfa de *M. amazonicum* em resposta à substituição da FP por FLHI, tanto nas condições basais quanto após o desafio bacteriano. No período pré-desafio, observou-se aumento linear nos níveis de proteína total com a inclusão de FLHI, atingindo o valor máximo no tratamento FLHI37, significativamente superior ($p<0,05$) ao controle FLHI0. Os demais parâmetros avaliados (glicose, colesterol total e triglicerídeos) não apresentaram diferentes significativas entre os tratamentos na fase pré-desafio ($p>0,05$).

Após o desafio com *V. parahaemolyticus*, todos os grupos apresentaram elevação nos níveis de proteína total na hemolinfa. Os camarões do tratamento FLHI37 obtiveram os maiores valores, superiores ao tratamento FLHI0. Os níveis de glicose foram menores ($p<0,05$) no tratamento FLHI37 em comparação ao controle. Padrão similar foi observado para colesterol e triglicerídeos, que apresentaram redução com a inclusão de FLHI ($p<0,05$).

A sobrevivência após o desafio bacteriano aumentou para os tratamentos com a inclusão de FLHI. Os valores foram significativamente superiores para os grupos FLHI25 e FLHI37 quando comparados aos FLHI0 ($p<0,05$).

Tabela 5. Parâmetros bioquímicos da hemolinfa e sobrevivência de *M. amazonicum* submetido a desafio com *V. parahaemolyticus* durante 10 dias.

VARIÁVEL	PRÉ-DESAFIO				P-VALOR
	FLHIFO	FLHI12	FLHI25	FLHI37	
PT (g.dL ⁻¹)	4,67±0,04 ^B	4,72±0,04 ^{AB}	4,75±0,04 ^{AB}	4,86±0,04 ^A	<0,05
GLI (mg.dL ⁻¹)	57,47±2,52	57,12±2,52	58,10±2,52	57,29±2,52	0,993
COL (mg.dL ⁻¹)	72,32±2,01	73,21±2,01	72,63±2,01	73,51±2,01	0,974
TRI (mg.dL ⁻¹)	64,26±2,12	64,58±2,12	64,98±2,12	64,55±2,12	0,996
VARIÁVEL	PÓS-DESAFIO				P-VALOR
	TRATAMENTOS				
FLHIFO	FLHI12	FLHI25	FLHI37		
PT (g.dL ⁻¹)	6,20±0,08 ^D	6,68±0,08 ^C	7,47±0,08 ^B	8,41±0,08 ^A	<0,001
GLI (mg.dL ⁻¹)	212,24±2,36 ^A	195,19±2,36 ^B	173,97±2,36 ^C	161,62±2,36 ^D	<0,001
COL (mg.dL ⁻¹)	118,57± 2,76 ^A	103,13±2,76 ^B	93,79±2,76 ^C	82,93±2,76 ^D	<0,001
TRI (mg.dL ⁻¹)	88,41±1,47 ^A	78,80±1,47 ^B	75,20±1,47 ^{BC}	71,26±1,47 ^C	<0,001
SOB (%)	44,0±0,07 ^C	60,0±0,07 ^{BC}	72,0±0,07 ^{AB}	84,0±0,07 ^A	<0,001

Letras distintas nas linhas indica diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. PT: proteína total; GLI: glicose; COL: colesterol total; TRI: triglicerídeos; SOB: sobrevivência. Resultados expressos em média ± erro padrão da média.

O aumento nos níveis de proteína total da hemolinfa, tanto nas condições basais quanto após o desafio, demonstra que a FLHI pode estimular a síntese de proteínas circulantes na hemolinfa dos camarões. Esse efeito é relevante, uma vez que muitas proteínas da hemolinfa, como a hemocianina e diversas lectinas, desempenham papel crucial na defesa contra patógenos (Zhao et al., 2021; Liou et al., 2023). O fato do grupo FLHI37 ter apresentado os maiores níveis de proteína total após o desafio bacteriano, associado à maior taxa de sobrevivência, evidencia que a FLHI pode potencializar a resposta de *M. amazonicum* ao desafio com *V. parahaemolyticus*.

A modulação dos parâmetros metabólicos após o desafio bacteriano revela importantes aspectos da resposta fisiológica à infecção. A hiperglicemias observada em todos os grupos após o desafio é uma resposta fisiológica esperada em situações de estresse (Balderas-González et al., 2023), porém a menor elevação nos grupos com maior inclusão de FLHI sugere que estes animais apresentaram menor estresse metabólico durante a infecção. Esse achado pode estar relacionado à maior eficiência fisiológica dos

animais alimentados com FLHI, que demandaram menor mobilização de reservas energéticas para combater a infecção.

A redução nos níveis de colesterol e triglicerídeos nos grupos com maior inclusão de FLHI pode refletir na melhor utilização destes lipídios para fins energéticos e para a síntese de moléculas envolvidas na resposta à infecção. Estudos recentes como o realizado por Chen et al. (2021) para *P. vannamei* demonstrou que ácidos graxos presentes na FLHI, podem modular favoravelmente o metabolismo energético dos camarões, o que poderia explicar parcialmente os resultados observados.

A diferença na sobrevivência após o desafio bacteriano entre os grupos FLHI37 e FLHI0 tem importantes implicações práticas para a carcinicultura. Esses resultados demonstram que a inclusão de FLHI nas dietas pode representar uma estratégia eficaz para melhorar a resistência a doenças em sistemas de produção, em especial as vibrioses, reduzindo potencialmente as perdas econômicas associadas a surtos bacterianos. O mecanismo pelo qual a FLHI aumenta a resistência de *M. amazonicum* pode envolver tanto o estímulo direto das respostas fisiológicas de combate a infecção quanto a melhoria do estado nutricional dos animais. Essa relação dose-resposta reforçam os achados e sugere que os efeitos observados são decorrentes da inclusão de FLHI nas dietas.

Os resultados demonstraram que a substituição da farinha de peixe por FLHI nas dietas de *M. amazonicum* pode melhorar significativamente a resistência a infecções bacterianas, com efeitos sobre os parâmetros da hemolinfa e a sobrevivência após desafio. Esses resultados têm importantes implicações para o desenvolvimento de estratégias nutricionais sustentáveis na carcinicultura, aliando desempenho zootécnico à saúde e resistência a doenças.

3.5 Preferência alimentar

Os resultados do teste de preferência alimentar realizado ao longo de 15 dias demonstraram seleção da dieta FLHI25 em relação à dieta FLHI0 (Figura 7). A partir do 5º dia de teste, observou-se uma inversão no padrão de consumo, com os camarões passando a consumir quantidades significativamente maiores ($p<0,05$) da dieta FLHI25. Essa preferência foi acentuada com o decorrer do teste, sendo mantida do 6º ao 15º dia de tese, com preferência da dieta FLHI25 em relação ao grupo FLHI0.

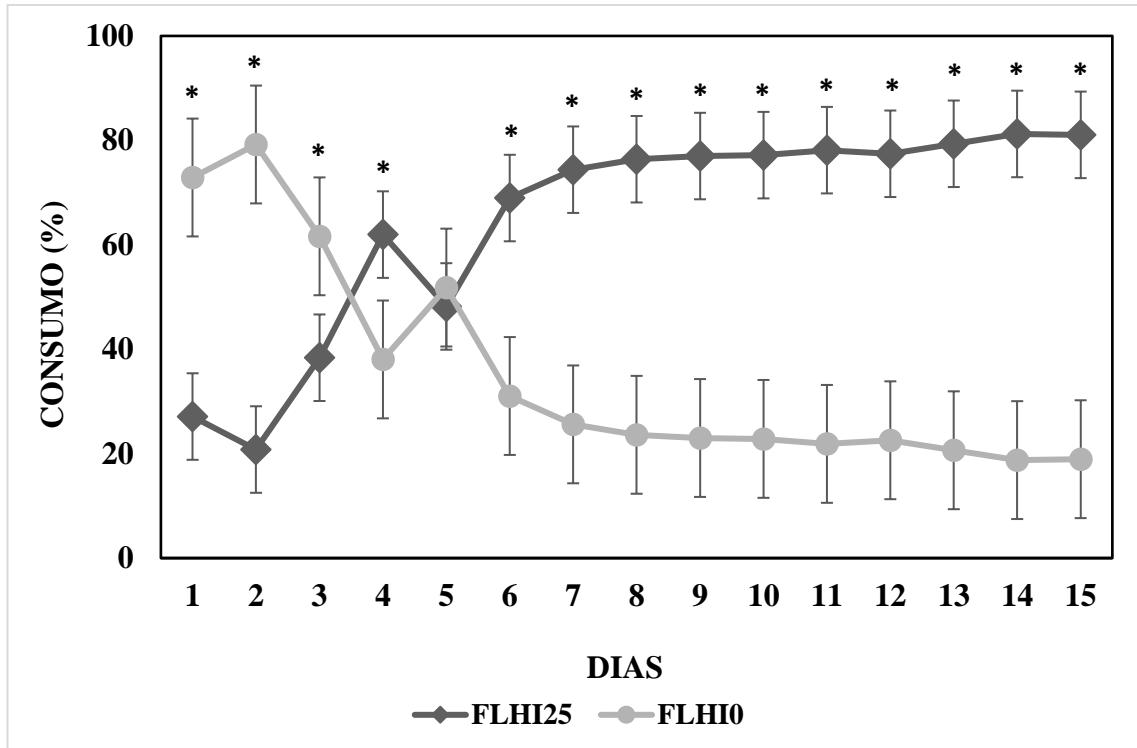


Figura 7. Preferência alimentar de *M. amazonicum* expressa pelo consumo (%) das dietas FLHI0 e FLHI25 ao longo de 15 dias. Asterisco em cada dia indica diferença estatística ($p<0,05$) pelo teste t de *Student*. Barras representam média±desvio-padrão ($n = 5$).

O padrão de preferência observado, com seleção progressiva da dieta FLHI25, sugere que *M. amazonicum* é capaz de discriminar e selecionar ativamente dietas contendo farinha de *H. illucens* como fonte proteica alternativa. Esse comportamento pode ser explicado por alguns fatores, dentre eles a atração quimiosensorial pela presença de peptídeos e aminoácidos livres na FLHI (Barroso et al., 2014), que atuam como estimulantes de alimentação para camarões, conforme demonstrado por Nunes et al. (2006) em estudo realizado com *P. vannamei*. Os resultados de preferência alimentar se correlacionam com o melhor desempenho zootécnico observado no tratamento FLHI25, indicando que os camarões foram capazes de selecionar a dieta que proporcionou melhor crescimento e eficiência alimentar. Esse achado tem importantes implicações práticas, sugerindo que a inclusão de 25% de farinha de *H. illucens* não apenas melhora o desempenho, mas também é bem aceita pelos animais.

O período de adaptação observado (até o 5º dia de teste) antes da inversão na preferência sugere que estratégias de transição alimentar podem ser necessárias quando

da introdução desta fonte proteica alternativa em sistemas comerciais. A capacidade de selecionar dietas com melhor perfil nutricional pode representar uma vantagem adaptativa para *M. amazonicum*, permitindo a otimização da aquisição de nutrientes em ambientes naturais com disponibilidade variável de alimentos. Os resultados sugerem que os camarões são capazes de discriminar e selecionar dietas com composição nutricional mais adequada às suas necessidades metabólicas.

Os resultados demonstraram que *M. amazonicum* apresenta clara preferência por dietas contendo 25% de farinha de *H. illucens* em relação a dietas convencionais com farinha de peixe, após um curto período de adaptação. Essa preferência, associada aos melhores resultados de desempenho observados com esta dieta (FLHI25), reforça o potencial da farinha de larvas da mosca-soldado-negro (*H. illucens*) como ingrediente sustentável para a nutrição desta espécie.

4. Conclusão

Este estudo demonstra que a farinha de *H. illucens* (FLHI) pode substituir 25% da farinha de peixe em dietas para *M. amazonicum*, proporcionando melhor desempenho zootécnico, atividade de enzimas digestivas otimizada e melhor resposta à infecção por *V. parahaemolyticus*. A dieta com 25% de FLHI é a preferida pelos camarões após o período de adaptação. Embora níveis mais altos de substituição (37,5%) tenham mantido benefícios imunológicos, observou-se redução nas variáveis de desempenho zootécnico, indicando um limite prático de inclusão. Esses resultados posicionam a FLHI como alternativa sustentável para a nutrição de camarões, com potencial de reduzir a dependência de farinha de peixe na aquicultura. Estudos futuros poderão explorar estratégias para aumentar os níveis de substituição mantendo os benefícios observados.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) na concessão da bolsa de doutorado oferecida à Rafael Queiroz dos Anjos. Rodrigo Fortes da Silva é bolsista de pesquisa do Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com número de processo: 306382/2023-7.

Declaração de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse na publicação deste estudo.

Referências

- Ahmed, I., Inal, F., Riaz, R., Ahsan, U., Kuter, E., & Ali, U. (2023). A Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as a Potential Alternative Protein Source in Broiler Diets. *Annals of Animal Science*, 23(4), 939–949. <https://doi.org/10.2478/AOAS-2022-0094>
- Almeida, C., Murta, D., Nunes, R., Baby, A. R., Fernandes, Â., Barros, L., Rijo, P., & Rosado, C. (2022). Characterization of lipid extracts from the *Hermetia illucens* larvae and their bioactivities for potential use as pharmaceutical and cosmetic ingredients. *Heliyon*, 8(5), e09455. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09455>
- AOAC. (1990). *Official Methods Of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists inc.
- Aryee, A. N. A., Simpson, B. K., & Villalonga, R. (2007). Lipase fraction from the viscera of grey mullet (*Mugil cephalus*): Isolation, partial purification and some biochemical characteristics. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(3), 394–402. <https://doi.org/10.1016/J.ENZMICTEC.2006.07.009>
- Balderas-González, V., Ponce-Rivas, E., Díaz, F., Camacho-Jíménez, L., Sánchez-Castrejón, E., & Aguilar, M. B. (2023). Metabolic and osmotic effects of the recombinant crustacean hyperglycemic hormone (rCHH-A) of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* on specimens acutely exposed to extreme salinities. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51, 2. <https://dx.doi.org/10.3856/vol51-issue2-fulltext-2967>
- Barroso, F. G., Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insects species for use as food and fish. *Aquaculture*, 422–423. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>
- Bernfeld, P. (1955). [17] Amylases, α and β . *Methods in Enzymology*, 1(C), 149–158. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(55\)01021-5](https://doi.org/10.1016/0076-6879(55)01021-5)
- Bezerra, R. S., Lins, E. J. F., Alencar, R. B., Paiva, P. M. G., Chaves, M. E. C., Coelho, L. C. B. B., & Carvalho, L. B. (2005). Alkaline proteinase from intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Process Biochemistry*, 40(5), 1829–1834. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2004.06.066>

- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Buarque, D. S., Castro, P. F., Santos, F. M. S., Lemos, D., Júnior, L. B. C., & Bezerra, R. S. (2009). Digestive peptidases and proteinases in the midgut gland of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Aquaculture Research*, 40(7), 861–870. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2109.2009.02183.X>; REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:13652109;WGROUP:STRING:PUBLICATION
- Chang, T., Lin, H., Han, F., Xu, C., & Li, E. (2025). Impact of defatted Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on health, muscle texture and intestinal microbiota in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 596, 1. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741755>
- Chang, Y. T., Ko, H. T., Wu, P. L., Kumar, R., Wang, H. C., & Lu, H. P. (2023). Gut microbiota of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) exhibits distinct responses to pathogenic and non-pathogenic *Vibrio parahaemolyticus*. *Microbiology Spectrum*, 11, 5. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01180-23>
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., & Xie, S. (2021). Evaluation of the Dietary Black Soldier Fly Larvae Meal (*Hermetia illucens*) on Growth Performance, Intestinal Health, and Disease Resistance to *Vibrio parahaemolyticus* of the Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Frontiers in Marine Science*, 8, 706463. [https://doi.org/10.3389/FMARS.2021.706463/BIBTEX](https://doi.org/10.3389/FMARS.2021.706463)
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., & Xie, S. (2021). Effect of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on lipid and glucose metabolism of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *British Journal of Nutrition*, 128, 9. <https://doi.org/10.1017/S0007114521004670>
- Cummins, V. C., Rawles, S. D., Thompson, K. R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., & Webster, C. D. (2017). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 473, 337–344. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2017.02.022>
- Ding, Z., Xiong, Y., Zheng, J., Zhou, D., Kong, Y., Qi, C., Liu, Y., Ye, J., & Limbu, S. M. (2022). Modulation of growth, antioxidant status, hepatopancreas morphology, and carbohydrate metabolism mediated by alpha-lipoic acid in juvenile freshwater prawns *Macrobrachium nipponense* under two dietary carbohydrate levels. *Aquaculture*, 546, 737314. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.737314>
- FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. <https://doi.org/10.4060/CD0683EN>

- Frías-Gómez, S. A., Hernández Hernández, L. H., Powell, M. S., Álvarez-González, C. A., Cortés-Jacinto, E., Cigarroa-Ruiz, L., & Arellano-Carrasco, G. (2023). Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate ratio on growth, digestive and antioxidant enzyme activity of prawn *Macrobrachium acanthurus* postlarvae. *Aquaculture Reports*, 30, 101578. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2023.101578>
- Hu, Z., Xia, M., Wang, G., Jia, L., Ji, H., Sun, J., & Yu, H. (2025). A superior chitin product: Black Soldier Fly larvae chitin, beneficial to growth performance, muscle quality and health status of largemouth bass *Micropterus salmoides*, in comparison to shrimp chitin. *Aquaculture*, 595, 2. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741667>
- Islam, S. M. M., SIDDIK, M. A. B., SORENSEN, M., BRINCHMANN, M. F., THOMPSON, K. D., FRANCIS, D. S., VATSOS, I. N. (2024). Insect meal in aquafeeds: A sustainable path to enhanced mucosal immunity in fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 150, 109625. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109625>
- Kong, Y., Ding, Z., Zhang, Y., Zhou, P., Wu, C., Zhu, M., & Ye, J. (2019). Types of carbohydrate in feed affect the growth performance, antioxidant capacity, immunity, and activity of digestive and carbohydrate metabolism enzymes in juvenile *Macrobrachium nipponense*. *Aquaculture*, 512, 734282. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734282>
- Ling, S. L. Y., Shafiee, M., Longworth, Z., Vatanparast, H., Tabatabaei, M., & Liew, H. J. (2025). Black Soldier Fly Larvae Meal (BSFLM) as an alternative protein source in sustainable aquaculture production: A scoping review of its comprehensive impact on shrimp and prawn farming. *Animal Feed Science and Technology*, 319, 116174. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2024.116174>
- Liou, C. H., To, V. A., Zhang, Z. F., & Lin, Y. H. (2023). The effect of dietary lecithin and lipid levels on the growth performance, body composition, hemolymph parameters, immune responses, body texture and gene expression of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 567. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739260>
- Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Ur Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q., Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z., & Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLOS ONE*, 12(8), e0182601. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0182601>
- Lu, J., Guo, Y., Muhamood, A., Lv, Z., Zeng, B., Qiu, Y., Zhang, L., Wang, P., & Ren, L. (2022). Food waste management employing UV-induced Black Soldier Flies: Metabolomic analysis of bioactive components, antioxidant properties and bacterial potential. *Environmental Research and Public Health*, 19, 11. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116614>
- Lu, J., Guo, Y., Muhamood, A., Zeng, B., Qiu, Y., Wang, P., & Ren, L. (2022). Probing the antioxidant activity of functional proteins and bioactive peptides in *Hermetia illucens* larvae fed with food wastes. *Scientific Reports*, 12, 2799. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06668-9>
- Maciel, C. R., & Valenti, W. C. (2009). Biology, Fisheries, and Aquaculture of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*: A Review. *Nauplius*, 17(2), 61–79. https://www.caunesp.unesp.br/Home/publicacoes/rp_maciel_biology-fisheries-and-aquaculture.pdf

- Mahato, I. S., Paudel, K., Timalsina, P., & Chand, S. (2024). Evaluating the Impact of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal on Growth Efficiency and Feed Utilization in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Juvenile. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 26(12), 107–117. <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2024/V26I12850>
- Mohan, K., Rajan, D. K., Muralisankar, T., Ganesan, A. R., Sathishkumar, P., & Revathi, N. (2022). Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs. *Aquaculture*, 553, 738095. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2022.738095>
- Moraes-Riodades, Kimpara, P. M. C.; & Valenti, J. M. &. (2006). Effect of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* culture intensification on ponds hydrobiology. *Acta Limnol. Bras*, 18(3), 311–319.
- Moraes-Valenti, P., & Valenti, W. C. (2010). Culture of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*. *Freshwater Prawns: Biology and Farming*, 485–501. <https://doi.org/10.1002/9781444314649.CH22>
- Navajas-Porras, B., Delgado-Osorio, A., Hinojosa-Nogueira, D., Pastoriza, S., Almécija-Rodríguez, M. del C., Rufián-Henares, J. A., & Fernandez-Bayo, J., D. (2024). Improved nutritional and oxidant properties of Black Soldier Fly larvae reared on spent coffee grounds and blood meal by-products. *Food Research International*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115151>
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., & Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080–1103. [https://doi.org/10.1111/RAQ.12281;SUBPAGE:STRING:FULL](https://doi.org/10.1111/RAQ.12281)
- Novriadi, R., Davies, S., Indra, K., Triatmaja, K., Hermawan, M., Kusnendar, E., Kontara, M., Tanaka, B., Rinaldy, A., & Nugroho, J. E. (n.d.). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as an Alternative to Marine Ingredients Elicits Superior Growth Performance and Resistance to *Vibrio harveyi* Infection for Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Turk. J. Fish. & Aquat. Sci*, 24(1), 24343. <https://doi.org/10.4194/TRJFAS24343>
- Nunes, A. J. P., Sá, M. V. C., Andriola-Neto, F. F., & Lemos, D. (2006). Behavioral responses to selected feed attractants and stimulants in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 260, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.06.027>
- Perona, J. J., Hedstrom, L., Rutter, W. J., & Fletterick, R. J. (1995). Structural Origins of Substrate Discrimination in Trypsin and Chymotrypsin. *Biochemistry*, 34(5), 1489–1499. https://doi.org/10.1021/BI00005A004/ASSET/BI00005A004.FP.PNG_V03
- Praseatsook, K., Vachiraawunwong, A., Taya, S., Setthaya, P., Sato, K., Wanibuchi, H., Wongpoomchai, R., Dejkriengkraikul, P., Gi, M., & Yodkeree, S. (2025). Anticancer and antioxidant effects of bioactive peptides from Black Soldier Fly larva (*Hermetia illucens*). *Nutrients*, 17, 4. <https://doi.org/10.3390/nu17040645>
- Rizal, M. (2024). Evaluation of BSF Larva Meal and Oil as White Shrimp Feed On Growth Performance, Body Composition, and Health Response. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 26(2). <https://doi.org/10.22146/JFS.97636>

- Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.11.068>
- Santos, J. F., Castro, P. F., Leal, A. L. G., de Freitas Júnior, A. C. V., Lemos, D., Carvalho, L. B., & Bezerra, R. S. (2013). Digestive enzyme activity in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L) submitted to different dietary levels of shrimp protein hydrolysate. *Aquaculture International*, 21(3), 563–577. <https://doi.org/10.1007/S10499-012-9589-2/FIGURES/3>
- Serrano, A. E. (2015). *Kinetic parameters of leucine aminopeptidases, optimal pH and temperature in the mud crab Scylla serrata and the brine shrimp Artemia salina*.
- Shah, A. A., Totakul, P., Matra, M., Cherdthong, A., Hanboonsong, Y., & Wanapat, M. (2022). Nutritional composition of various insects and potential uses as alternative protein sources in animal diets. *Animal Bioscience*, 35(2), 317–331. <https://doi.org/10.5713/AB.21.0447>
- Shen, W., Qu, Y., Zhang, H., Zhang, X., Masell, F. B., & Ren, G. (2022). Response of Gut Microbiota, Digestive Enzyme Ability, and Immune Function to Starvation in the Oriental River Prawn *Macrobrachium nipponense*. *Aquaculture Nutrition*, 2022(1), 6836727. <https://doi.org/10.1155/2022/6836727>
- Shin, J., & Lee, K. J. (2021). Digestibility of insect meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their performance for growth, feed utilization and immune responses. *PLOS ONE*, 16(11), e0260305. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0260305>
- Suryati, T., Julaeha, E., Farabi, K., Ambarsari, H., & Hidayat, A. T. (2023). Lauric Acid from the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Its Potential Applications. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 10383*, 15(13), 10383. <https://doi.org/10.3390/SU151310383>
- Wang, G., Peng, K., Hu, J., Mo, W., Wei, Z., & Huang, Y. (2021). Evaluation of defatted *Hermetia illucens* larvae meal for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth performance, nutrition retention, antioxidant and immune response, digestive enzyme activity and hepatic morphology. *Aquaculture Nutrition*, 27(4), 986–997. <https://doi.org/10.1111/ANU.13240>
- Zarantonello, M., Zimbelli, A., Randazzo, B., Compagni, M. D., Truzzi, C., Antonucci, M., Riolo, P., Loreto, N., Osimani, A., Milanović, V., Giorgini, E., Cardinaletti, G., Tulli, F., Cipriani, R., Gioacchini, G., & Olivotto, I. (2020). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) reared on roasted coffee by-product and *Schizochytrium* sp. as a sustainable terrestrial ingredient for aquafeeds production. *Aquaculture*, 518, 734659. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734659>
- Zhang, X., Sun, J., Chen, F., Qi, H., Chen, L., Sung, Y. Y., Huang, Y., Lv, A., & Hu, X. (2021). Phenotypic and genomic characterization of a *Vibrio parahaemolyticus* strain causing disease in *Penaeus vannamei* provides insights into its niche adaptation and pathogenic mechanism. *Microbial Genomics*, 7, 5. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000549>
- Zhao, X., Qiao, J., Zhang, P., Zhang, Z., Aweya, J. J., Chen, X., Zhao, Y., & Zhang, Y. (2021). Protein diversity and immune specificity of hemocyanin from shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Frontiers in Immunology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.772091>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta tese demonstraram que a farinha de larvas da mosca-soldado-negro é uma alternativa promissora para a nutrição do *Macrobrachium amazonicum*, especialmente quando utilizada em substituição de 25% da farinha de peixe. Essa substituição não apenas melhora o crescimento e a eficiência alimentar, mas também otimiza a atividade de enzimas digestivas e modula positivamente a microbiota intestinal e a atividade enzimática, reduzindo a dependência do uso de farinha de peixe.

Apesar dos avanços, desafios como a padronização da composição nutricional da FLHI e a redução de custos de produção ainda precisam ser superados para sua adoção em larga escala. Estudos futuros devem explorar o uso de FLHI desengordurada ou tratada para otimizar sua digestibilidade, bem como avaliar seus efeitos em diferentes fases de desenvolvimento do camarão. Esta pesquisa contribui para a transição da aquicultura tradicional para um modelo mais sustentável, destacando o potencial dos insetos como ingrediente de importância na alimentação animal.

Esta pesquisa contribui para o avanço da nutrição na carcinicultura de água doce, alinhando-se às demandas por práticas aquícolas sustentáveis e à necessidade crescente de fontes proteicas alternativas na cadeia produtiva. Essas descobertas também fornecem bases científicas para o uso sustentável da FLHI na aquicultura, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, particularmente ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 14 (Vida na Água).