UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

FARINHAS DE INSETOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE PACU *Piaractus mesopotamicus* (HOLMBERG, 1887)

Monique Virães Barbosa dos Santos

Jaboticabal, SP
2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

FARINHAS DE INSETOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE PACU *Piaractus mesopotamicus* (HOLMBERG, 1887)

Monique Virães Barbosa dos Santos

Orientador Prof. Dr. João Batista Kochenborger Fernandes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora.

Jaboticabal, SP
2022

Santos, Monique Virães Barbosa dos
S237f Farinhas de insetos em dietas para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) / Monique Virães Barbosa dos Santos. – – Jaboticabal, 2023
xi, 107 p. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2023
Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes
Banca examinadora: Antônio Cleber da Silva Camargo, Jesaias Ismael da Costa, Fernando André Salles, Manuel Vazquez Vidal Junior
Bibliografia

1. Nutrição animal. 2. Peixe - alimentação e rações. 3. Insetos comestíveis. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.043

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Jaboticabal/SP - Karina Gimenes Fernandes - CRB 8/7418

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Centro de Aqüicultura da Unesp - CAUNESP

UNESP

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: FARINHAS DE INSETOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE PACU *Piaractus mesopotamicus* (HOLMBERG, 1887)

AUTORA: MONIQUE VIRÃES BARBOSA DOS SANTOS
ORIENTADOR: JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES (Participação Virtual)
Laboratorio de Peixes Ornamentais / Centro de Aquicultura da UNESP, CAUNESP, Jaboticabal-SP

Prof. Dr. ANTÔNIO CLEBER DA SILVA CAMARGO (Participação Virtual)
. / Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, Uruguaiana-RS

Prof. Dr. MANUEL VAZQUEZ VIDAL JÚNIOR (Participação Virtual)
Laboratorio de Zootecnia e Nutrição Animal / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Prof. Dr. JESAIAS ISMAEL DA COSTA (Participação Virtual)
. / Instituto Federal do Amazonas - Campus Presidente, IFAM

Pesquisador Científico FERNANDO ANDRÉ SALLES (Participação Virtual)
Instituto de Zootecnia da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo / Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, PRDTA Centro Leste

Jaboticabal, 16 de dezembro de 2022

Centro de Aqüicultura da Unesp
Coordenação do Programa de Pós-Graduação
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil
Tel: 55 16 3209 7110 ramal 214 fax 55 16 3202 5208
pgaqui@caunesp.unesp.br www.caunesp.unesp.br

Dedico este trabalho às pessoas e seres mais especiais que existem na minha vida e me derem todo o suporte para que eu realizasse este sonho tão almejado: a Deus e ao seu filho Jesus Cristo, pela força nos momentos difíceis e pelas bênçãos concedidas; aos meus pais Graça e Aramis, pela vida, amor e educação, não medindo esforços e sacrifícios para que eu pudesse estudar; ao meu irmão Arafat, pelo amor, amizade, bondade e carinho comigo e com nossa famíla; ao meu marido Cristian, por todo apoio, amor, companheirismo, paciência e compreensão; e aos meus filhos felinos Frajola, Pequena, Mingau, Juma, Pereba e Guismo (in memoriam), pelo amor, companhia e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu grandioso Deus, por escutar minhas preces, por não ter deixado que eu desistisse e por ter agido através de tantas pessoas e seres especiais, possibilitando que este sonho fosse realizado... obrigada por tudo!!!

Ao meu orientador Prof. Dr. João Batista Kochenborger Fernandes, pela oportunidade, orientação, ensinamentos compartilhados, confiança, paciência, gentileza e hombridade.

Aos membros da banca de defesa de tese Prof. Dr. Antônio Cleber da Silva Camargo, Prof. Dr. Jesaias Ismael da Costa, Dr. Fernando André Salles e Prof. Dr. Manuel Vazquez Vidal Jr., por aceitarem o convite e disponibilizarem seu tempo e valiosos conhecimentos, que sem dúvida foram fundamentais para a melhoria do meu trabalho de tese.

Aos membros da banca do exame de qualificação, Prof. Dr. Antônio Cleber da Silva Camargo e Prof. Dr. Manuel Vazquez Vidal Jr. (estimado orientador de mestrado e de vida profissional), por terem aceito o convite das duas bancas e pela enorme contribuição para a melhoria deste trabalho.

Ao Sr. João Luiz Pisa da BSF Nutrição e Biotecnologia, pela doação da farinha de larvas de mosca soldado negra. Ao Prof. Dr. Diego Costa da UFMG, pela doação da farinha de larvas de tenébrio e discussões. Ao Dr. Giovani Sampaio Gonçalves do Instituto de Pesca de São Paulo, pelo auxílio na confecção das rações experimentais.

Aos parceiros do Laboratório de Piscicultura Ornamental do Caunesp-Jaboticabal, Rafael, Kifayat, Thaís, Daniel e, em especial ao Manuel e Jayne, sempre dispostos a me ajudar nas montagens de experimentos, preparo de rações, biometrias, coletas, durante às faltas de energia elétrica no Laboratório, etc., sendo fundamentais para a realização deste trabalho. Aos alunos da Pós Graduação do Caunesp: Magdiel, Jéssica, Denis, Marcelo, Laíza, Juliano Coutinho, Raíssa, Evandro, Inácio, Raphael e Suzana, que contribuíram nas coletas, análises, discussões e/ou preparo das rações de digestibilidade e, em especial à minha amiga Andressa, ao Jesaias e à Aurea, por compartilharem suas experiências e pelos inúmeros auxílios neste trabalho.

À toda equipe do Lavinesp da FCAV/UNESP, sempre disponibilizando espaço, equipamentos, reagentes e auxílio nas análises de composição química. À química Ana Paula e ao Sr. Orlando do Laboratório de Nutrição Animal da FCAV/UNESP pelo auxílio nas análises de extrato etéreo das farinhas de insetos, na digestão nitroperclórica das amostras de fezes e na liofilização das amostras do experimento de digestibilidade. À Equipe do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da FCAV/UNESP, principalmente ao Sr. Rodrigo, pela prontidão na liofilização de amostras. Ao Sr. José de Ribeirão Preto, sempre disposto a auxiliar com instruções para coleta e fixação de amostras de tecidos e pelo preparo de lâminas histológicas. Ao pessoal da Elétrica Cavallini, sempre de prontidão me socorrendo quando as bombas de recirculação queimavam.

A todos docentes, alunos e funcionários do Caunesp e da FCAV/Unesp de Jaboticabal pelo convívio, apoio e ensinamentos, principalmente ao Márcio Perereca, Silvinha, Luís da Tilapicultura, Profa. Dra. Maria José R. Paiva, Prof. Dr. Euclides Braga, Profa. Dra. Lucia Sipaúba, Profa. Dra. Renata Guimarâes, Prof. Dr. Eduardo Sanches, Profa. Dra. Julieta Moraes, Prof. Dr. Diogo Hashimoto, Dr. Matheus (Pós-Doc do Lavinesp), Mônica Travaini, Elaine, Dona Lúcia e,

especialmente, ao Val e ao Jamil, pelo apoio, suporte nos momentos de sufoco dos experimentos, conversas e amizade e, ao secretário do PPGA Sr. David Lorente, por todo suporte, atenção e esclarecimentos necessários. Também agradeço aos professores Dr. Dalton Carneiro, Dra. Elisabeth Urbinati, Dr. Leonardo Takahashi e Dra. Fabiana Pilarski, pelo apoio, paciência e valiosas contribuições para realização deste trabalho.

Às instituições públicas, Escola Municipal Nelson Rodrigues, UFRRJ, UENF e Unesp, por me oportunizarem ensino de qualidade e gratuito e, ao IFMT, por me conceder a licença de afastamento para pós-graduação, me possibilitando cursar o Doutorado numa das instituições mais conceituadas da minha área de atuação. Aos professores que contribuíram para minha educação e formação profissional, muito obrigada pela dedicação, ensinamentos e exemplos de profissionais que são... sou imensamente grata a todos!

Aos meus amigos e minhas amigas, todos e todas foram e são importantes na minha vida! Aos amigos e colegas que conheci através da UFRRJ, UENF, Fiperj, IFMT, Unesp e da prática de esportes. Às eternas amigas do Rio de Janeiro, RJ, Viviane Carli, Viviane Pimentel, Fernanda Leocádio e Ana Carolina, por serem tão especiais e únicas, sinto muito a falta de vocês. Aos amigos de Cáceres, MT, em especial ao Fabi, à Carmen e às Madrugadeiras da Bike (seus maridos e familiares). Às amigas Andressa, Laíza, Dayanne, Aline e Joseane, agradeço imensamente pelo companheirismo, amizade, apoio, conversas e momentos agradáveis durante o tempo que morei em Jaboticabal, SP. Ao Centro Espírita Universal (CEU) de Jaboticabal e seus trabalhadores, vocês são muito especiais e foram fundamentais em vários momentos desta jornada. Ao Dr. Alcimar e às minhas psicólogas Maria José (Zezé) e Ulda, que cuidaram e cuidam com todo zelo e carinho da minha saúde e me deram todo o suporte e acolhimento para que eu chegasse até aqui.

À toda minha família, minha base, especialmente à minha mãe Gracinha (a pessoa mais especial, linda inteligente, amorosa, bondosa, batalhadora da minha vida e meu exemplo) e ao meu pai Amis, pelo amor incondicional, compreensão, abidicações, por sempre acreditarem em mim e me proporcionarem as maiores heranças que poderiam, a educação, o amor, a força e a alegria de viver; ao meu irmão Arafat, pelo companheirismo, amor e amizade e; à minha Tia Eliza, pelo amor e exemplo, pois foi a primeira mulher da família a se formar no ensino superior, me mostrando desde pequena, que através da educação podemos transformar nossa realidade. Ao meu marido e amigo Cristian, pelo amor, companheirismo, apoio, incentivo, compreensão, paciência e, principalmente, por ter me auxiliado muito na realização de inúmeras análises, limpezas do sistema de recirculação, biometrias, coletas, alimentações, financiamento de reagentes e de liofilização, etc. Você é tão especial e foi fundamental nessa etapa da minha vida. Aos meus saudosos sogros Marlei e Edison, por todo amor, carinho e compreensão. Aos meus gatos: Frajola, Pequena, Mingau, Juma, Pereba e Guismo (*in memoriam*), por todo amor, carinho, atenção e companhias inestimáveis durante momentos bons e difíceis.

A todos que contribuíram diretamente e indiretamente para a realização deste trabalho, mesmo com todas as adversidades causadas pela pandemia, agradeço imensamente e desejo que Deus os abençoe imensamente.

Aos animais utilizados neste estudo, o meu respeito e gratidão!!!

"Pai, meu pai do céu, meu pai do céu

Eu quase me esqueci, me esqueci

Que o seu amor vela por mim, vela por mim

Que seja feito assim"

Trecho da canção e oração "Pai Nosso"

"Eu já passei por quase tudo nessa vida

Em matéria de guarida, espero ainda a minha vez

Confesso que sou de origem pobre

Mas meu coração é nobre, foi assim que Deus me fez

Só posso levantar as mãos pro céu

Agradecer e ser fiel ao destino que Deus me deu

E aos trancos e barrancos, lá vou eu

E sou feliz e agradeço por tudo que Deus me deu"

Trechos da canção "Deixa a vida me levar"

RESUMO

O crescimento da aquicultura tem impulsionado a procura por ingredientes alternativos mais sustentáveis do que os alimentos convencionais. Neste sentido, as farinhas de insetos são consideradas ótimas fontes de nutrientes, que têm apresentado resultados promissores em diversas espécies de peixes. Objetivou-se com este trabalho avaliar farinhas de insetos na alimentação de juvenis de pacu por meio de estudos de digestibilidade, desempenho, composição corporal e bioquímica sanguínea. Foram conduzidos três experimentos no Laboratório de Modelagem em Nutrição de Peixes do Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal, SP, Brasil. O primeiro foi realizado para determinar os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta e energia das farinhas de barata cinérea, de tenébrio comum e de duas espécies de moscas (mosca soldado negra e mosca comum) pelos juvenis de pacu. O segundo experimento teve seis tratamentos, constituídos por 25% e 50% de substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína das farinhas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*) e tenébrio comum (*Tenebrio molitor*). O terceiro foi conduzido com cinco tratamentos, constituídos por dietas com níveis crescentes de substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra. Nos experimentos II e III, foram avaliados o desempenho, composição corporal, índices somáticos e respostas metabólicas sanguíneas. Os coeficientes de digestibilidade aparente de proteína das farinhas de insetos pelos juvenis de pacu não apresentaram diferenças significativas (valores entre 80,6% para a farinha de tenébrio e 84,4% para a farinha de mosca soldado negra). Houve diferenças significativas para os coeficientes de digestibilidade aparente de energia das farinhas de insetos, sendo o maior para a farinha de larvas de tenébrio (98,4%). No experimento II, foram observadas diferenças significativas para desempenho, triglicerídeos sanguíneos e composição corporal de água e gordura de juvenis de pacu. A inclusão dietética das farinhas de insetos não afetou os teores de proteína e cinzas corporais, assim como os níveis sanguíneos de glicose, proteína e colesterol dos juvenis de pacu. No experimento III, a inclusão da farinha de *H. Illucens* aumentou significativamente o peso final, o ganho em peso, a taxa de crescimento específica, o consumo de ração, o teor de gordura corporal e o colesterol sanguíneo de juvenis de pacu. No entanto, não afetou a conversão alimentar, os índices somáticos e a composição de água, proteína bruta e cinzas corporais. A glicose, proteína total e triglicerídeos sanguíneos dos juvenis de pacu também não foram afetados pela substituição da farinha de peixe pela farinha de mosca soldado negra. Os resultados indicam que as farinhas de insetos estudadas podem ser utilizadas como fonte proteica para as fases iniciais de pacu.

Palavras-chave: Nutrição animal, Peixe Alimentação e rações, Insetos comestíveis

ABSTRACT

The growth of aquaculture has driven demand for alternative ingredients that are more sustainable than conventional foods. In this sense, insect meal is considered a great source of nutrients, which has shown promising results in several species of fish. The objective of this study was to evaluate insect meals in feeding pacu juveniles through studies of digestibility, performance, body composition, and blood biochemistry. Three experiments were conducted at the Fish Nutrition Modeling Laboratory of Unesp Aquaculture Center in Jaboticabal, Sao Paulo, Brazil. The first was performed to determine the digestibility coefficients of crude protein and energy of the cinereous cockroach meal, yellow mealworm, and two species of flies (black soldier fly and common housefly) by pacu juveniles. The second experiment had six treatments, consisting of 25% and 50% replacement of fishmeal protein by the protein of black soldier fly (*Hermetia illucens*), cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*), and mealworm (*Tenebrio molitor*). The third was conducted with five treatments, consisting of diets with increasing levels of replacement of fishmeal protein by the meal protein of black soldier fly larvae. Experiments II and III evaluated performance, body composition, somatic indexes, and blood metabolic responses. The apparent protein digestibility coefficients of insect meals by pacu juveniles showed no significant differences (values between 80.6% for mealworm and 84.4% for black soldier fly meal). There were significant differences in insect meals apparent energy digestibility coefficients, the highest being for mealworm larvae (98.4%). In experiment II, significant differences were observed for performance, blood triglycerides, and body composition of water and fat of pacu juveniles. The dietary inclusion of insect meals did not affect the protein and body ash contents, as well as the blood glucose, protein, and cholesterol levels of pacu juveniles. In experiment III, the inclusion of *H. Illucens* meal significantly increased the final weight, weight gain, specific growth rate, feed intake, body fat content, and blood cholesterol of pacu juveniles. However, it did not affect feed conversion, somatic indexes, and the composition of water, crude protein, and body ash. The glucose, total protein, and blood triglycerides of pacu juveniles were also not affected by the replacement of fishmeal with black soldier fly meal.The results indicate that the insect meals studied can be used as a protein source for the early stages of pacu.

Keywords: Animal nutrition, Fish Feeding and feeds, Edible insects

SUMÁRIO

CAPITULO I - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução 1

Revisão Bibliográfica 3

A piscicultura brasileira e o pacu 3

Ingredientes em rações 4

Sustentabilidade do uso de insetos 6

Inseto como alimento 7

Insetos na alimentação de organismos aquáticos 11

Referências 22

CAPÍTULO II - DIGESTIBILIDADE APARENTE DE PROTEÍNA E ENERGIA DA FARINHA DE INSETOS POR JUVENIS DE PACU *Piaractus mesopotamicus*

Resumo 33

Introdução 33

Material e métodos 35

Dietas experimentais 35

Condições experimentais 37

Análises 39

Análise estatística 40

Resultados 40

Discussão 41

Conclusões 47

Referências 48

CAPÍTULO III - FARINHAS DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRA, LARVAS DE TENÉBRIO COMUM E ADULTO DE BARATA CINÉREA NA DIETA DE JUVENIS DE PACU *Piaractus mesopotamicus*

Resumo 51

Introdução 51

Material e métodos 53

Dietas experimentais 53

Condições experimentais 57

Desempenho 58

Composição corporal e utilização de nutrientes 59

Bioquímica sanguínea 60

Índices somáticos 60
Análise Estatística 61
Resultados 61
Parâmetros de desempenho 61
Índices somáticos e utilização de nutrientes 63
Composição química corporal de peixes 65
Bioquímica sanguínea 66
Discussão 66
Conclusão 74
Referências 74

CAPÍTULO IV - DESEMPENHO DE JUVENIS DE PACUS *Piaractus mesopotamicus* **(HOLMBERG, 1887) ALIMENTADOS COM RAÇÕES CONTENDO FARINHA DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRA** *Hermetia illucens* **(LINNAEUS, 1758)**

Resumo 82
Introdução 82
Material e métodos 84
Dietas experimentais 84
Peixes e ensaio de alimentação 87
Análise de desempenho 88
Composição corporal e eficiência de utilização de nutrientes 89
Bioquímica sanguínea e índices somáticos 90
Análise Estatística 91
Resultados 91
Parâmetros de desempenho, índices somáticos e utilização de nutrientes 91
Composição química corporal de peixes inteiros 91
Bioquímica sanguínea 92
Discussão 95
Conclusão 100
Referências 101

CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS 106

CAPITULO I - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução

A população mundial alcançará aproximadamente nove bilhões de habitantes até 2050, forçando um aumento da produção de alimentos dos agroecossistemas disponíveis, o que resultará numa pressão ainda maior sobre o meio ambiente, podendo causar escassez de diversos recursos naturais, como terras agrícolas, água, florestas, peixes, biodiversidade, bem como de energia e nutrientes de fontes alimentares não renováveis (FAO, 2020). Desta forma, é imprescindível que a produção de ingredientes para nutrição animal seja repensada em termos de eficiência de utilização de recursos.

A farinha e o óleo de peixe representam ingredientes alimentares ideais para a aquicultura, por possuírem um perfil nutricional que se aproxima das necessidades nutricionais da maioria das espécies aquáticas cultivadas (NRC, 2011). A farinha de peixe não é apenas uma excelente fonte de proteína e aminoácidos essenciais, mas também uma boa fonte de ácidos graxos essenciais, minerais e vitaminas (Tacon e Metian, 2015). No entanto, nos últimos anos esta matéria-prima tornou-se cada vez mais escassa e com preço instável e elevado (Hardy, 2010).

Ingredientes proteicos de origem vegetal têm sido usados como substitutos da farinha de peixe, mas apresentam desvantagens relacionadas ao baixo teor de proteína, desbalanceamento do perfil de aminoácidos essenciais, baixa palatabilidade e presença de uma ampla variedade de fatores antinutricionais (Olsen e Hasan, 2012). Além disso, a produção de plantas ricas em proteínas para ração animal tem um custo ambiental considerável em termos de recursos hídricos e terrestres, emissões de carbono, podendo agravar o desmatamento e a eutrofização dos corpos d'água, e ainda competir com as fontes de ingredientes para alimentação humana (Naylor et al., 2021).

Devido ao crescimento da aquicultura mundial e brasileira, a busca por alimentos alternativos à farinha de peixe e ao farelo de soja para produção sustentável de rações aquícolas tornou-se uma grande preocupação nos últimos anos. Neste sentido, as farinhas de insetos surgem como uma importante e

inovadora alternativa de ingrediente proteico para organismos aquáticos (FAO, 2020).

Os insetos comestíveis são bastante nutritivos, contendo alto teor de proteína, aminoácidos essenciais, lipídios, minerais e vitaminas (FAO, 2020; van Huis, 2013). A produção de insetos demanda bem menos recursos naturais (água, energia e área) e emite menos gases do efeito estufa quando comparado a outros alimentos proteicos (Costa, 2021a). Além destas vantagens, os insetos crescem e se reproduzem facilmente, possuem alta eficiência de conversão alimentar e podem alimentar-se de resíduos orgânicos (FAO, 2020; Collavo et al., 2005). Apesar de ser um alimento promissor, a baixa oferta aliada aos altos preços podem limitar seu uso. Contudo, estudos demonstraram que é tecnicamente viável produzir insetos em grande escala e alcançar a viabilidade econômica na substituição de ingredientes proteicos tradicionais na dieta animal (Khan et al., 2016; Veldkamp et al., 2012).

O interesse por usar insetos na aquicultura está crescendo, logo, o conhecimento sobre o valor nutricional e a utilização de insetos na alimentação de peixes nativos são essenciais e possibilitarão o uso destes ingredientes nas formulações de rações, promovendo o crescimento sustentável da piscicultura brasileira. O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é uma das espécies nativas de clima tropical mais cultivada no Brasil devido ao domínio na produção de alevinos, rápido crescimento e excelente sabor da carne, além de ser bastante procurado para a pesca esportiva (Jomori et al., 2003; Castagnolli e Zuim, 1985).

Considerando que a FAO vem incentivando a utilização de insetos em dietas de animais, inclusive de peixes, e que estudos recentes sobre o potencial nutritivo dos insetos têm chamado atenção da comunidade científica e da indústria da nutrição animal, esse trabalho buscou avaliar as farinhas de barata cinérea, mosca doméstica, mosca soldado negra e tenébrio comum na alimentação de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*).

Revisão Bibliográfica

A piscicultura brasileira e o pacu

A piscicultura brasileira é dominada pela espécie exótica tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e pelos nativos de formato redondo, como o pacu (*Piaractus mesopotamicus)*, o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e seus híbridos (Valenti et al., 2021). Segundo dados da Associação Peixe BR (Peixe BR, 2022), no Brasil, esta atividade envolve mais de 1 milhão de produtores, gerando cerca de 1 milhão de empregos diretos e outros 2 milhões indiretos. Em 2021 a piscicultura movimentou oito bilhões de reais, produzindo pouco mais de 841 mil toneladas de peixes, sendo o cultivo de espécies nativas estimado em 262.370 mil toneladas.

O pacu é uma das espécies de peixes nativos mais cultivada pela piscicultura nacional, devido ao domínio na produção de alevinos, aceitação de alimento inerte, fácil adaptação em cativeiro, rápido crescimento, rusticidade, carne com excelente sabor e com alto valor comercial, além de ser bastante procurado para a pesca esportiva (Jomori et al., 2003; Castagnolli e Zuim, 1985).

O pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887), é representante da subordem Ostariophysi, na qual se incluem os peixes de maior valor comercial na pesca e na piscicultura brasileiras (Urbinati e Gonçalves, 2005). Pertence à ordem dos Characiformes e à família Characidae (subfamília Myleinae). É um peixe de grande porte, com o corpo robusto e arredondado, apresentando dorso cinza-escuro e o ventre amarelo-dourado (Vaz et al., 2000).

Nativo da Bacia do Prata, grande área que abrange territórios da Argentina, Uruguai, Paraguai, Bolívia e Brasil, o pacu é encontrado nos rios Paraná, Paraguai, Uruguai e seus tributários (Godoy, 1975; Saint-Paul, 1986). Conhecido também como pacu-caranha, caranha ou pacu-guaçu, é um dos peixes mais estudados da região neotropical e tem alto valor econômico, principalmente no Pantanal do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, onde têm sua maior ocorrência (Petrere, 1989).

O pacu é um peixe onívoro, que no ambiente natural se alimenta principalmente de folhas, caules, frutos e sementes; mas havendo necessidade e oportunidade, ele se alimenta de insetos, crustáceos, aracnídeos, moluscos e peixes (Urbinati e Gonçalves, 2005; Silva, 1985). No ambiente natural, este peixe não tem comportamento alimentar contínuo e seu ciclo de vida está estreitamento

relacionado a períodos de alta ingestão de carboidratos (Urbinati e Gonçalves, 2005). Sua alimentação sofre flutuações de acordo com a disponibilidade do alimento, em consequência de variações ambientais e da migração reprodutiva (Silva, 1985). Na estação chuvosa, ele permanece nas áreas de inundação, onde se alimenta de itens de origem vegetal; na seca, fica no leito dos rios, com pouca disponibilidade de alimento (Ferreira e Silva, 2012). O pacu apresenta uma dentição especializada para fragmentar e triturar os alimentos duros, especialmente frutos e sementes (Silva, 1985).

Ingredientes em rações

Os ingredientes (produtos e subprodutos da agricultura, da pesca ou do abate de animais terrestres) utilizados na preparação de rações para alimentação de peixes são basicamente os mesmos empregados na produção de animais terrestres, porém a diferença está na peculiaridade de se buscar alimentos ricos em proteína devido às exigências elevadas dos organismos aquáticos por este nutriente (Pastore et al., 2013).

Uma variedade de estratégias pode ser usada para avaliar a qualidade nutricional dos ingredientes; no entanto, a escolha das estratégias utilizadas pode ter um forte impacto na interpretação dessas informações. Um artigo de revisão publicado há mais de uma década foi considerado a abordagem de referência para estruturar pesquisas que avaliam a qualidade dos ingredientes (Glencross et al., 2007). Nessa revisão, foi proposta uma série de cinco etapas (e a ordem em que devem ser executadas) para desenvolver um conjunto de dados abrangente para basear os julgamentos sobre a qualidade dos ingredientes; 1. Caracterização, 2. Palatabilidade, 3. Digestibilidade, 4. Utilização e 5. Funcionalidade (processabilidade). Devem também ser avaliados a utilização dos nutrientes do ingrediente no desempenho e em outras variáveis-resposta, o seu impacto na resposta imune e na saúde do peixe, efeitos no processamento da ração e influências na qualidade sensorial (cor, sabor e odor) do produto (Elesho et al., 2021; Glencross, 2020).

A determinação da digestibilidade de um alimento fornece uma estimativa de quanto dos seus nutrientes e energia são digeridos e absorvidos pelo peixe

(Glencross et al., 2007). Este procedimento tem sido amplamente utilizado para avaliar o valor nutricional de ingredientes e rações, uma vez que, um alimento pode apresentar elevado conteúdo de um nutriente, mas apresentar baixa digestibilidade (Gonçalves, 2007). Estudos têm demonstrado grande variação na eficiência de utilização entre as espécies e fonte de nutrientes. Evidentemente, a utilização de alimentos proteicos e energéticos de alta digestibilidade torna-se cada vez mais necessária em função da qualidade das rações formuladas, respostas zootécnicas e relação com meio ambiente.

Uma vez conhecida a digestibilidade de um ingrediente, é necessário avaliar a capacidade do peixe em utilizá-lo para crescimento. Sua utilização pode ser avaliada através de ensaios de inclusão, onde o ingrediente teste é adicionado na dieta em níveis crescentes em substituição a um ou mais ingrediente, sendo que a formulação das dietas experimentais é trabalhada para que as mesmas sejam isoenergéticas e isoproteicas (Fracalossi et al., 2013, Glencross et al., 2007).

A farinha de peixe é utilizada como a principal fonte proteica em dietas para peixes, especialmente espécies carnívoras, porém, em função da escassez e alto custo, vem sendo substituída por outros ingredientes de origem animal (farinha de vísceras de aves, farinha de carne e ossos, etc.) e, principalmente, por fontes proteicas vegetais (farelo de soja) na formulação de dietas práticas para peixes onívoros como o pacu (Bicudo et al., 2013).

O pacu tem se mostrado uma espécie capaz de se alimentar de dietas compostas por diversos ingredientes, que podem ser promissores sucedâneos aos ingredientes tradicionais (Gonçalves e Cyrino, 2014; Ozório et al., 2010; Stech et., 2010; Viegas et al, 2008; Vidotti et al, 2002; Fabregat et al., 2008; Abimorad et al., 2008; Abimorad e Carneiro, 2004). O farelo de soja desponta como a principal fonte proteica de origem vegetal utilizada na formulação de dietas para peixes onívoros. Especificamente para o pacu, foi comprovado que o farelo de soja pode substituir totalmente a farinha de peixe nas rações para esta espécie (Fernandes et al., 2000, 2001), visto que apresenta, entre outras características, a digestibilidade da sua fração proteica muito similar àquela observada para a farinha de peixe (Abimorad e Caneiro, 2004; Abimorad et al., 2008).

Sustentabilidade do uso de insetos

Com o aumento da produção animal, muitas vezes alcançado com custos sociais e ambientais, a implementação de uma agropecuária sustentável torna-se de extrema importância. O conceito de sustentabilidade inclui uma visão holística que leva em consideração os aspectos sociais, econômicos e de bem-estar animal relacionados à produção animal. Assim, os sistemas de produção animal tem enfrentado novos desafios, por exemplo, a produção de animais saudáveis tornou-se um pré-requisito para garantir alimentos seguros e acessíveis, ao mesmo tempo, os animais não devem competir com os humanos por alimento, e ainda, o bem-estar animal deve ser assegurado e a poluição ambiental precisa ser minimizada (Esposito et al., 2023).

Consequentemente, um grande número de pesquisas tem se concentrado na substituição da farinha e óleo de peixe por ingredientes mais baratos e potencialmente menos prejudiciais ao meio ambiente (FAO, 2022). Considerando a limitada disponibilidade de água doce, a redução da quantidade de terras aráveis e a falta de nutrientes essenciais e, ainda, a intensa competição pelos recursos proteicos vegetais mais usados atualmente (tanto para consumo humano quanto para alimentação de animais terrestres), os produtos agrícolas não são a única solução. Pelo contrário, para atender à demanda futura de ração para a aquicultura e auxiliar no crescimento sustentável desta atividade, é vital desenvolver fontes alternativas e não tradicionais de proteína e óleo, como macro e microalgas, proteínas celulares (bactérias e leveduras) e insetos, assim como reciclar resíduos alimentares (Hua et al, 2019; FAO, 2022). No entanto, para ser considerada economicamente e ambientalmente viável, a fonte alternativa de proteína precisa ser obtida a partir de produção sustentável, escalonável a níveis comerciais, fisicamente estável, de fácil manuseio e armazenamento e, mais importante, ser nutritiva e não gerar impacto ambiental (FAO, 2022).

Os usos potenciais dos insetos são vastos, por exemplo, algumas espécies (bicho-da-seda e as abelhas) foram domesticadas devido seus produtos serem comercialmente valiosos, outras também são utilizadas na agricultura para combater pragas de outras espécies de insetos ou para polinização (van Huis et al., 2013). Ainda, os insetos são considerados uma alternativa sustentável aos ingredientes convencionalmente utilizados na nutrição animal, porque para serem

produzidos requerem menos recursos, como terra e água, e ainda com pouca emissão de gases do efeito estufa. Além disso, podem bioconverter grandes quantidades de resíduos orgânicos em proteína e gordura de alta qualidade, evitando assim que os resíduos orgânicos se tornem poluentes ambientais (van Huis e Oonincx, 2017; Sogari et al., 2019). Por esse motivo, espécies de insetos como a mosca-soldado negra (*Hermetica illucens*), a mosca doméstica (*Musca domestica*) e o tenébrio comum (*Tenebrio molitor*) estão recebendo atenção crescente, pois podem converter 1,3 bilhão de toneladas de resíduos biológicos por ano (Veldkamp et al., 2012).

De acordo com Costa (2021b), a produção de insetos alimentícios cumpre com ao menos 10 das 17 Metas de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Vale ressaltar também que é possível produzir insetos com pouca tecnologia, de maneira doméstica, o que permite a produção de proteína em lugares remotos, com limitados recursos naturais e/ou socioeconômicos. O inseto pode até mesmo ser fornecido vivo aos animais, sem custos de processamento, possibilitando a oferta de um ingrediente de alta qualidade nutricional na atividade rural de subsistência.

É possível que os insetos forneçam não apenas uma valiosa fonte de proteína animal para a produção de alimentos e rações, mas também uma variedade de benefícios farmacológicos que podem proteger contra diferentes doenças (Gasco et al., 2018). De acordo com Ido et al. (2015), várias compostos (ácido láurico, quitina e peptídeos bioativos) com características úteis foram identificadas em numerosas espécies de insetos. Essas substâncias incluem moléculas com várias funções farmacológicas, como atividade antiviral e microbiana, e a capacidade de aumentar a resposta imune em humanos, bovinos, aves e peixes (Alessandri et al., 2019; Gasco et al., 2018; Al-Qazzaz et al., 2016).

Inseto como alimento

No mundo, há mais de 2000 espécies de insetos alimentícios catalogadas, sendo que grande parte se encontra no Brasil e em outras regiões tropicais do planeta, vale ressaltar que não é toda espécie de inseto que tem aptidão para ser fonte de alimento, pois muitas podem ser venenosas (Costa 2021b). As espécies mais utilizadas como alimento são: grilos (*Gryllodus sigillatus*, *Gryllus bimaculatus* e *Acheta domesticus*), farinha de larvas (*Zophobas morio*, *Alphitobius diaperinus* e

Tenebrio molitor), gafanhotos (*Locusta migratoria*), besouros do sol (*Pachnoda marginata peregrine*), mariposas (*Galleria mellonella*), baratas (*Blaptica dubia*) e larvas da mosca doméstica (*Musca domestica*) (van Huis et al., 2013).

Os peixes, répteis, anfíbios, aves e mamíferos (incluindo o homem) sempre comeram insetos. Além disso, muito dos animais de produção, como aves de corte e poedeiras, suínos, peixes (várias espécies, tais como tilápia, tambaqui, truta, carpa, pirarucu, matrinxã, etc.), e também animais de companhia, como cães, gatos, pássaros e alguns PETs não convencionais, são todos naturalmente insetívoros (Costa, 2021b).

De acordo com Pisa (2021), os alimentos ou ingredientes provenientes de insetos são: o inseto inteiro desidratado, a farinha (integral ou desengordurada) e o óleo (obtido através da extração para produção da farinha desengordurada). O inseto inteiro desidratado pode servir tanto como fonte de nutrientes quanto como estímulo visual para alguns animais como peixes, aves, répteis e roedores. A farinha de insetos, devido a alta concentração proteica, é um ingrediente que pode ser utilizado de forma muito ampla pela indústria de rações, indo desde ingrediente parcial ou até como principal fonte proteica de formulações.

Pesquisas sobre o uso de farinhas de insetos na alimentação de animais indicam que essas têm um grande potencial como alimento, principalmente por serem excelente fonte de proteína de alto valor biológico, possuindo um perfil adequado de aminoácidos, dependendo da espécie, do estágio de desenvolvimento e da fonte de alimentação (Dossey et al., 2016; Sánchez-Muros et al., 2014; Collavo et al., 2005). A concentração de proteína nos principais insetos utilizados na alimentação animal varia de 46 a 65%, sendo mais ricos nesse nutriente do que muitas fontes proteicas convencionais (Ramos-Elorduy et al., 2002). A composição de aminoácidos essenciais das farinhas de alguns insetos, quando comparadas à farinha de peixe e ao farelo de soja, podem apresentar baixa quantidade de histidina, lisina e triptofano (Sánchez-Muros et al., 2014).

As farinhas de insetos também são boas fontes de lipídios (Makkar et al., 2014). No entanto, o teor de gordura (7 a 77% na MS) e de energia (2930 kcal a 7620 kcal/Kg de MS), assim como a quantidade e o perfil de ácidos graxos, variam bastante em função da espécie de inseto, estágio de desenvolvimento, condições

de criação e alimentação (Nogales-Mérida et al., 2018; Ramos-Elorduy et al., 1997). De acordo com Rumpold e Schlüter (2013), os insetos apresentam baixa concentração de colesterol quando comparados a outros produtos de origem animal, contudo, as fibras e os minerais (cobre, ferro, magnésio, fósforo, selênio e zinco) se apresentam em grandes concentrações, apesar de ser preciso atentar-se para variação desses minerais nas diferentes espécies.

Além de serem mais sustentáveis do que os ingredientes convencionais e apresentarem excelente composição de nutrientes, os insetos possuem compostos bioativos (quitina, ácido láurico e peptídeos antimicrobianos) com propriedades que podem melhorar a saúde dos animais (Chaklader et al., 2021; Sogari et al, 2019; Gasco et al., 2018). Estes compostos são capazes de produzir efeitos anti-inflamatórios, imunoestimulantes, bactericidas, antivirais e antifúngicos em diversos animais de produção, inclusive em peixes, por isso têm sido apontados como alternativa ao uso de antibióticos (Gasco et al., 2018).

Ressalta-se que a composição de cada espécie pode variar em função da dieta, fase da vida e ambiente de criação dos insetos, assim como métodos analíticos empregados, preparação e processamento das farinhas. Nos trabalhos realizados por Alfiko et al. (2022), Fontes et al. (2019), Freccia et al. (2020), Gu et al. (2022), Makkar et al. (2014), Medrado et al. (2018) e Weththasinghe et al. (2021) observam-se flutuações na composição corporal dos insetos investigados neste estudo, como o tenébrio comum (47 - 63% PB; 31 - 43% EE e 2,61 - 3.25% MM), barata cinérea (60 – 78,9 % PB; 22,7 - 26,8 % EE e 3,77 – 3,83% MM), mosca comum (40,1 - 50,4% PB; 18.9 – 31,3% EE e 6,5 – 9,4% MM) e mosca soldado negra (31 - 59% % PB; 11 - 49% EE e 9,3 – 19,7% MM).

Embora os insetos apresentem-se como excelente alternativa de ingrediente para diversas espécies animais, constata-se uma baixa uniformidade de seus produtos em todo o mundo, podendo causar diferentes efeitos na produtividade e na saúde dos animais alimentados (Kierończyk et al., 2022). Além disso, a produção de insetos em volumes suficientes para competir com a farinha de peixe e fontes de proteína vegetal ainda não foi alcançada (Sogari et al., 2019), enquanto os níveis de produção permanecerem baixos, o preço continuará sendo uma barreira para uma adoção mais ampla de proteínas de insetos. Para competir com as fontes tradicionais de proteína, as farinhas de insetos devem ter vantagens em

valor nutricional e preço, bem como disponibilidade durante todo o ano e qualidade consistente, o que exigirá investimento, pesquisa e desenvolvimento de tecnologia significativos (Alfiko et al., 2022).

É de fundamental importância definir a espécie de inseto ideal para ser criada com a finalidade de se tornar ingrediente nas formulações de rações animais, principalmente, para que se consiga escala de produção a preços competitivos. Para isso, é necessário que a espécie escolhida tenha alguns atributos, os quais podemos destacar: ciclo de vida curto; prolificidade; adaptabilidade a sistemas de produção massal; boa conversão alimentar e baixo custo de produção. Nesse contexto, os Dípteros pertencentes às espécies mosca comum (*Musca domestica*) e mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), são os que melhor se enquadram para essa finalidade (Oliveira, 2021), além disso, são espécies bastante estudadas e criadas mundialmente para alimentação de animais de produção. Aliado a isso, possuem grande capacidade de conversão de resíduos orgânicos em biomassa, o que, de fato, é um grande atrativo, pois torna possível produzir ingredientes proteicos para as formulações de rações a custos bem baixos. Vale lembrar que isso demanda legislação específica, afinal, estamos falando de manejo de resíduos. Consequentemente, medidas de saneamento para o uso seguro do substrato devem ser desenvolvidas para garantir que as farinhas de insetos estejam livres de doenças e elementos indesejáveis (Alfiko et al., 2022)

Um dos principais fatores limitantes que impedem o desenvolvimento industrial da criação de insetos é a ausência de legislação e normas que orientam o uso de insetos como alimento e ração para animais (Lucas e Prentice, 2021). Nesse sentido, na União Europeia os insetos são considerados “animais de criação”, podendo ser utilizados para produção de alimentos, alimentos para animais ou outros produtos derivados (Regulamento n° 2017/893), com legislação que regula as condições para que operadores de empresas de alimentos e rações, como produtores de insetos, produzam e comercializem seus produtos.

A aprovação do uso de farinhas de insetos em rações aquáticas na Europa e em outras regiões do mundo, vem promovendo o aumento de investimentos em empresas de criação de insetos e da escala de produção deste novo ingrediente alimentar (Alfiko et al., 2022; Weththasinghe et al., 2021). Na Europa, China, Tailândia, Coréia do Sul, América do Norte, Austrália e em outros países são

encontrados diversos tipos de empreendimentos, como “fazendas de insetos”, pequenas e médias empresas, bem como empreendimentos de grande escala (Mancuso et al., 2019).

No Brasil, o uso de insetos na alimentação de animais monogástricos foi autorizado através da IN 110/2020 do MAPA, nesta instrução as espécies e formas de insetos alimentícios permitidas são: adultos desidratados de barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*), farinha de crisálida, farinha de crisálida desengordurada, farinha de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) desidratada, adulto desidratado de grilo preto (*Gryllus assimilis*), larvas desidratadas de tenébrio comum (*Tenebrio molitor*) e larvas desidratadas de tenébrio gigante (*Zophobas morio)* (Costa, 2021a).

Insetos na alimentação de organismos aquáticos

Na natureza, os insetos são uma importante fonte de alimento para os peixes, principalmente para os carnívoros e onívoros, que possuem alta exigência de proteína (van Huis, 2020; Nogales-Mérida et al., 2018; Tran et al., 2015). As larvas e adultos de insetos aquáticos e terrestres são uma parte bem documentada das dietas de peixes, particularmente nos estágios iniciais, todavia, algumas espécies de peixes alimentam-se oportunisticamente de insetos quando a comida é abundante (Nogales-Mérida et al., 2018).

O uso de insetos em rações aquáticas começou há menos de 40 anos, mesmo sendo um pouco recente, avanços interessantes na seleção de espécies, cultura, maximização da produção, valores nutricionais e testes de campo foram relatados (Daniel, 2018). É certo que, em um futuro próximo, o cultivo de insetos para produção de farinha de insetos como ingrediente de ração para peixes, afetará substancialmente a aquicultura, tornando-a mais lucrativa e sustentável (Alfiko et al., 2022).

Estudos avaliaram o uso de insetos como alimento para diversos organismos aquáticos, como o camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) (Panini et al., 2017; Choi et al., 2018), o bagre africano *Clarias gariepinus* (Alegbeleye et al., 2012; Fawole et al., 2020), a truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss* (Belforti et al., 2015; Bruni et al., 2018; 2020; Dumas et al., 2018; Gasco et al., 2014; Henry et al., 2018;

Mancini et al., 2018), a carpa *Cyprinus carpio* (Chen et al., 2017; Li et al., 2017; Xu et al., 2020; Xu et al., 2021), o bagre amarelo *Pelteobagrus fulvidraco* (Su et al., 2017), a tilápia vermelha *Oreochromis sp*., a tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (Dietz e Liebert, 2018; Fontes et al., 2019; Freccia et al., 2016; Jabir et al., 2012; Tubin, 2017)*, o* robalo europeu *Dicentrarchus labrax* (Gasco et al., 2016; López, 2015; Magalhães et al., 2017; Mastoraki et al., 2020) e o salmão do Atlântico *Salmo salar* (Belghit et al., 2018; Li et al., 2020; Weththasinghe et al., 2021).

Ao que tudo indica, os peixes toleram bem a inclusão de insetos na dieta. O desempenho dos animais alimentados com este ingrediente tem variado de acordo com as espécies utilizadas, bem como a forma de processamento (ex: farinha integral, parcialmente desengordurada ou totalmente desengordurada), porém altos níveis de inclusão, acima de 29%, de farinha de larva de mosca-soldado negra pode afetar negativamente o desempenho de alguns peixes, sendo a farinha de larva de tenébrio mais tolerada pelos animais (Hua, 2021).

A limitação do uso de farinhas de insetos, geralmente está relacionada à quitina, que é um polissacarídeo predominante no exoesqueleto de insetos e sua composição varia entre espécies e fases de desenvolvimento (Longvah et al., 2011). A quitina pode prejudicar a digestão e absorção de nutrientes (Diener et al., 2009; Dumas et al., 2018; Kroeckel et al., 2012). A enzima quitinase é responsável pela hidrólise da quitina e é produzida pelas glândulas gástricas e pelo pâncreas de peixes (Nogales-Mérida et al., 2018). Geralmente a quitinase é encontrada no trato gastrointestinal de espécies onívoras e carnívoras, as quais, normalmente, se alimentam de organismos que contêm quitina, como artrópodes, anelídeos e moluscos (Moraes e Almeida, 2014; Polakof et al., 2012). Trabalhos com o tambaqui e a tilápia do Nilo apresentaram digestibilidade para a quitina, sugerindo considerável atividade da enzima quitinase (Santos et al., 2022; Fontes et al., 2019). Por outro lado, vários estudos têm apontado que a quitina confere atividade prebiótica, através da manutenção de microbiota saudável, promovendo o crescimento de várias bactérias intestinais benéficas, além de aumentar a atividade do sistema imunológico de peixes (Esteban et al., 2001; Mohan et al., 2022; Foysal e Gupta, 2022).

Mosca soldado negra na alimentação de peixes

A mosca soldado negra (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), pertence à ordem Díptera e à família Stratiomydae (Vasconcelos, 2019). É originária do continente americano, podendo ser encontrada nas zonas tropicais e temperadas em todo o mundo (Borel et al., 2021). Geralmente o ciclo de vida desta espécie não ultrapassa 45 dias, possui metamorfose completa (ovo, larva, pupa e adulto) e o adulto não se alimenta, possuindo apenas a função de acasalar e seguir com a postura de ovos para a próxima geração (Pisa, 2021). Aliás, a mosca-soldado negra não é considerada potencial transmissora de doenças como a mosca doméstica e quando adultas não precisam de cuidados especiais (Diener et al. 2011).

É considerada uma das espécies de insetos mais promissora para a alimentação animal (van Huis, 2013). A farinha de larvas de mosca soldado negra tem sido considerada fonte de proteína alternativa, por causa de seu conteúdo de proteína e perfil de aminoácidos essenciais, que é próximo da farinha de peixe e superior ao farelo de soja, e ainda é fonte de lipídios e minerais, particularmente cálcio (Ca) (Nogales-Mérida et al., 2018; Makkar et al., 2014; Barroso et al., 2014; Finke, 2013). Também é abundante em carotenoides provitamina A e compostos bioativos, que possuem qualidades nutracêuticas e podem melhorar a saúde dos peixes (Borel et al., 2021).

A farinha de larvas de mosca soldado negra vem sendo testada na alimentação de várias espécies de peixes e tem mostrado resultados promissores, para o bagre africano (*Clarias gariepinus*) teve uma digestibilidade semelhante à farinha de peixe, o que a torna um substituto potencial desta fonte proteica (Elesho et al., 2021). Do mesmo modo, a farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra apresentou coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de 85% de proteína para truta arco-íris e 86% para o tambaqui, utilizando ração referência, 20% e 30% do ingrediente teste, respectivamente (Dumas et al., 2018; Santos et al., 2022). Por outro lado, foi observada baixa digestibilidade (CDA-PB= 63,1% e CDA-EB=54,5%) da farinha de larvas de mosca soldado negra em turbot (*Psetta máxima*), através do método de dissecação do intestino e utilizando uma dieta com 30% do ingrediente teste (Kroeckel et al., 2012).

O aumento do nível de inclusão de farinha de larvas de mosca soldado negra (0%, 8%, 16% e 32%) na alimentação do salmão do Atlântico (*Salmo salar*) reduziu

linearmente os CDA da proteína e dos lipídios (Weththasinghe et al., 2021). Os CDA da proteína bruta (89%, 91% e 87%) foram maiores com 20% se comparado ao nível de 40% de inclusão da farinha parcialmente desengordurada de larvas de mosca soldado negra na dieta de truta arco-íris, enquanto não ocorreram diferenças em relação à CDA da energia bruta (60%, 65% e 60%) (Renna et al., 2017).

A farinha de pré-pupas de mosca soldado negra é recomendada como um ingrediente alimentar benéfico para juvenis de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), pois melhorou o desempenho, a digestibilidade de lipídios e a expressão de genes relacionados ao sistema imunológico (Cho et al., 2022). Dumas et al. (2018) recomendam 13% de inclusão máxima da farinha de larvas de mosca soldado negra em dietas para trutas arco-íris, enquanto Biasato et al. (2022) indicam níveis mais altos de inclusão (32%), pois não observaram prejuízos no desempenho, índices somáticos, digestibilidade de nutrientes, características histomorfológicas e saúde. A inclusão de farinha de larvas de *Hermetia illucens* em um nível baixo (8%) promoveu maior crescimento (peso final, ganho de peso e taxa de crescimento específico) do que a inclusão mais alta (16%) da farinha deste inseto em juvenis de truta arco-íris alimentados com dietas à base de soja (Hossain et al., 2021). Todavia, a inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra na dieta de trutas causou alguns efeitos sobre o metabolismo lipídico, como sugerido pela expressão gênica do fígado, cecos pilóricos e intestino médio e perfil de ácidos graxos do fígado (Bruni et al., 2020). A farinha de larva de *H. illucens* parcialmente desengordurada pode substituir até 50% da farinha de peixe na alimentação da truta arco-íris sem prejudicar os índices somáticos, o rendimento e a qualidade do filé de peixe, garantindo seu valor nutricional (Bruni et al., 2018; 2020). Geralmente, as modificações químicas ocorridas nos filés de trutas arco-íris estão relacionadas à composição química da farinha de *H. illucens* e ao percentual de sua inclusão na dieta (controle, 25% e 50% de substituição da farinha de peixe por farinha de larvas de mosca soldado negra) (Mancini et al., 2018).

De acordo com Weththasinghe et al. (2021), a farinha de larvas mosca soldado negra pode substituir até 12,5% da proteína dietética sem comprometer o desempenho do salmão do Atlântico (*Salmo salar*). Enquanto Belghit et al. (2018) demonstraram que é possível adicionar 60% de farinha de larvas de mosca soldado negra em combinação com óleo deste mesmo inseto nas dietas desta espécie de

peixe; encontrando pequenas diferenças no ganho de peso e nenhum efeito na ingestão, na taxa de conversão alimentar e na composição química corporal, porém a inclusão desta farinha de inseto aumentou os índices hepático e visceral. A substituição total da farinha de peixe por farinha de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) não comprometeu a saúde intestinal do salmão do Atlântico (Li et al., 2020).

Em dietas para juvenis de robalo europeu, a inclusão de até 19,5% de farinha de pré-pupas de mosca soldado negra, correspondendo a 45% de substituição da farinha de peixe, não causou efeitos adversos no crescimento, utilização de nutrientes ou digestibilidade (Magalhães et al., 2017; López, 2015) e também não afetou as características de vida útil e qualidade do filé (Moutinho et al., 2020).

Alto nível de suplementação (100 g/kg) teve efeito sobre o desempenho da garoupa *Epinephelus coioide*, porém todas as dietas suplementadas com farinha de larvas de mosca soldado negra não inibiram a resistência à doença nos peixes (Jiang et al., 2022).

Em esturjões siberianos (*Acipenser baerii*), é possível substituir até 25% da farinha de peixe pela farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra, sem comprometer o desempenho, o fator de condição, os índices biométricos e morfométricos e a composição corporal dos peixes, existindo poucas variações na composição de ácidos graxos corporais (Caimi et al., 2020).

A inclusão de 10% de farinha de larvas de mosca soldado negra (correspondendo a 17% de substituição da farinha de peixe) na dieta de juvenis de corvina (*Argyrosomus regius*) não causou efeitos adversos no crescimento, utilização de nutrientes, composição de corpo inteiro e perfil de ácidos graxos em relação às inclusões de 20% e 30% (35% e 52% de substituição) (Guerreiro et al., 2020).

A farinha de larvas de mosca soldado negra parcialmente desengordurada pode substituir a farinha de peixe em até 100% na dieta para a tilápia do Nilo sem reduzir a taxa de crescimento e a eficiência alimentar, mas o teor de gordura corporal diminuiu significativamente com o aumento dos níveis da mosca soldado negra (Kishawy et al., 2022). A substituição de até 50% do concentrado proteico de soja por farinha de larvas de mosca soldado negra parcialmente desengordurada

(18,5% na dieta total) melhorou a qualidade da proteína na dieta da tilápia do Nilo, em contrapartida, no nível de substituição de 100%, a conversão alimentar e a eficiência de retenção proteica foram afetadas negativamente, ao mesmo tempo que o desempenho permaneceu semelhante (Dietz e Liebert, 2018).

Os bagres africanos podem utilizar dietas com até 17,2% de farinha de larvas de *Hermetia illucens* (75% de substituição de farinha de peixe) sem prejudicar o crescimento, a utilização de nutrientes e o estado de saúde dos peixes (Fawole et al., 2020).

A inclusão de farinha de larvas de mosca soldado negra melhorou o desempenho em peixes dourados (*Carassius auratus*), porém influenciou os teores de proteína bruta e gordura corporais (Khieokhajonkhet et al., 2022).

O estudo de Li et al. (2017) demonstra que é adequado substituir até 50% da proteína da farinha de peixe da dieta pela farinha de larvas de mosca soldado negra desengordurada na dieta da carpa Jian (*Cyprinus carpio* var. Jian), pois quando os níveis de substituição ultrapassaram 75% foram observados estresse dietético e dano histopatológico intestinal, mesmo assim o crescimento não foi afetado. A substituição do farelo de soja pela farinha de larvas de mosca soldado negra não afetou o desempenho e ainda melhorou a capacidade antioxidante da carpa capim, porém, quando o nível de substituição ultrapassou 50%, foi observado dano na histomorfologia intestinal (Lu et al., 2020).

A farinha de peixe pode ser substituída em até 75% pela farinha desengordura de larvas de mosca soldado negra (7,5% de inclusão) na dieta para o híbrido barbo limão (*Barbodes gonionotus* X *Hypsibarbus wetmorei*), de modo que até este nível de substituição, o ganho em peso corporal e a taxa de crescimento específico melhoraram, porém acima desse nível, diminuíram (Kamarudin et al., 2021). Além disso, a inclusão da farinha de mosca soldado negra não afetou a taxa de conversão alimentar e o consumo diário de ração, porém diminuiu a retenção de proteína e aumentou a de lipídios.

A sobrevivência, o crescimento e a composição de ácidos graxos de peixes-palhaço (*Amphiprion ocellaris*) não foram influenciados pelas dietas contendo 0%, 20%, 40% e 60% de farinha de larvas de *Hermetia illucens* (substituindo 0%, 25%, 50% e 75% de farinha de peixe), assim como os genes envolvidos no crescimento

dos peixes, metabolismo lipídico e resposta ao estresse (Vargas-Abúndez et al., 2019).

A substituição de até 50% da farinha de peixe por farinha de inseto é recomendada na dieta de zebrafish (*Danio rerio*), pois peixes alimentados com maiores inclusões de farinha de mosca soldado negra (75% e 100%) apresentaram um grau severo de esteatose hepática, maior teor de lipídios, modificação da microbiota, alteração de ácidos graxos e maior expressão de marcadores de estresse e resposta imune (Zarantoniello et al., 2020).

O barramundi (*Lates calcarifer*) pode tolerar a substituição completa de farinha de peixe por uma combinação de 30% de farinha de larvas de mosca soldado negra integral e 70% de farinha de subprodutos de aves, conforme comprovado pelo desempenho, índices de biometria e utilização de ração (Chaklader et al., 2021).

De acordo com estudo realizado por Ordoñez et al. (2022) com o tambaqui, peixes alimentados com uma dieta composta por larvas inteiras de mosca soldado negra e ração extrusada apresentaram desempenho zootécnico e rendimento de carcaça semelhantes aos de tambaquis alimentados apenas com ração comercial. No entanto, nos peixes alimentados somente com as larvas, que contém alto teor de gordura, foram observados os maiores valores do índice viscerosomático, triglicerídeos plasmáticos e colesterol, mesmo assim os parâmetros estavam normais para a espécie. Além disso, a utilização da larva inteira também proporcionou melhor qualidade sensorial em relação aos peixes criados apenas com ração.

A inclusão de até 30% de farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra não prejudicou o crescimento e a composição corporal do tambaqui, mas o nível de colesterol no sangue foi maior nos peixes alimentados com dieta com 30% de inclusão, apesar disso, estavam dentro dos limites registrados para essa espécie (Santos et al., 2022).

Tenébrio comum na alimentação de peixes

Outro inseto criado como fonte de ingredientes para a nutrição animal é o tenébrio comum (*Tenebrio molitor*). Pertence à família Tenebrionidae e à ordem

Coleoptera, nativo da Europa, encontra-se distribuído em todo o mundo, é uma "praga" de farinhas, grãos e alimentos armazenados, mas, geralmente, não causa problemas (Makkar et al., 2014; Ramos-Elorduy et al., 2002).

Em revisão feita por Arcanjo (2020), o tenébrio apresenta um holometabolismo (metamorfose completa) dividido em quatro fases: embrionária, larval, pupal e imago (adulta), com o ciclo de vida variando de 280 a 630 dias. O *T. molitor* é normalmente utilizado como alimento na fase larval. Geralmente, o seu substrato de desenvolvimento é constituído por farelo ou alimento para aves, composto de cenouras, batatas e água. Se for fornecido uma quantidade abaixo da indicada pode ocorrer canibalismo.

As larvas de tenébrio comum têm sido produzidas industrialmente como alimento para diversos animais, pois além da facilidade de sua criação e alimentação, contêm alto teor de proteína com boa composição de aminoácidos essenciais e elevada concentração de lipídios com composição de ácidos graxos parecida com as larvas de mosca soldado negra, porém apresentam quantidade inferior de ácido láurico e superior de ácido linoleico (Makkar et al., 2014).

O uso da farinha de *Tenebrio molitor* como fonte alternativa de proteína vem sendo investigado e recomendado na dieta de várias espécies de peixes. É o caso de Fontes et al. (2019) que avaliaram a digestibilidade de nutrientes e energia de cinco farinhas de insetos (*Nauphoeta cinerea*, *Zophobas morio*, *Gromphadorhina portentosa*, *Gryllus assimilis e Tenebrio molitor*) por alevinos de tilápia do Nilo e verificaram que a farinha de tenébrio comum apresentou os maiores coeficientes de digestibilidade (85,4% para proteína e 82,1% para energia), considerando-a mais adequada dentre as farinhas de insetos testadas. Em juvenis de robalo europeu, a digestibilidade da farinha de larvas de tenébrio comum (CDA proteína: 89%, CDA energia: 79%) foi mais alta quando comparada à farinha de mosca soldado negra (CDA proteína: 76%, CDA energia: 67%) (Basto et al., 2020).

O aumento dos níveis de inclusão (10%, 20% e 30%) da farinha de tenébrio comum parcialmente desengordurada na dieta de juvenis de corvina (*Argyrosomus regius*) causou redução dos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, energia e proteína (Coutinho et al., 2021). Do mesmo modo, foi observado tendência linear negativa para o CDA de lipídios com níveis crescentes da farinha

de tenébrio comum (0%, 13%, 26%, 39% e 52%) em dietas para o linguado (*Paralichthys olivaceus*), paralelamente o CDA da proteína tendeu a melhorar com o aumento da inclusão da farinha de tenébrio desengordurada na dieta em até 40%, mas diminuiu gradativamente em níveis mais elevados (Jeong et al., 2021).

Os níveis de inclusão da farinha de tenébrio (0%, 10%, 20% e 30%) não afetaram os parâmetros de crescimento de juvenis de tambaqui (Lira, 2015). Também não foram encontrados efeitos prejudiciais no desempenho de *Pagellus bogaraveo* alimentados com dietas contendo até 40% de inclusão de farinha de larvas de tenébrio (Iaconisi et al., 2017).

A farinha de tenébrio comum pode ser usada em até 50% de inclusão, não causando redução no crescimento e nem diferença na composição corporal de trutas arco-íris, porém dietas contendo 25% e 50% de farinha de tenébrio resultaram em menores valores do índice hepatossomático (Gasco et al., 2014). A inclusão da farinha de tenébrio (0%, 25% e 50%) na dieta de truta arco-íris aumentou o teor de proteína dos filés, enquanto o de lipídio diminuiu, além disso, melhorou a taxa de conversão alimentar, índice de eficiência proteica, taxa de crescimento específica e sobrevivência (Belforti et al., 2015).

A farinha de *Tenebrio molitor* com gordura pode ser utilizada em até 25% de inclusão em dietas sem afetar o crescimento de juvenis de robalo europeu (*Dicentrarchus labrax* L.), por outro lado, em um nível mais alto de inclusão (50%), o desempenho dos peixes foi afetado negativamente (Gasco et al., 2016).

Para a taxa de ganho em peso, o melhor nível de substituição de farinha de peixe por farinha de tenébrio foi 12,3%, correspondendo à adição de 4,92% desta farinha na alimentação de garoupa (*Epinephelus lanceolatus* x *Epinephelus fuscoguttatus*) (Song et al., 2018).

Não houve diferença entre os níveis de inclusão da farinha (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) para peso final, ganho em peso, consumo de ração, sobrevivência, produtividade, fator de condição e índice hepatossomático, no entanto, a inclusão ocasionou aumento linear na conversão alimentar aparente e no índice viscerossomático, sendo sugerido 15% como limite máximo de inclusão de farinha de larvas de tenébrio na dieta de alevinos de tilápia (Tubin, 2017).

A farinha de larvas de tenébrio pode substituir pelo menos 75% da farinha de peixe para o catfish amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco*) sem reduzir significativamente seu crescimento, podendo melhorar também a imunidade, sendo recomendada a inclusão de pelo menos 18 g de tenébrio comum por 100 g de ração (Su et al., 2017). A eficácia da farinha de *Tenebrio molitor* como fonte alternativa de proteína na dieta para juvenis do peixe mandarin (*Siniperca scherzeri*) foi comprovada não apenas em relação ao ganho em peso e eficiência de utilização da ração, mas também do ponto de vista dos efeitos promotores da saúde em peixes (Sankian et al., 2018). A substituição da farinha de peixe por tenébrio comum modificou a microbiota intestinal das espécies *Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax* e *Oncorhynchus mykiss* (Antonopoulou et al., 2019).

Juvenis de corvina (*Argyrosomus regius*) apresentaram capacidade limitada de utilizar farinha de tenébrio comum (*T. molitor*) parcialmente desengordurada, mesmo com uma inclusão dietética de 10% (substituindo 25% da farinha de peixe), e ainda níveis dietéticos mais elevados (20% e 30% de inclusão de farinha de tenébrio, substituindo respectivamente, 50% e 75% de farinha de peixe) afetaram negativamente a composição corporal dos peixes (Coutinho et al., 2021).

Barata cinérea na alimentação de peixes

A barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*) pertence à ordem Blattodea (Gullan e Cranston, 2017), é originária da África, embora seja encontrada em vários países tropicais, inclusive no Brasil, estando presente em todos os tipos de ambientes (Rios, 2022).

Algumas empresas nacionais já a produzem em escala comercial para atender zoológicos e produção de rações para pássaros. Devido ao seu alto valor proteico, a procura por esta farinha tem se elevado com o passar dos anos. A farinha de barata é uma excelente fonte de proteínas (66,84%) (Tubin, 2017), este valor é superior aos principais ingredientes proteicos utilizados na formulação de dietas para peixes como o farelo de soja, farinha de peixe, farinha de carne e ossos, farinha de vísceras (Furuya, 2010).

A farinha de barata cinerea, apesar de ser menos estudada do que as farinhas de larvas de mosca soldado negra, larvas de mosca doméstica e larvas de

tenébrio, também tem apresentado resultados promissores e tem sido recomendada para ser utilizada como alimento para uma das espécies de peixe mais produzida no mundo, a tilápia do Nilo. A digestibilidade da farinha de *Nauphoeta cinerea* foi testada para alevinos de tilápia do Nilo e foram obtidos coeficientes de digestibilidade de 69,6% para proteína e de 58,4% para energia (Fontes et al., 2019). Diferentes níveis de inclusão de farinha de barata cinérea (0%, 5%, 10%, 15% ou 20%) não causaram diferenças no desempenho e nos parâmetros hematológicos de alevinos de tilápia do Nilo (Freccia et al., 2016).

Mosca doméstica na alimentação de peixes

A mosca doméstica (*Musca domestica* Linnaeus 1758) é a espécie mais comum de mosca, pertence à ordem Díptera e à família Muscidae, é cosmopolita, apresenta metamorfose completa com quatro estágios (ovo, larva, pupa e adulto) e ciclo de vida variando entre 15 e 70 dias (Vasconcelos, 2019). É considerada vetor de patógenos em humanos e animais, pois tanto as larvas quanto os adultos se alimentam de esterco e resíduos orgânicos em decomposição, porém a produção de biomassa de larvas de moscas domésticas em condições controladas para alimentar animais tem sido investigada, uma vez que as larvas podem transformar resíduos em uma fonte de alimento rica em proteína e lipídios (Makkar et al., 2014).

A carpa (*Cyprinus carpio*) (CDA proteína: 84,9%, CDA energia: 74,9%) são mais eficientes em utilizar a farinha de larvas de mosca doméstica como fonte de proteína do que a tilápia do Nilo (CDA proteína: 57,7%, CDA energia: 58,1% (Ogunji et al., 2009). A substituição da farinha de peixe pela farinha de larvas de mosca (*Musca domestica*) em nível de inclusão de 50 a 60% é adequada para parâmetros de desempenho, utilização de nutrientes e sobrevivência em alevinos de *O. niloticus* (Ezewudo et al., 2015). A utilização de até 100% de larva inteira de mosca doméstica em substituição a ração contendo 32% de proteína bruta proporcionou melhor desempenho em lambari (Silva et al., 2009).

Apesar de ser um alimento promissor e alternativo para peixes, as larvas de mosca doméstica não constam na instrução normativa nº 110/2020 do MAPA, a qual permite as matérias-primas para o uso na alimentação de animais monogástricos. Em virtude disso, não existem produtores de farinhas de larvas de

mosca doméstica no Brasil. Certamente a não liberação deva-se ao fato da mosca doméstica ser considerada vetor de doenças. No entanto, alguns ranários realizam de forma higiênica e segura a produção de larvas de mosca doméstica para alimentar suas rãs.

Referências

Abimorad, E.G., Carneiro, D.J., 2004. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Rev. Bras. Zootec. 33, 1101–1109. https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000500001

Abimorad, E.G., Squassoni, G.H., Carneiro, D.J., 2008. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. Aquac. Nutr. 14, 374–380. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x

Alegbeleye, W.O., Obasa, S.O., Olude, O.O., Otubu, K., Jimoh, W., 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (Zonocerus *variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus*. Aquac. Res. 43, 412–420. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02844.x

Alessandri, G., Milani, C., Duranti, S., Mancabelli, L., Ranjanoro, T., Modica, S., Carnevali, L., Statello, R., Bottacini, F., Turroni, F., Ossiprandi, M.C., Sgoifo, A., Sinderen, D. van, Ventura, M., 2019. Ability of bifidobacteria to metabolize chitin-glucan and its impact on the gut microbiota. Sci. Rep. 9, 1–14. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42257-z

Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R.T., Wong, J., Wang, L., 2022. Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. Aquac. Fish. 7, 166–178. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004

Al-Qazzaz, M.F.A., Ismail, D., Akit, H., Idris, L.H., 2016. Effect of using insect larvae meal as a complete protein source on quality and productivity characteristics of laying hens. Rev. Bras. Zootec. 45, 518–523. https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000900003

Antonopoulou, E., Nikouli, E., Piccolo, G., Gasco, L., Gai, F., Chatzifotis, S., Mente, E., Kormas, K.A., 2019. Reshaping gut bacterial communities after dietary *Tenebrio molitor* larvae meal supplementation in three fish species. Aquaculture 503, 628–635. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.013

Arcanjo, M.C.N. 2020. Utilização de resíduos de frutos típicos do Brasil na produção e composição nutricional da larva de *Tenebrio molitor*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Produção Animal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, Brasil.

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

Basto, A., Matos, E., Valente, L.M.P., 2020. Nutritional value of different insect larvae meals as protein sources for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture 521, 735085. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735085

Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Zoccarato, I., Gasco, L., 2015. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. Ital. J. Anim. Sci. 14, 670–676. https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4170

Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, Å., Lock, E.J., 2018. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 491, 72–81. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016

Biasato, I., Chemello, G., Oddon, S.B., Ferrocino, I., Corvaglia, M.R., Caimi, C., Resconi, A., Paul, A., van Spankeren, M., Capucchio, M.T., Colombino, E., Cocolin, L., Gai, F., Schiavone, A., Gasco, L., 2022. *Hermetia illucens* meal inclusion in low-fishmeal diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on the growth performance, nutrient digestibility coefficients, selected gut health traits, and health status indices. Anim. Feed Sci. Technol. 290, 115341. https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2022.115341

Bicudo, A.J.A.; Abimorad, E.G; Carneiro, D.J., 2013. Exigências Nutricionais e Alimentação do Pacu. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 217-229.

Borel, P., Hammaz, F., Morand-Laffargue, L., Creton, B., Halimi, C., Sabatier, D., Desmarchelier, C., 2021. Using black soldier fly larvae reared on fruits and vegetables waste as a sustainable dietary source of provitamin a carotenoids. Food Chem. 359, 129911. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129911

Bruni, L., Pastorelli, R., Viti, C., Gasco, L., Parisi, G., 2018. Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source. Aquaculture 487, 56–63. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.006

Bruni, L., Randazzo, B., Cardinaletti, G., Zarantoniello, M., Mina, F., Secci, G., Tulli, F., Olivotto, I., Parisi, G., 2020. Dietary inclusion of full-fat *Hermetia illucens* prepupae meal in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Lipid metabolism and fillet quality investigations. Aquaculture 529, 735678. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735678

Caimi, C., Renna, M., Lussiana, C., Bonaldo, A., Gariglio, M., Meneguz, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Gai, F., Concetta, A., Prearo, M., Gasco, L., 2020. First insights on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal dietary administration in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) juveniles. Aquaculture 515, 734539. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734539

Castagnolli N.; Zuim, S.M.F. 1985, Consolidação do conhecimento adquirido sobre o pacu (*Colossoma mitrei* Berg 1895). FCAU, Jabocatibal, 30 p.

Chaklader, M.R., Howieson, J., Fotedar, R., 2021. Growth, hepatic health, mucosal barrier status and immunity of juvenile barramundi, *Lates calcarifer* fed poultry by-product meal supplemented with full-fat or defatted *Hermetia illucens* larval meal. Aquaculture 543, 737026. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737026

Chen, H., Tian, J., Wang, Y., Yang, K., 2017. Effects of Dietary Soybean Oil Replacement by Silkworm , *Bombyx mori* L ., Chrysalis Oil on Growth Performance , Tissue Fatty Acid Composition , and Health Status of Juvenile Jian Carp , *Cyprinus carpio* var . Jian. J. World Aquac. Soc. 48, 453–466. https://doi.org/10.1111/jwas.12373

Cho, J.-H., Bae, J., Hwang, I.J., 2022. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal on the growth, stress, and immune responses of juvenile rainbow trout

(*Oncorhynchus mykiss*) reared at different stocking densities. Aquac. Reports 25, 101202. https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2022.101202

Choi, I.H., Kim, J.M., Kim, N.J., Kim, J.D., Park, C., Park, J.H., Chung, T.H., 2018. Replacing fish meal by mealworm (*Tenebrio molitor*) on the growth performance and immunologic responses of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Acta Sci. - Anim. Sci. 40, 1–9. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.39077

Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Bosse, R., Paoletti, M.G., 2005. Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs, and Snails, in: Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails. pp. 519–544.

Costa, D. V. 2021a. Insetos como alimento na aquicultura – O que mudou desde 2019? Panorama da Aquicultura. n. 183, Ago.

Costa, D. V. 2021b. Insetos na nutrição animal: fantasia ou realidade? nutriNews Brasil 3º Trimestre 2021

Coutinho, F., Castro, C., Guerreiro, I., Rangel, F., Couto, A., Serra, C.R., Peres, H., Pousão-Ferreira, P., Rawski, M., Oliva-Teles, A., Enes, P., 2021. Mealworm larvae meal in diets for meagre juveniles: Growth, nutrient digestibility and digestive enzymes activity. Aquaculture 535, 736362. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736362

Daniel, N., 2018. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. Int. J. Fish. Aquat. Stud. 6, 164–179.

Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., Tockner, K. 2011. Black soldier fly larvae for organic waste treatment—prospects and constraints. Proceedings of the WasteSafe, v. 2, p. 13-15.

Diener, S., Zurbrügg, C., Tockner, K., 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae : establishing optimal feeding rates. Waste Manag. Res. 27, 603–610. https://doi.org/10.1177/0734242X09103838

Dietz, C., Liebert, F., 2018. Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? Aquac. Reports 12, 43–48. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.09.001

Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., 2016. Insects as Sustainable Food Ingredients Production, Processing and Food Applications. Elsevier.

Dumas, A., Raggi, T., Barkhouse, J., Lewis, E., Weltzien, E., 2018. The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 492, 24–34. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038

Elesho, F.E., Kröckel, S., Sutter, D.A.H., Nuraini, R., Chen, I.J., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W., 2021. Effect of feeding level on the digestibility of alternative protein-rich ingredients for African catfish (*Clarias gariepinus*). Aquaculture 544. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737108

Esposito, G., Iommelli, P., Infascelli, L., Raffrenato, E., 2023. Traditional Sources of Ingredients for the Food Industry: Animal Sources. Ref. Modul. Food Sci. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00033-0

Esteban, M.A., Cuesta, A., Ortuño, J., Meseguer, J., 2001. Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) innate immune system. Fish Shellfish Immunol. 11, 303–315. https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0315

Ezewudo, B.I., Monebi, C.O., Ugwumba, A.A.A., 2015. Production and utilization of *Musca domestica* maggots in the diet of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fingerlings. African J. Agric. Res. 10, 2363–2371. https://doi.org/10.5897/ajar2014.9274

Fawole, F.J., Adeoye, A.A., Tiamiyu, L.O., Ajala, K.I., Obadara, S.O., Ganiyu, I.O., 2020. Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker. Aquaculture 518, 734849. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734849

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2000. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Alevinos de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. Bras. Zootec. 29, 646–653. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2001. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Juvenis de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. bras. zootec. 30, 617–626. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Ferreira, F.J., Silva, C.A., 2012. Atividade alimentar do pacu *Piaractus mesopotamicus* Holmberg (1887) criados em tanques rede. Bioikos 26, 35–42.

Finke, M.D., 2013. Complete Nutrient Content of Four Species of Feeder Insects. Zoo Biol. 32, 27–36. https://doi.org/10.1002/zoo.21012

Fontes, T.V., Oliveira, K.R.B., Almeida, I.L.G., Orlando, T.M., Rodrigues, P.B., Costa, D.V., Rosa, P.V., 2019. Digestibility of insect meals for nile tilapia fingerlings. Animals 9, 1–8. https://doi.org/10.3390/ani9040181

Food and Agriculture Organization (FAO), 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. FAO, Rome. https://doi.org/10.4060/ca9229en

Food and Agriculture Organization (FAO), 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO, Rome. https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0461en

Foysal, M.J., Gupta, S.K., 2022. A systematic meta-analysis reveals enrichment of Actinobacteria and Firmicutes in the fish gut in response to black soldier fly (*Hermetica illucens*) meal-based diets. Aquaculture 549, 737760. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737760

Fracalossi, D.M.; Rodrigues, A.P.O.; Silva, T.S.C.; Cyrino, J.E.P., 2013. Técnicas experimentais e nutrição de peixes. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 37-63.

Freccia, A., Meurer, E., Filho, J.C., Jerônimo, G.T., Emerenciano, M.G.C., 2016. Farinha de inseto em dietas de alevinos de tilápia. Arch. Zootec. 55, 127–138.

Freccia, A., Sergio Bee Tubin, J., Nishioka Rombenso, A., Gustavo Coelho Emerenciano, M., 2020. Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly Approach or Commercial Reality?, in: Emerging Technologies, Environment and Research for Sustainable Aquaculture. IntechOpen, pp. 1–15. https://doi.org/10.5772/intechopen.90489

Furuya, W.M., 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. GFM, Toledo, 100p.

Gasco, L., Finke, M., van Huis, A., 2018. Can diets containing insects promote animal health? J. Insects as Food Feed 4, 1–4. https://doi.org/10.3920/JIFF2018.x001

Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P., Chatzifotis, S., 2016. *Tenebrio molitor* meal in diets for

European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. Anim. Feed Sci. Technol. 220, 34–45. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003

Gasco, L., Rotolo, L., Parisi, G., Terova, G., 2014. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Abstr. B. Conf. Insects to Feed World 78.

Glencross, B.D., 2020. A feed is still only as good as its ingredients: An update on the nutritional research strategies for the optimal evaluation of ingredients for aquaculture feeds. Aquac. Nutr. 26, 1871–1883. https://doi.org/10.1111/anu.13138

Glencross, B.D.., Booth, M., Allan, G.L., 2007. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. Aquac. Nutr. 26, 1871–1883. https://doi.org/10.1111/anu.13138

Godoy, M.P., 1975. Peixes do Brasil. Subordem Characoidei. Bacia do Rio Mogi-Guassú. Ed. Franciscana, Piracicaba, p. 1-4.

Gonçalves, G.S., 2007. Digestibilidade e exigência de lisina, proteína e energia em dietas para a tilápia do Nilo. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil.

Gonçalves, L.U., Cyrino, J.E.P., 2014. Digestibility of energy, lipids and fatty acids of vegetable oils and poultry fat by pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887). Aquac. Nutr. 20, 567–573. https://doi.org/10.1111/anu.12108

Gu, J., Liang, H., Ge, X., Xia, D., Pan, L., Mi, H., Ren, M., 2022. A study of the potential effect of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) substitution for fish meal on growth, immune and antioxidant capacity in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Fish Shellfish Immunol. 120, 214–221. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.024

Guerreiro, I., Castro, C., Antunes, B., Coutinho, F., Rangel, F., Couto, A., Serra, C.R., Peres, H., Pousão-Ferreira, P., Matos, E., Gasco, L., Gai, F., Corraze, G., Oliva-Teles, A., Enes, P., 2020. Catching black soldier fly for meagre: Growth, whole-body fatty acid profile and metabolic responses. Aquaculture 516, 734613. ttps://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734613

Gullan, P. J.; Cranston, P. S. 2017. Insetos: fundamentos da entomologia. ROCA, 5 ed., Rio Janeiro, p.912.

Hardy, R.W., 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquac. Res. 41, 770–776. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x

Henry, M.A., Gai, F., Enes, P., Peréz-Jiménez, A., Gasco, L., 2018. Effect of partial dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae meal on the innate immune response and intestinal antioxidant enzymes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish Shellfish Immunol. 83, 308–313. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.040

Hossain, M.S., Fawole, F.J., Labh, S.N., Small, B.C., Overturf, K., Kumar, V., 2021. Insect meal inclusion as a novel feed ingredient in soy-based diets improves performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 544, 737096. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737096

https://www.fisheriesjournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartC/6-1-35-823.pdf

Hua, K., 2021. A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. Aquaculture 530, 735732. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735732

Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K., Strugnell, J.M., 2019. The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets. One Earth 1, 316–329. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018

Iaconisi, V., Marono, S., Parisi, G., Gasco, L., Genovese, L., Maricchiolo, G., Bovera, F., Piccolo, G., 2017. Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality treats of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). Aquaculture 476, 49–58. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.007

Ido, A., Iwai, T., Ito, K. et al. 2015. Dietary effects of housefly (*Musca domestica*) (Diptera: Muscidae) pupae on the growth performance and the resistance against bacterial pathogen in red sea bream (*Pagrus major*) (Perciformes: Sparidae). Appl Entomol Zool 50, 213–221 https://doi.org/10.1007/s13355-015-0325-z

Jabir, M.D.A.R., Razak, S.A., Vikineswary, S., 2012. Chemical composition and nutrient digestibility of super worm meal in red tilapia juvenile. Pak. Vet. J. 32, 489–493.

Jeong, S.M., Khosravi, S., Yoon, K.Y., Kim, K.W., Lee, B.J., Hur, S.W., Lee, S.M., 2021. Mealworm, *Tenebrio molitor*, as a feed ingredient for juvenile olive flounder*, Paralichthys olivaceus*. Aquac. Reports 20, 100747. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100747

Jiang, B., Sun, Y., Li, W., Liu, C., Wen, C., Li, A., Huang, Y., Su, Y., 2022. Effects of dietary black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) on the disease resistance of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*). Fish Shellfish Immunol. 123, 136–141. https://doi.org/10.1016/J.FSI.2022.02.046

Jomori, R.K., Carneiro, D.J., Malheiros, E.B., Portella, M.C., 2003. Growth and survival of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) juveniles reared in ponds or at different initial larviculture periods indoors. Aquaculture 221, 277–287. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00069-3

Kamarudin, M.S., Rosle, S., Yasin, I.S., 2021. Performance of defatted black soldier fly pre-pupae meal as fishmeal replacement in the diet of lemon fin barb hybrid fingerlings. Aquac. Reports 21, 100775. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100775

Khan, S., Naz, S., Sultan, A., Alhidary, I.A., Abdelrahman, M.M., Khan, R.U., Khan, N.A., Khan, M.A., Ahmad, S., 2016. Worm meal: A potential source of alternative protein in poultry feed. Worlds. Poult. Sci. J. 72, 93–102. https://doi.org/10.1017/S0043933915002627

Khieokhajonkhet, A., Uanlam, P., Ruttarattanamongkol, K., 2022. Replacement of fish meal by black soldier fly larvae meal in diet for goldfish *Carassius auratus* : Growth performance , hematology , histology , total carotenoids , and coloration. Aquaculture 561, 738618. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738618

Kierończyk, B., Rawski, M., Mikołajczak, Z., Homska, N., Jankowski, J., Ognik, K., Józefiak, A., Mazurkiewicz, J., Józefiak, D., 2022. Available for millions of years but discovered through the last decade: Insects as a source of nutrients and energy in animal diets. Anim. Nutr. https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2022.06.015

Kishawy, A.T.Y., Mohammed, H.A., Zaglool, A.W., Attia, M.S., Hassan, F.A.M., Roushdy, E.M., Ahmed, T., Ibrahim, D., 2022. Partial defatted black solider larvae meal as a promising strategy to replace fish meal protein in diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Performance , expression of protein and fat transporters , and cytokines related genes and economic efficie. Aquaculture 555, 738195. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738195

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, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., Yu, H., 2017. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. Aquaculture 477, 62–70. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.015

Li, Y., Kortner, T.M., Chikwati, E.M., Belghit, I., Lock, E.J., Krogdahl, Å., 2020. Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 520, 734967. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734967

Lira, J.A., 2015. Avaliação da farinha de tenébrio (*Tenebrio molitor*) na alimentação de juvenis de tambaqui. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Nilton Lins e Instituto de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil.

Longvah, T., Mangthya, K., Ramulu, P., 2011. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. Food Chem. J. 128, 400–403. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.041

López, A.S., 2015. Potential of pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute: effect on growth performance and digestibility in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Master Thesis, Universidade Politécnica de Valência, Valência, Espanha.

Lu, R., Chen, Y., Yu, W., Lin, M., Yang, G., Qin, C., Meng, X., Zhang, Y., Ji, H., Nie, G., 2020. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can replace soybean meal in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) diets. Aquac. Reports 18. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100520

Lucas, A.J.S.; Prentice, C. 2021. Indústria baseada em insetos: status atual, mercado e legislação. In: Lucas, A.J.S. (Ed.) Insetos na alimentação animal: um panorama geral, Ed da FURG, Rio Grande, RS, pp 120-137.

Magalhães, R., Sánchez-López, A., Leal, R.S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A., Peres, H., 2017. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture 476, 79–85. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.021

Makkar, Harinder P S, Tran, G., Heuzé, V., Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed ☪. Anim. Feed Sci. Technol. 197, 1–33. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008

Mancini, S., Medina, I., Iaconisi, V., Gai, F., Basto, A., Parisi, G., 2018. Impact of black soldier fl y larvae meal on the chemical and nutritional characteristics of rainbow trout fillets. Animal 12, 1672–1681. https://doi.org/10.1017/S1751731117003421

Mancuso, T., Pippinato, L., Gasco, L., 2019. The european insects sector and its role in the provision of green proteins in feed supply Quality - Access to Success, 20 (S2), 374-381.

Mastoraki, M., Mollá Ferrándiz, P., Vardali, S.C., Kontodimas, D.C., Kotzamanis, Y.P., Gasco, L., Chatzifotis, S., Antonopoulou, E., 2020. A comparative study on the effect of fish meal substitution with three different insect meals on growth, body

composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Aquaculture 528, 735511. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735511

Medrado, M.L.R., Assis, S.D., Oliveira, G., Santos, R.R., Chagas, G.M., Leandro, N.S.M., 2018. Composição quimica de farinhas de diferentes espécies de insetos como ingrediente para ração animal, In: Anais do 28º Congresso Brasileiro de Zootecnia, Goiânia, GO, Brasil.

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, G.; Almeida, L.C., 2014. Nutrição e Aspectos Funcionais da Digestão de Peixes. In: Baldisserotto, B.; Cyrino, J.E.P; Urbinati, E.C. (Eds), Biologia e Fisiologia de Peixes Neotropicais de Água Doce, Funep, Jaboticabal, SP, pp 233-252.

Moutinho, S., Pedrosa, R., Magalhães, R., Oliva-Teles, A., Parisi, G., Peres, H., 2020. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae larvae meal in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: Effects on liver oxidative status and fillet quality traits during shelf-life. Aquaculture 736080. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736080

Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H., Bush, S.R., Cao, L., Klinger, D.H., Little, D.C., Lubchenco, J., Shumway, S.E., Troell, M., 2021. A 20-year retrospective review of global aquaculture. Nature 591, 551–563. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6

Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, A., 2018. Insect meals in fish nutrition. Rev. Aquac. 11, 1080–1103. https://doi.org/10.1111/raq.12281

NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press, Washington, DC, USA, 376 p. (ISBN: 978-0-309-16338-5).

Ogunji, J.O., Pagel, T., Fisheries, I., Schulz, C., Kloas, W., Fisheries, I., 2009. Apparent Digestibility Coefficient of Housefly Maggot Meal (magmeal) for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and Carp ((*Cyprinus carpio).* Asian Fish. Sci. 22, 1095–1105. https://doi.org/10.33997/j.afs.2009.22.4.004

Oliveira, F.G. 2021. Como utilizar insetos para rações e alimentos para animais? In: Lucas, A.J.S. (Ed.) Insetos na alimentação animal: um panorama geral, Ed da FURG, Rio Grande, RS, pp 120-143.

Olsen, R.L., Hasan, M.R., 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. Trends Food Sci. Technol. 27, 120–128. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003

Ordoñez, B.M., Santana, T.M., Carneiro, D.P., dos Santos, D.K.M., Parra, G.A.P., Moreno, L.C.C., Teixeira Filho, N.P., Aguilar, F.A.A., Yamamoto, F.Y., Gonçalves, L.U., 2022. Whole Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) as Dietary Replacement of Extruded Feed for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Juveniles. Aquac. J. 2, 246–256. https://doi.org/10.3390/aquacj2040014

Ozório, R., Turini, B., Môro, G., Oliveira, L., Portz, L., Cyrino, J. 2010, Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. Aquaculture Nutrition, 16: 276-283. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00662.x

Panini, R.L., Freitas, L.E.L., Guimarães, A.M., Rios, C., da Silva, M.F.O., Vieira, F.N., Fracalossi, D.M., Samuels, R.I., Prudêncio, E.S., Silva, C.P., Amboni, R.D.M.C.,

2017. Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: Digestibility and performance. Aquaculture 473, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.008

Pastore, S.C.G.; Gaiotto, J.R.; Ribeiro, F.A.S.; Nunes, A.J.P. 2013.Formulação de Rações e Boas Práticas de Fabricação. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P. (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 295-345.

Peixe BR, 2022. Anuário 2022 Peixe BR da Piscicultura. Peixe BR, São Paulo, SP, Brasil.

Petrere Jr., M. , 1989. River fisheries in Brazil: a review. Regulated Rivers: Research and Management, V. 4, p. 1-16.

Pisa, J.L. 2021. Insetos na alimentação animal. B. Apamvet,12(3), 10-12.

Polakof, S., Panserat, S., Soengas, J.L., Moon, T.W., 2012. Glucose metabolism in fish: a review. J. Comp. Physiol. B 182, 1015–1045. https://doi.org/10.1007/s00360-012-0658-7

Ramos-Elorduy, J., Gonzalez, E.A., Hernandez, A.R., Pino, J.M., 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. Journal of Economic Entomology, 95, 214–220.https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214

Ramos-Elorduy, J., Manuel, J., Moreno, P., Prado, E.E., Perez, M.A., Otero, J.L., Guevara, O.L. De, 1997. Nutritional Value of Edible Insects from the State of Oaxaca , Mexico. J. FOOD Compos. Anal. 10, 142–157. https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jfca.1997.0530

Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M.T., Biasato, I., Biasibetti, E., De Marco, M., Brugiapaglia, A., Zoccarato, I., Gasco, L., 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. J. Anim. Sci. Biotechnol. 8, 1–13. https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3

Rios, C. 2022. Efeito da dieta à base de inseto (*Nauphoeta cinerea*) no crescimento, sistema imune, atividade enzimática, capacidade antioxidante e microbiota em *Litopenaeus vannamei*. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Bioquímica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Rumpold, B.A., Schlüter, O.K., 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Mol. Nutr. Food Res. 57, 802–823. https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735

Saint-Paul, U. 1986, Potential for aquaculture of South American freshwater fishes: A review. Aquaculture, 54 (3), pp. 205-240.

Sánchez-Muros, M.J., Barroso, F.G., Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. J. Clean. Prod. 65, 16–27. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068

Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y.O., Lee, S.M., 2018. Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) juveniles. Aquaculture 496, 79–87. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.012

Santos, D.K.M. dos, Santana, T.M., Dantas, F. de M., Farias, A.B. de S., Epifânio, C.M.F., Prestes, A.G., Fonseca, F.A.L. da, Parisi, G., Viegas, E.M.M., Gonçalves, L.U., 2022. Defatted black soldier fly larvae meal as a dietary ingredient for tambaqui

(*Colossoma macropomum*): Digestibility , growth performance , haematological parameters , and carcass composition. Aquac. Res. 53, 6762–6770. https://doi.org/10.1111/are.16143

Silva, A.J., 1985. Aspectos de alimentação do pacu adulto, *Colossoma mitrei* (Berg, 1985) (Pisces, Characidae), no Pantanal de Mato Grosso. Dissertação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Silva, R.F., Filho, O.P.R., Navarro, R.D., Teixeira, R.B., Freitas, S.G., Pereira, M.M., Valente, E.E.L., Santos, L.C., 2009. Larva de mosca doméstica como alternativa na alimentação de lambari bocarra (*Oligusarcus argenteus*). Zootec. Trop. 27, 329–334.

Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., Gasco, L., 2019. The Potential Role of Insects as Feed : A Multi-Perspective Review. Animals 9, 119. https://doi.org/10.3390/ani9040119

Song, S.G., Chi, S.Y., Tan, B.P., Liang, G.L., Lu, B.Q., Dong, X.H., Yang, Q.H., Liu, H.Y., Zhang, S., 2018. Effects of fishmeal replacement by *Tenebrio molito*r meal on growth performance, antioxidant enzyme activities and disease resistance of the juvenile pearl gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀). Aquac. Res. 49, 2210–2217. https://doi.org/10.1111/are.13677

Stech, M.R., Carneiro, D.J., De Carvalho, M.R.B., 2010. Fatores antinutricionais e coeficientes de digestibilidade aparente da proteína de produtos de soja para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Acta Sci. - Anim. Sci. 32, 255–262. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i3.5819

Su, J., Gong, Y., Cao, S., Lu, F., Han, D., Liu, H., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., Xie, S., 2017. Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Fish Shellfish Immunol. 69, 59–66. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.08.008

Tacon, A.G.J., Metian, M., 2015. Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. Rev. Fish. Sci. Aquac. 23, 1–10. https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209

Tran, G., Heuzé, V., Makkar, H.P.S., 2015. Insects in fish diets. Anim. Front. 5, 37–44. https://doi.org/10.2527/af.2015-0018

Tubin, J.S.B., 2017. Farinha de insetos na alimentação de tilápias em sistemas bioflocos e recirculação de água. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, SC, Brasil.

Urbinati, E. C.; Gonçalves, F. D. , 2005. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). In: Baldisserotto, B.; Gomes L.C. (Eds), Espécies nativas para piscicultura no Brasil. UFSM, Santa Maria, RS, pp. 225-255.

Valenti, W.C., Barros, H.P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G.W., Cavalli, R.O., 2021. Aquaculture in Brazil: past, present and future. Aquac. Reports 19, 100611. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611

van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annu. Rev. Entomol. 58, 563–583. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704

van Huis, A., 2020. Insects as food and feed , a new emerging agricultural sector : a review Abstract. J. Insects as Food Feed 6, 27–44. https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017

van Huis, A., Itterbeeck, J. Van, Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., Food, 2013. Edible insects. Future prospects for food and feed security, FAO. Rome.

van Huis, A., Oonincx, D.G.A.B. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. Agron. Sustain. Dev. 37, 43. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8

Vargas-Abúndez, A.J., Randazzo, B., Foddai, M., Sanchini, L., Truzzi, C., Giorgini, E., Gasco, L., Olivotto, I., 2019. Insect meal based diets for clown fish : Biometric , histological , spectroscopic , biochemical and molecular implications. Aquaculture 498, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.018

Vasconcelos, G.T. 2019. Uso de insetos na nutrição de peixes. – Jaboticabal, Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil..

Vaz, M.M.; Torquato, V.C.; Barbosa, N.D.C. 2000. Guia ilustrado de peixes da bacia do Rio Grande 1.ed. Belo Horizonte: CEMIG/CETEC, 144 p.

Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Ottevanger, E., Bosch, G., van Boekel, T., 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets : a feasibility study. Wageningen UR Livestock Research. Report 638.

Vidotti, R.M., Carneiro, D.J., Viegas, E.M.M., 2002. Acid and fermented silage characterization and determination of apparent digestibility coefficient of crude protein for pacu *Piaractus mesopotamicus*. J. World Aquac. Soc. 33, 57–62. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00478.x

Viegas, E.M.M. et al. 2008. Farelo de canola em dietas para o pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1987): efeitos sobre o crescimento e a composição corporal. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 60, n. 6, 1502-1510. https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000600029

Weththasinghe, P., Hansen, J., Nøkland, D., Lagos, L., Rawski, M., Øverland, M., 2021. Full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effect on physical pellet quality, nutrient digestibility, nutrient utilization and growth performances. Aquaculture 530, 735785. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735785

Xu, X., Ji, H., Belghit, I., Liland, N.S., Wu, W., Li, X., 2021. Effects of black soldier fly oil rich in n-3 HUFA on growth performance, metabolism and health response of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. specularis). Aquaculture 533, 736144. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736144

Xu, X., Ji, H., Belghit, I., Sun, J., 2020. Black soldier fly larvae as a better lipid source than yellow mealworm or silkworm oils for juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. specularis). Aquaculture 527, 735453. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735453

Zarantoniello, 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. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734659

CAPÍTULO II - DIGESTIBILIDADE APARENTE DE PROTEÍNA E ENERGIA DA FARINHA DE INSETOS POR JUVENIS DE PACU *Piaractus mesopotamicus*

Resumo

Este trabalho teve por objetivo determinar a digestibilidade de proteína e energia das farinhas dos insetos tenébrio comum (*Tenebrio molitor*), barata (*Nauphoeta cinerea*), mosca doméstica (*Musca domestica*) e mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) por juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Uma dieta para juvenis de pacu (28% de PB e 4109 kcal.kg^{-1}) foi utilizada como dieta referência. As dietas teste foram obtidas adicionando 0,5% de óxido de cromo III e substituindo 15% da dieta referência pelas farinhas de larvas de tenébrio comum (Tm), barata cinérea (Nc), larvas de mosca doméstica (Md) e larvas de mosca soldado negra (Hi). Juvenis de pacu (69,5 g ± 7,07) foram alimentados até a saciedade aparente com as dietas referência e teste, duas vezes ao dia, e então transferidos para aquários cilíndrico-cônicos para coleta de fezes por sedimentação (n=3). Os coeficientes de digestibilidade aparente de proteína (CDA-PB) das farinhas de insetos pelos juvenis de pacu não apresentaram diferenças significativas (Tm= 80,6%, Nc= 80,8%, Md= 84,0%, Hi= 84,4%). Houve diferenças significativas para os coeficientes de digestibilidade aparente de energia das farinhas de insetos. A farinha de larvas de tenébrio apresentou o maior coeficiente de digestibilidade de energia (98,4%) em relação às farinhas de barata (Nc= 77,9%), de mosca comum (Md= 78,2%) e de mosca soldado negra (Hi= 65,0%), as quais não diferiram entre elas. As farinhas de insetos apresentaram boa digestibilidade pelos juvenis de pacu, indicando serem possíveis substitutas da farinha de peixe em dietas para esta espécie.

Palavras-chave: Alimento Alternativo, Digestibilidade, Inseto, Nutrição, Sustentabilidade

Introdução

Os alimentos utilizados na produção de peixes baseiam-se principalmente em cereais, sementes oleaginosas e ingredientes de origem marinha (Freccia et al., 2020). Sabe-se que os ingredientes convencionais utilizados para a nutrição animal apresentam grandes oscilações de preços e valores exponencialmente elevados anos após anos, e isso intensifica a busca por ingredientes alternativos mais sustentáveis (Khan et al., 2016). Por conseguinte, as farinhas de insetos surgem como uma importante e inovadora alternativa de ingrediente (FAO, 2020; Freccia et al., 2020).

Os insetos comestíveis são bastante nutritivos, contendo alto teor de proteína, aminoácidos essenciais, lipídios, minerais e vitaminas e sua composição nutricional pode variar de acordo com a espécie, estágio da vida e condições de criação (FAO, 2020; van Huis, 2013). A produção de insetos demanda bem menos recursos naturais (água, energia e área) e emite menos gases do efeito estufa quando comparado a outros alimentos proteicos de origem animal (Costa, 2021). Além destas vantagens, os insetos crescem e se reproduzem facilmente, possuem alta eficiência de conversão alimentar e podem alimentar-se de resíduos orgânicos (FAO, 2020).

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*), encontrado nas Bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai, é um peixe onívoro, que no ambiente natural se alimenta principalmente de folhas, caules, frutos e sementes; mas havendo necessidade e oportunidade, ele se alimenta de insetos, aracnídeos, moluscos e peixes (Urbinati e Gonçalves, 2005). É uma das espécies de peixes nativos mais cultivada pela piscicultura nacional, devido a facilidade na produção de alevinos, aceitação de alimento inerte, fácil adaptação em cativeiro, rápido crescimento, rusticidade, carne com excelente sabor e com alto valor comercial, além de ser bastante procurado para a pesca esportiva (Jomori et al., 2003; Castagnolli e Zuim, 1985).

O pacu tem se destacado por apresentar altos coeficientes de digestibilidade da energia e proteína de vários ingredientes utilizados pelas fábricas de rações (Abimorad e Carneiro, 2004). A determinação da digestibilidade do ingrediente fornece uma estimativa de quanto dos seus nutrientes e energia são digeridos e absorvidos pelo peixe (Glencross et al., 2007), e tem sido amplamente utilizada para avaliar o valor nutricional de ingredientes e rações, uma vez que, um alimento pode apresentar elevado conteúdo de um nutriente, mas apresentar baixa digestibilidade (Gonçalves, 2007). Consequentemente, em função da qualidade das rações formuladas, respostas zootécnicas e relação com o meio ambiente, torna-se cada vez mais necessária a utilização de alimentos proteicos e energéticos de alta digestibilidade.

Desta forma, a fim de possibilitar o uso de insetos nas formulações de rações para um dos principais peixes nativos e, com isto, contribuir no crescimento sustentável da piscicultura brasileira, objetivou-se com este estudo, determinar os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da energia das farinhas dos

insetos tenébrio comum (*Tenebrio molitor*), barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*), mosca doméstica (*Musca domestica*) e mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) para juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*).

Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Centro de Aquicultura da UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil, seguindo os princípios éticos na experimentação animal propostos pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), sendo aprovado sob o protocolo nº 013142/19 pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da FCAV, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

Foram determinados os coeficientes de digestibilidade de quatro insetos (tenébrio comum, barata cinérea, mosca doméstica e mosca soldado negra), usando o método de coleta parcial de fezes, que utiliza o óxido de cromo-III (Cr_2O_3) como indicador inerte, de acordo com a metodologia descrita por Nose (1960).

Dietas experimentais

Foram feitas cinco rações experimentais, sendo uma a referência e as demais compostas pela dieta referência e por cada uma das seguintes farinhas: larvas de tenébrio (Tm), barata cinérea (Nc), larvas de mosca doméstica (Md) e larvas de mosca soldado negra (Hi).

As larvas desidratadas de mosca soldado negra foram produzidas e doadas pela empresa brasileira BSF Nutrição e Biotecnologia Ltda, Piracicaba, SP. A farinha de larvas de tenébrio comum foi produzida e doada pelo Laboratório de Entomocultura do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG.A farinha de barata cinérea foi adquirida da biofábrica Insetos Brasil, Recife, PE. As larvas de mosca doméstica foram adquiridas do Ranário Mandala, Magé, RJ. As farinhas foram processadas e analisadas em duplicata, conforme metodologia descrita no subitem “análises” (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química analisada das farinhas de insetos (base na matéria seca).

Composição	Farinha de tenébrio comum	Farinha de barata cinérea	Farinha de mosca doméstica	Farinha de mosca soldado negra
Matéria seca (%)	91,35	95,23	95,90	94,32
Umidade (%)	8,65	4,77	4,10	5,68
Proteína bruta (%)	54,99	50,96	51,29	44,15
Extrato etéreo (%)	28,05	35,70	19,21	37,82
Matéria mineral (%)	3,55	2,89	10,72	9,68
Energia bruta (kcal/kg)	6540,5	6735,1	5576,2	6406,9

Uma dieta referência para o pacu foi formulada com auxílio do software SuperCrac 6.1 Premium, utilizando-se alimentos convencionais previamente analisados e adotando-se exigências nutricionais para juvenis desta espécie (Abimorad et al., 2010, 2008; Abimorad e Carneiro, 2004; Boaratti, 2018; Fernandes et al., 2001; Fernandes et al., 2000). A ração referência foi constituída por 99,5% da dieta referência e 0,5% do indicador óxido de cromo (Cr_2O_3); já as rações-teste por 84,5% da dieta referência, 15% do ingrediente testado (farinha de inseto) e 0,5% de indicador (Tabela 2).

As rações experimentais foram processadas na Fábrica de Rações da FCAV/ UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. Os ingredientes foram finamente moídos utilizando-se um moinho centrífugo simples (Modelo MCS 280, Moinhos Viera, Tatuí, Brasil) equipado com uma peneira de 0,5 mm (diâmetro de furo). Depois foram homogeneizados em misturador “Y” com capacidade de 30 kg. Em seguida, usando-se extrusora de eixo simples (Modelo Ex Micro, Exteec, Ribeirão Preto, SP, Brasil) com capacidade média de extrusão de 20 kg h^{-1}, as rações foram extrusadas, obtendo-se granulometria de 4mm. A temperatura da extrusora foi mantida acima de 90 °C. Após o processamento, as dietas foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 55 °C durante 24 horas. Posteriormente, armazenadas em câmara fria (-15ºC) até a utilização.

Tabela 2. Formulação e composição das dietas experimentais.

	Dieta Ref.	Dieta Tm	Dieta Nc	Dieta Md	Dieta Hi
Ingredientes (%)					
Farelo de soja	29,35	24,93	24,93	24,93	24,93
Farinha de peixe	10,45	8,87	8,87	8,87	8,87
Farinha de tenébrio comum	-	15,00	-	-	-
Farinha de barata cinérea	-	-	15,00	-	-
Farinha de mosca doméstica	-	-	-	15,00	-
Farinha de mosca soldado negra	-	-	-	-	15,00
Milho	36,82	31,27	31,27	31,27	31,27
Farelo de trigo	11,94	10,14	10,14	10,14	10,14
Quirera de arroz	8,69	7,38	7,38	7,38	7,38
Calcário	0,85	0,72	0,72	0,72	0,72
L-Lisina	0,57	0,48	0,48	0,48	0,48
Suplemento mineral e vitamínico [1]	0,50	0,42	0,42	0,42	0,42
Antifúngico	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25
Antioxidante (BHT)	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
Óxido de Cromo	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Total	100	100	100	100	100
Composição²					
Matéria seca (%)	92,87	92,07	94,62	93,41	94,95
Umidade (%)	7,13	7,93	5,38	6,59	5,05
Proteína bruta (%)	29,98	28,32	36,81	35,65	35,09
Extrato etéreo (%)	3,73	7,36	8,51	6,03	8,61
Matéria mineral (%)	6,66	6,12	6,04	7,17	7,08
Energia bruta (kcal/kg)	4424,28	4833,48	4880,59	4662,23	4800,31

Dieta ref: Dieta Referência; Dieta Tm: dieta referência + farinha de larvas de tenébrio; Dieta Nc: dieta referência + farinha de barata; Dieta Md: dieta referência + farinha de larvas de mosca doméstica; Dieta Hi: dieta referência + farinha de larvas de mosca soldado negra.

[1] Suplemento vitamínico e mineral: ácido fólico (1.250 mg); pantotenato de cálcio (1.200 mg); cobre (2.500 mg); ferro (15 g); iodo (375 mg;) manganês (12,5 g); selênio (87,5 mg); zinco (12,5 mg); cobalto (125 mg); Vit A (2.500 U I); Vit B12 (4000 mg); Tiamina B1 (4000 mg); Riboflavina B2 (4000 mg); Piridoxina B6 (4000 mg); Vit C (50.000 mg); Vit D3 (600.000 UI); Vit E (37.500); Vit K3 (3.750 mg); niacina (122.500 mg); biotina (15 mg).

[2] Valores com base na matéria seca.

Condições experimentais

O experimento foi conduzido no Laboratório de Modelagem em Nutrição de Peixes do Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. Num sistema fechado de recirculação de água, provido de filtragem mecânica e biológica,

aeração constante e temperatura controlada por trocador de calor, foram utilizadas quinze caixas de polietileno (200 L) para a alimentação e alojamento dos animais e oito aquários de fibra de vidro (80 L) para a coleta de fezes.

O experimento ocorreu em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos (Tm - farinha de larvas de tenébrio; Nc - farinha de barata cinérea; Md – farinha de larvas de mosca doméstica; Hi – farinha de larvas de mosca soldado negra), três repetições e quinze peixes por repetição.

Os juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) foram obtidos do Centro de Aquicultura do Caunesp, aclimatados e alimentados duas vezes por dia com a dieta referência por 40 dias.

Após aclimatação, duzentos e vinte e cinco juvenis de pacu, com peso médio de 69,5 g ± 7,07, foram sedados utilizando-se uma solução de 60mg L^{-1} Benzocaína e distribuídos em quinze caixas de polietileno de 200 L (caixas de alimentação).

As dietas experimentais foram fornecidas aos pacus até a saciedade aparente duas vezes ao dia (8h30min; 17h30min). A partir do oitavo dia de alimentação, duas horas após a primeira refeição, os pacus eram transferidos para os aquários de coleta de fezes (80 L). As fezes eram coletadas em intervalos de 30 minutos para evitar a lixiviação de nutrientes, sendo agrupadas por tanque e armazenadas imediatamente em freezer. Uma hora antes da segunda refeição do dia, os peixes retornavam às caixas de alimentação (200 L). A fim de completar a quantidade de fezes necessária para as análises da mesma unidade experimental, este procedimento de coleta foi realizado por até 10 dias, com intervalos de um dia.

Para a coleta de fezes, foi utilizado o sistema de Guelph modificado, que consiste em aquários cilíndricos de fundo cônico (80L), contendo um tubo de Falcon acoplado por uma conexão de mangueira em sua extremidade inferior, onde, após a decantação das fezes dos peixes, um registro de esfera localizado acima do tubo de Falcon era fechado, permitindo que o tubo fosse retirado e que as fezes fossem vertidas em placas de petri identificadas.

Para a manutenção da qualidade da água, diariamente ocorria a limpeza do filtro mecânico e a sifonagem das caixas de alimentação. Ao final do dia, era realizada a limpeza e a troca de água total dos aquários de coleta de fezes. Os parâmetros de qualidade da água dos aquários experimentais foram monitorados

ao longo do experimento. A temperatura da água (28,21 ºC ± 0,38) foi mensurada diariamente com termômetro de mercúrio. O oxigênio dissolvido (4,81 ± 0,74) e o pH (7,78 ± 0,21) foram analisados semanalmente com oxímetro digital (modelo YSI EcoSense DO200A) e pHmetro (modelo YSI EcoSense pH100A), respectivamente. Os parâmetros físico-químicos da água mantiveram-se dentro dos níveis adequados para criação de peixes (Sipaúba-Tavares, 1994; Sipaúba-Tavares; Santeiro, 2013).

Análises

Após o término das coletas, as amostras de fezes foram liofilizadas por 4 dias no Laboratório de Nutrição Animal da FCAV/ UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. Em seguida, as fezes (correspondentes a uma mesma unidade experimental) foram homogeneizadas e identificadas. Para a realização das análises, as amostras de farinhas de insetos, ingredientes, dietas experimentais e fezes foram previamente moídas em moinho de bola. Todas as análises foram realizadas em duplicata.

As análises químicas (matéria seca, proteína bruta, lipídios e cinzas) foram realizadas de acordo com a *Association of Official Agricultural Chemists* - AOAC (2012). O teor de matéria seca (MS) foi determinado submetendo-se as amostras à secagem em estufa a 105 ºC até peso constante. O teor de proteína bruta (PB) foi calculado pela obtenção do conteúdo de nitrogênio total, determinado pelo método de Kjeldahl e multiplicado pelo fator 6,25. As cinzas foram obtidas por combustão a 600 ºC. A energia bruta (EB) foi medida em bomba calorimétrica. As análises de matéria seca, proteína bruta, cinzas e energia foram realizadas no Laboratório de Bromatologia do Laboratório de Avicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP - Lavinesp, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. O teor de gordura das farinhas de insetos foi determinado gravimetricamente após a extração com éter de petróleo pelo método de Soxhlet no Laboratório de Nutrição Animal da FCAV/ UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. As análises de lipídios das rações foram realizadas pelo método de hidrólise ácida no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal, SP, Brasil.

As concentrações de óxido de cromo das fezes e das rações foram determinadas por digestão nitro-perclórica no Laboratório de Nutrição Animal da FCAV/ UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, de acordo com a metodologia descrita por Furukawa e Tsukahara (1966). Após a realização da análise quantitativa do óxido de cromo (Cr_2O_3) e dos nutrientes nas dietas experimentais e nas fezes, os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) das rações foram calculados por meio da seguinte equação descrita por Nose (1960):

$$CDA\ (\%) = 100 - [100\ x\ (\frac{\%\ indicador\ na\ dieta}{\%\ indicador\ nas\ fezes})\ x\ (\frac{\%\ nutriente\ ou\ energia\ nas\ fezes}{\%\ nutriente\ ou\ energia\ na\ dieta})] \quad \text{(Equação 1)}$$

Os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes das farinhas de insetos foram estimados indiretamente com base nos CDA das dietas experimentais, de acordo com a fórmula descrita por Bureau e Hua (2006):

$$CDAi\ (\%) = CDAdt + [(CDAdt - CDAref) \times (\frac{r \times Nref}{i \times Ni})] \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

CDAi é o coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente no ingrediente teste; CDAdt é o coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente na dieta teste; CDAref é o coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente na dieta referência; r é a proporção da dieta referência na dieta teste; i é a proporção do ingrediente teste na dieta teste; Nref é a concentração do nutriente na dieta referência; Ni é a concentração do nutriente no ingrediente.

Análise estatística

Os resultados foram analisados com o auxílio do programa estatístico R (R versão 3.6.3), quanto à normalidade dos erros (Cramer Von Mises), homocedasticidade (Box Cox) e análise de variância (ANOVA). Quando apresentou significância estatística, foi aplicado o teste de Tukey, em nível de 5% de significância, para comparação das médias dos coeficientes de digestibilidade da proteína e da energia das farinhas de insetos.

Resultados

As farinhas de insetos testadas possuem composição nutricional com elevados teores de gordura, energia e proteína bruta, em relação ao teor de cinzas,

as larvas das duas espécies de mosca apresentaram níveis mais altos (Tabelas 1 e 3).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os coeficientes de digestibilidade da proteína das farinhas de insetos pelos juvenis de pacu, mas houve diferenças significativas para os coeficientes de digestibilidade aparente de energia (tabela 3). Para digestibilidade da energia, a farinha de larva de tenébrio apresentou o maior coeficiente (98,40 ± 0,8%) pelos juvenis de pacu, enquanto as farinhas de barata cinérea (77,92 ± 9,5%), de larvas de mosca comum (78,22 ± 3,8%) e de larvas de mosca soldado negra (65,03 ± 7,4%) valores menores que não diferiram entre si.

Tabela 3. Valores médios para a digestibilidade da proteína e da energia de farinhas de insetos (*T. molitor, N. cinerea, M. domestica* e *H. illucens*) por juvenis de pacu (*P. mesopotamicus*) (valores com base na matéria seca).

	Proteína			Energia		
Farinha	**PB (%)**	**CDA (%)***	**PD (%)***	**EB (Kcal/kg)**	**CDA (%)***	**ED (kcal/kg)***
T. molitor	54,99	80,60 ± 5,9	44,32 ± 3,2 [a]	6540,6	98,40 ± 0,8 [a]	6435,96 ± 49,0 [a]
N. cinerea	50,96	80,81 ± 4,1	41,18 ± 2,1 [ab]	6735,1	77,92 ± 9,5 [b]	5247,75 ± 639,5 [b]
M. domestica	51,29	84,02 ± 2,9	43,10 ± 1,5 [a]	5576,2	78,22 ± 3,8 [b]	4361,85 ± 210,0 [b]
H. illucens	44,15	84,44 ± 1,6	37,28 ± 0,7 [b]	6406,9	65,03 ± 7,4 [b]	4166,42 ± 474,6 [b]
P		0,5316	0,0161 *		0,0030**	0,0011**
C.V.		4,82	5,08		7,57	7,85

*Médias (n=3) ± desvio padrão seguidas por diferentes letras, na mesma coluna, indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Os maiores valores digestíveis para proteína foram encontrados nas farinhas de larvas de tenébrio (44%) e de mosca comum (43%). A farinha de tenébrio apresentou o maior valor para energia digestível (6436 kcal/kg) quando comparada às demais farinhas de insetos.

Discussão

Para que um alimento seja considerado promissor, um dos fatores a ser observado é sua composição de nutrientes e energia. Contudo, o valor nutritivo de um alimento depende de seu conteúdo em nutrientes e da capacidade do animal em ingeri-los e absorvê-los. A digestibilidade é uma medida essencial empregada na avaliação da disponibilidade de nutrientes e da qualidade dos ingredientes para rações espécies específicas e, consequentemente, na formulação de dietas

balanceadas. Este processo varia em função da espécie, das condições ambientais, quantidade e qualidade do nutriente, proporção relativa entre os nutrientes e dos processos tecnológicos a que os alimentos tenham sido submetidos.

Este estudo avaliou a digestibilidade de quatro farinhas de insetos em juvenis de pacu. Trabalhos sobre digestibilidade das farinhas de insetos são escassos. No entanto, na literatura encontram-se algumas pesquisas sobre digestibilidade, a maioria com diferentes níveis de substituição da farinha de peixe pelas farinhas de larvas de tenébrio comum e de mosca soldado negra. Além disso, a comparação entre os estudos é complicada em função das composições variáveis de nutrientes de farinhas de insetos usadas nos diferentes estudos, espécies de peixes e condições experimentais.

Os insetos são o grupo de animais mais diverso do mundo e têm uma composição altamente variável (Basto et al., 2020). Assim como outros animais, são boas fontes de proteínas, lipídios, vitaminas e minerais, mas as quantidades desses nutrientes variam de acordo com o grupo taxonômico, a dieta e o estágio do animal. Devido a estes fatores, são encontrados na literatura valores entre 8,3% e 59,8% para proteína bruta (PB) e 16,6% e 40,3% para extrato etéreo (EE) em larvas de *Tenebrio molitor;* de 30,7% a 58,8% PB e de 11,3% a 40,7% EE em *Hermetia illucens;* de 28,6% a 70,4% PB e de 7,1% a 25,3% EE em *Musca domestica* (Basto et al., 2020; Nogales-Mérida et al., 2018). Os valores encontrados para a composição centesimal das farinhas dos insetos corroboram com os estudos descritos na literatura. As farinhas apresentaram elevados teores de proteína bruta, gordura e energia (tenébrio 55% PB, 28% EE, 6540,6 Kcal/kg; barata cinérea 51% PB, 36% EE, 6735 Kcal/kg; mosca doméstica 51% PB, 19% EE, 5576Kcal/kg; mosca soldado negra 44% PB, 38% EE, 6406 Kcal/kg).

Os CDA de proteína e energia das farinhas de insetos foram de moderado a alto, tais resultados sugerem que as farinhas testadas foram bem digeridas pelos juvenis de pacu. Os coeficientes obtidos com as farinhas de insetos foram semelhantes aos determinados com ingredientes convencionais para o pacu em estudos de digestibilidade realizados por Abimorad e Carneiro (2004) e Abimorad et al. (2008), a farinha de peixe apresentou coeficientes de digestibilidade da proteína entre 84,6% e 88,4% e da energia entre 74,5% e 78,1%; o farelo de soja,

86,1% para proteína e 70,9% para a energia; a farinha de carne e ossos 88,6% para proteína e 84% para energia; a farinha de vísceras 83,4% para proteína e 70% para energia; a farinha de penas, 75,7% para proteína e 79,5% para energia e; a farinha de sangue, 57,7% para proteína e 67,4 % para energia.

Logo, percebe-se que o pacu digere igualmente bem as farinhas de insetos e os ingredientes convencionais. O pacu se destaca por apresentar altos coeficientes de digestibilidade de energia e proteína para diversos ingredientes utilizados nas fábricas de rações (Abimorad e Carneiro, 2004), isto está relacionado principalmente com as vantagens morfológicas e histológicas de seu sistema digestivo (Abimorad et al., 2008). Provavelmente, a eficiência do aproveitamento das farinhas de insetos e de outros ingredientes testados para o pacu deva-se à plasticidade que esta espécie possui (Bicudo et al., 2013). Tal característica é mais frequente em espécies de hábito alimentar onívoro, como o pacu, que consomem dietas com características e composição química muito variáveis (Gonçalves et al., 2013).

A qualidade da proteína dos ingredientes é um dos fatores mais importante para o desempenho e a eficiência alimentar dos peixes, e reflete a capacidade da espécie em digerir a proteína de (Basto et al., 2020; Mo et al., 2019; NRC, 2011). Assim, a determinação da biodisponibilidade da proteína é de suma importância para a busca de ingredientes específicos. Em todas as farinhas de insetos testadas, tenébrio (80,60 ± 5,9%), barata (80,81 ± 4,1%), mosca doméstica (84,02 ± 2,9%) e mosca soldado negra (84,44 ± 1,6%), os CDA-PB foram altos, demonstrando o potencial destes ingredientes nas dietas de pacu.

Assim como em nosso estudo, a farinha de mosca soldado (90,1 %) teve uma digestibilidade semelhante à farinha de peixe para o bagre africano *Clarias gariepinus* (Elesho et al., 2021), tornando-a um substituto potencial para esta fonte proteica. Contrariamente, a farinha de tenébrio gigante (*Zophobas morio*) (50,5%) apresentou menor coeficiente de digestibilidade de proteína do que a farinha de peixe (77,5%) em juvenis de tilápia vermelha (Jabir et a., 2012).

A digestibilidade da proteína pelo pacu foi semelhante em todas as farinhas de insetos, o mesmo não ocorreu para outras espécies. Em juvenis de robalo europeu, a digestibilidade da proteína da farinha de larvas de tenébrio comum e

da farinha de mosca soldado negra foram 89% e 76%, respectivamente (Basto et al., 2020). Em alevinos de tilápias, o CDA proteico da farinha de *T. molitor* para pacu (85,4%) foi maior do que o obtido com a farinha de *N. cinerea* (69,6%) (Fontes et al., 2019). Ao compararmos os coeficientes obtidos por este autor com a farinha de barata cinérea, percebemos que o pacu possui melhor aproveitamento desta farinha do que a tilápia. Segundo Nogales-Mérida et al. (2018), a farinha de *H. Illucens* obteve maiores coeficientes de digestibilidade de proteína (81 a 97%) do que os obtidos com a farinha de *T. Molitor* (79 a 92%). Em relação à farinha de larvas de mosca doméstica, assim como os pacus, as carpas *Cyprinus carpio* (CDA proteína: 84,9%) são mais eficientes em utilizá-la do que as tilápias do Nilo (CDA proteína: 57,7%) (Ogunji et al., 2009). A farinha de larvas de mosca soldado negra desengordurada apresentou coeficiente de digestibilidade aparente de 85% de proteína para truta arco-íris (Dumas et al., 2018). O tambaqui apresentou CDA de 86% para proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra desengordurada (Santos et al., 2022). Os coeficientes de digestibilidade da proteína das farinhas de insetos para os juvenis de pacu foram similares ou maiores aos encontrados nestes estudos. Portanto, nossos resultados demonstraram que os juvenis de pacu digerem de forma eficiente a proteína das farinhas de insetos testadas.

Constata-se que a digestibilidade de proteína em insetos é bastante variável entre as espécies de peixes, visto que a farinha de insetos contém componentes de difícil digestão, como a quitina. A digestibilidade da proteína pode depender de quanto dos aminoácidos essenciais estão ligados à quitina ou escleroproteína, os quais podem interferir na digestão e na absorção de nutrientes pelos peixes. (Diener et al., 2009; Dumas et al., 2018; Kroeckel et al., 2012). Todavia, as proteínas e aminoácidos podem ser aproveitados pelos peixes através da atividade quitinolítica de enzimas como a quitinase e a quitobiase, que estão presentes no trato gastrointestinal de muitas espécies de peixes que possuem dietas contendo camarões, caranguejos, lagostins e insetos (Nogales-Mérida et al., 2018).

Porém trabalhos com o tambaqui e a tilápia do Nilo apresentaram digestibilidade para a quitina, sugerindo considerável atividade da enzima quitinase (Santos et al., 2022; Fontes et al., 2019). Provavelmente, o pacu também possui atividade da quitinase, pois a digestibilidade de proteína e energia foram altas em todas as farinhas de insetos.

A farinha de larva de tenébrio apresentou o maior coeficiente de digestibilidade de energia (98,40 ± 0,8%) pelos juvenis de pacu, enquanto as farinhas de barata cinérea (77,92 ± 9,5%), de larvas de mosca comum (78,22 ± 3,8%) e de larvas de mosca soldado negra (65,03 ± 7,4%) valores menores.

Essa variação provavelmente ocorreu devido aos diferentes teores de lipídios e de composições de ácidos graxos das farinhas de insetos. A quantidade de lipídios e de ácidos graxos na dieta pode afetar a digestibilidade destes nutrientes e da energia (Panini et al., 2017). A espécie de inseto, estágio de desenvolvimento, condições de criação e alimentação afetam a quantidade e o perfil de ácidos graxos, bem como o teor de gordura (Nogales-Mérida et al., 2019). No presente estudo foram testados diferentes insetos, a maioria no estágio de larva (mosca doméstica, tenébrio e mosca soldado negra), com exceção da barata, que foi testada na fase adulta, além disso, os animais receberam diferentes protocolos de alimentação durante sua criação.

De acordo com revisão feita por Nogales-Mérida et al. (2018), as farinhas de insetos apresentam maiores valores de digestibilidade lipídica do que os valores de digestibilidade proteica, com a farinha de tenébrio comum apresentando maiores valores de digestibilidade (82% a 97%). Apesar de não ter sido realizada digestibilidade lipídica em nosso estudo, a farinha de tenébrio pode ter apresentado alta digestibilidade deste nutriente, refletindo, possivelmente, na maior digestibilidade de energia (98,40 ± 0,8%) obtida entre as farinhas de insetos.

Em tilápia do Nilo, também foi encontrado CDA mais alto de energia para a farinha de tenébrio (82%) do que para outras farinhas de insetos, inclusive para *Nauphoeta cinérea* (58%) (Fontes et al., 2019). Assim como em juvenis de robalo europeu, a digestibilidade da energia da farinha de larvas de tenébrio comum (79%) foi mais alta quando comparada à farinha de mosca soldado negra (67%) (Basto et al., 2020).

O CDA de energia da farinha de larvas de mosca doméstica nas carpas *Cyprinus carpio* (74,9%) foi maior do que nas tilápias do Nilo (58,1%) (Ogunji et al., 2009), confirmando que as espécies digerem de forma diferente a mesma farinha.

Kroeckel et al. (2012), através do método de dissecação do intestino e utilizando uma dieta com 30% do ingrediente teste, obtiveram 63,1% e 54,5% de

coeficiente de digestibilidade aparente de proteína e de energia da farinha de larvas de mosca soldado negra, respectivamente, em turbot (*Psetta máxima*), atribuindo a baixa digestibilidade à quitina presente na dieta teste. No presente estudo, foram obtidos maiores valores de CDA para proteína e energia para esta farinha, inferimos que seja devido, principalmente, a menor inclusão do ingrediente teste (15%) e, consequentemente, menor teor de quitina. Normalmente, nos estudos de digestibilidade são utilizados 30% de inclusão do ingrediente teste, no entanto, em nosso estudo optamos por utilizar 15%, por causa dos elevados teores de gordura das farinhas de insetos, entre 19% e 38% de EE, visto que poderia causar problemas na extrusão das dietas experimentais, limitar o consumo, influenciar na digestibilidade, etc.

Vale ressaltar que os insetos são grande parte dos componentes alimentares da dieta natural de peixes onívoros e carnívoros e fornecem aminoácidos essenciais, ácidos graxos, vitaminas e minerais. Muitas espécies de peixes possuem adaptações para auxiliar o consumo de insetos, tais como presença da enzima quitinase no trato gastrointestinal, modificações bucais e adaptações comportamentais (Nogales-Mérida et al., 2018).

Contudo, verificamos que a comparação entre os estudos é complexa, devido à diversidade de espécies de peixes (Ogunji et al., 2009), composições nutricionais das farinhas de insetos, níveis de inclusão de insetos nas dietas experimentais (Santos et al.; 2022; Coutinho et al.; 2021; Jeong et al., 2021; Dumas et al.; 2018; Renna et al., 2017), metodologias (Kroeckel et al., 2012) e condições experimentais.

Através do presente estudo, observamos que as farinhas de insetos apresentaram boa digestibilidade pelos juvenis de pacu, sugerindo serem possíveis substitutas da farinha de peixe em dietas para esta espécie. Os pacus aproveitaram eficientemente a proteína e energia das farinhas de insetos, provavelmente, por causa de seu hábito alimentar (onívoro) e pelo fato dos insetos serem parte de sua alimentação em ambiente natural, sendo assim possuem enzimas e outras características morfofisiológicas do trato digestivo que possibilitam aproveitá-las de forma eficaz.

Apesar da farinha de larvas de mosca doméstica ter apresentado bons coeficientes de digestibilidade pelos juvenis de pacu, houve dificuldade em obter o produto para o estudo, tendo em vista que não existem produtores deste inseto com finalidade comercial para a produção de farinha e/ou óleo. Dentre os insetos testados, apenas esta espécie não consta na instrução normativa nº 110/2020 do MAPA, que permite as matérias-primas aprovadas como ingredientes, aditivos e veículos para o uso na alimentação de animais monogástricos. Certamente a não liberação deva-se ao fato da mosca doméstica ser considerada vetor de doenças.

A farinha de larvas de *Tenebrio molitor* se destaca dentre as farinhas de insetos estudadas em juvenis de pacu, pois apresentou os maiores valores digestíveis de proteína (44% PD) e energia (6436 kcal/kg), em razão do seu alto valor nutricional e altos coeficientes de digestibilidade. Pelos mesmos motivos, as farinhas de larvas de mosca doméstica (43% PD e 4362 kcal/kg ED), de barata cinérea (41% PD e 5248 kcal/kg ED) e de larvas de mosca soldado negra (37% PD e 4166 kcal/kg ED) também apresentaram altos valores digestíveis. Os valores de frações digestíveis neste estudo corroboram com resultados de outros autores quando avaliaram alimentos proteicos na alimentação de pacu, como a farinha de peixe (51% PD), farinha de sangue (42% PD) e farinha de carne e ossos (36% PD) (Abimorad e Carneiro, 2004). Com base nesses resultados, podemos sugerir que as farinhas de insetos podem ser uma alternativa para dietas de pacu, devido aos seus altos valores nutricionais e ao fato de sua proteína e energia serem altamente digestíveis.

Conclusões

Todas as farinhas de insetos avaliadas apresentaram boa digestibilidade pelos juvenis de pacu, sendo ingredientes alternativos potenciais para formulação de rações para esta espécie. No entanto, mais investigações são necessárias para conhecer o valor nutricional destas farinhas, assim como o nível ideal de inclusão de cada uma em rações para o pacu.

Referências

Abimorad, E.G., Carneiro, D.J., 2004. Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Proteica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus*. R. Bras. Zootec. 33, 1101–1109.

Abimorad, E.G., Favero, G.C., Squassoni, G.H., Carneiro, D., 2010. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for 15 pacu *Piaractus mesopotamicus*. Aquac. Nutr. 16, 370–377. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x

Abimorad, E.G., Squassoni, G.H., Carneiro, D.J., 2008. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. Aquac. Nutr. 14, 374–380. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2012. Official Methods of Analysis, 15th. Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th ed.; Latimer George, W., Jr., Ed.; AOAC International Gaithersburg: Gaithersburg, MD, USA.

Basto, A., Matos, E., Valente, L.M.P., 2020. Nutritional value of different insect larvae meals as protein sources for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture 521, 735085. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735085

Bicudo, A.J.A.; Abimorad, E.G; Carneiro, D.J., 2013. Exigências Nutricionais e Alimentação do Pacu. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 217-229.

Boaratti, A.Z., 2018. Relação entre aminoácidos essenciais em dietas para pacu (*Piaractus mesopotamicus*) na fase inicial de crescimento utilizando o método de deleção. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil.

Bureau, D.P., Hua, K., 2006. Letter to the editor of Aquaculture. Aquaculture 252, 103–105. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.01.028

Castagnolli N.; Zuim, S.M.F., 1985. Consolidação do conhecimento adquirido sobre o pacú (*Colossoma mitrei* Berg 1895). FCAU, Bol. Tec., Jabocatibal, 30 pp.

Costa, D. V., 2021. Insetos como alimento na aquicultura – O que mudou desde 2019? Panorama da Aquicultura. n. 183.

Coutinho, F., Castro, C., Guerreiro, I., Rangel, F., Couto, A., Serra, C.R., Peres, H., Pousão-Ferreira, P., Rawski, M., Oliva-Teles, A., Enes, P., 2021. Mealworm larvae meal in diets for meagre juveniles: Growth, nutrient digestibility and digestive enzymes activity. Aquaculture 535, 736362. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736362

Diener, S., Zurbrügg, C., Tockner, K., 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae : establishing optimal feeding rates. Waste Manag. Res. 27, 603–610. https://doi.org/10.1177/0734242X09103838

Dumas, A., Raggi, T., Barkhouse, J., Lewis, E., Weltzien, E., 2018. The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance , feed efficiency , nutrient deposition , blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 492, 24–34. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038

Elesho, F.E., Kröckel, S., Sutter, D.A.H., Nuraini, R., Chen, I.J., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W., 2021. Effect of feeding level on the digestibility of alternative protein-rich ingredients for African catfish (*Clarias gariepinus*). Aquaculture 544.

https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737108

FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. FAO, Rome. https://doi.org/10.4060/ca9229en

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2000. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Alevinos de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. Bras. Zootec. 29, 646–653. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2001. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Juvenis de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. bras. zootec. 30, 617–626. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Fontes, T.V., Oliveira, K.R.B., Almeida, I.L.G., Orlando, T.M., Rodrigues, P.B., Costa, D.V., Rosa, P.V., 2019. Digestibility of insect meals for Nile tilapia fingerlings. Animals 9, 1–8. https://doi.org/10.3390/ani9040181

Freccia, A., Sergio Bee Tubin, J., Nishioka Rombenso, A., Gustavo Coelho Emerenciano, M., 2020. Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly Approach or Commercial Reality? In: Emerging Technologies, Environment and Research for Sustainable Aquaculture. IntechOpen, pp. 1–15. https://doi.org/10.5772/intechopen.90489

Furukawa, A., Tsukahara, H., 1966. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. Bull. Japanese Soc. Fish. 32, 502–506.

Glencross, B.D.., Booth, M., Allan, G.L., 2007. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. Aquac. Nutr. 26, 1871–1883. https://doi.org/10.1111/anu.13138

Gonçalves, G.S., 2007. Digestibilidade e exigência de lisina, proteína e energia em dietas para a tilápia do Nilo. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil.

Gonçalves, L.U.; Rodrigues, A.P.O.; Moro, G.V.; Cargin-Ferreira, E.; Cyrino, J.E.P., 2013. Morfologia e Fisiologia do Sistema Digestório de Peies. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 9-36.

Jabir, M.D.A.R., Razak, S.A., Vikineswary, S., 2012. Chemical composition and nutrient digestibility of super worm meal in red tilapia juvenile. Pak. Vet. J. 32, 489–493.

Jeong, S.M., Khosravi, S., Yoon, K.Y., Kim, K.W., Lee, B.J., Hur, S.W., Lee, S.M., 2021. Mealworm, *Tenebrio molitor*, as a feed ingredient for juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquac. Reports 20, 100747. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100747

Jomori, R.K., Carneiro, D.J., Malheiros, E.B., Portella, M.C., 2003. Growth and survival of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) juveniles reared in ponds or at different initial larviculture periods indoors. Aquaculture 221, 277–287. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00069-3

Khan, S., Naz, S., Sultan, A., Alhidary, I.A., Abdelrahman, M.M., Khan, R.U., Khan, N.A., Khan, M.A., Ahmad, S., 2016. Worm meal: A potential source of alternative protein in poultry feed. Worlds. Poult. Sci. J. 72, 93–102. https://doi.org/10.1017/S0043933915002627

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

Mo, A.J., Sun, J.X., Wang, Y.H., Yang, K., Yang, H.S., Yuan, Y.C., 2019. Apparent digestibility of protein, energy and amino acids in nine protein sources at two content levels for mandarin fish, *Siniperca chuatsi*. Aquaculture 499, 42–50. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.023

Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, A., 2018. Insect meals in fish nutrition. Rev. Aquac. 11, 1080–1103. https://doi.org/10.1111/raq.12281

Nose, T., 1960. On the digestion of food protein by gold-fish (*Carassius auratus* L.) and rainbow trout (*Salmo irideus* G.). Bulletin of Freshwater Fish Research Laboratory, 10, p.11-22.

NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press, Washington, DC, USA, 376 p. (ISBN: 978-0-309-16338-5).

Ogunji, J.O., Pagel, T., Fisheries, I., Schulz, C., Kloas, W., Fisheries, I., 2009. Apparent Digestibility Coefficient of Housefly Maggot Meal (magmeal) for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and Carp (*Cyprinus carpio).* Asian Fish. Sci. 22, 1095–1105. https://doi.org/10.33997/j.afs.2009.22.4.004

Panini, R.L., Freitas, L.E.L., Guimarães, A.M., Rios, C., da Silva, M.F.O., Vieira, F.N., Fracalossi, D.M., Samuels, R.I., Prudêncio, E.S., Silva, C.P., Amboni, R.D.M.C., 2017. Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: Digestibility and performance. Aquaculture 473, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.008

Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M.T., Biasato, I., Biasibetti, E., De Marco, M., Brugiapaglia, A., Zoccarato, I., Gasco, L., 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. J. Anim. Sci. Biotechnol. 8, 1–13. https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3

Santos, D. K. M., Santana, T. M., Dantas, F.M., Farias, A. B. d. S., Epifânio, C. M. F., Prestes, A. G., da Fonseca, F. A. L., Parisi, G., Viegas, E. M. M., Gonçalves, L. U. 2022. Defatted black soldier fly larvae meal as a dietary ingredient for tambaqui (*Colossoma macropomum*): Digestibility, growth performance, haematological parameters, and carcass composition. Aquaculture Research, 53, 6762– 6770. https://doi.org/10.1111/are.16143

Sipaúba-Tavares, L.H., 1994. Limnologia aplicada a aquicultura. Boletim técnico n. 1. FUNEP, Jaboticabal, SP, Brazil.

Sipaúba-Tavares, L.H., Santeiro, R.M., 2013. Fish farm and water quality management. Acta Sci. Biol. Sci. 35. https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v35i1.10086

Urbinati, E.C.; Gonçalves, F.D., 2005. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). In: Baldisserotto, B.; Gomes L.C. (Eds), Espécies nativas para piscicultura no Brasil. UFSM, Santa Maria, RS, pp. 225-255.

Van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annu. Rev. Entomol. 58, 563–583. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704

CAPÍTULO III - FARINHAS DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRA, LARVAS DE TENÉBRIO COMUM E ADULTO DE BARATA CINÉREA NA DIETA DE JUVENIS DE PACU *Piaractus mesopotamicus*

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da substituição dietética da farinha de peixe pelas farinhas dos insetos *Nauphoeta cinerea*, *Tenebrio molitor* e *Hermetia illucens* no crescimento, na composição corporal e nos parâmetros sanguíneos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Um total de 288 alevinos de pacu (peso inicial de 6,24 g) foram distribuídos em 24 tanques de 210 L. Seis dietas constituídas por 2,5% e 5% de inclusão das farinhas insetos, *H. illucens* (Hi2.5 e Hi5.0), *N. cinerea* (Nc2.5 e Nc5.0) e *T. molitor* (Tm2.5 e Tm5.0), foram fornecidas aos peixes (quatro repetições por tratamento) durante um período de 90 dias. O desempenho de juvenis de pacu foi influenciado significativamente pelos níveis de inclusão e farinhas de insetos. As dietas Hi2.5, Hi5.0, Tm2.5 e Nc5.0 proporcionaram melhores resultados para ganho em peso (Hi2.5= 160 g, Hi5.0= 165 g, Tm2.5= 163 g e Nc5.0= 156 g). A melhor conversão alimentar foi obtida com 2,5% de inclusão (1,25) e com as farinhas de *H. illucens* e *N. cinerea*. A inclusão de diferentes farinhas de insetos na dieta influenciou a umidade e a gordura corporal de juvenis de pacu, mas não afetou a composição corporal de proteína e cinzas. O nível de triglicerídeos sanguíneos em peixes alimentados com 5% de inclusão de farinha de insetos foi maior, mas dentro dos limites registrados para o pacu. Estes resultados indicam que as farinhas de larvas de mosca soldado negra, de larvas de tenébrio comum e de barata cinérea podem ser utilizadas como fonte proteica para as fases iniciais de *P. mesopotamicus*.

Palavras-chave: Farinha de inseto, *Hermetia illucens, Nauphoeta cinerea*, *Tenebrio molitor,* nutrição de peixes

Introdução

A alimentação representa 40 a 60% do custo total de produção da aquicultura, valor alto quando comparado aos demais itens (Scorvo Filho et al., 2010), sendo os ingredientes proteicos os que mais encarecem as rações de organismos aquáticos. Dentre as fontes proteicas merece destaque a farinha de peixe, pelo seu alto valor nutricional, ótima digestibilidade e palatabilidade (Olsen e Hasan, 2012). No entanto, nos últimos anos esta matéria-prima tornou-se cada vez mais escassa, com composição nutricional altamente variável e com preço instável e elevado (Naylor et al, 2021; Hardy, 2010).

Consequentemente, um grande número de pesquisas tem se concentrado na substituição da farinha de peixe por ingredientes mais baratos e potencialmente menos prejudiciais ao meio ambiente, como subprodutos vegetais, insetos, algas (micro e macro), subprodutos de animais terrestres, proteínas celulares (incluindo bactérias e leveduras) e resíduos alimentares reciclados (FAO, 2022).

Com o intuito de atender a crescente demanda de ração para a aquicultura e auxiliar no crescimento sustentável desta atividade, é vital desenvolver fontes alternativas e não tradicionais de proteína, a exemplo dos insetos (FAO, 2022; Glencross et al., 2021). As farinhas de insetos podem ser uma ótima fonte de proteína com perfil equilibrado de aminoácidos, com rápida rotatividade da produção, deixando uma baixa pegada de carbono e fazendo uso mais eficiente da terra quando comparada a outras práticas agropecuárias (Costa, 2021; Ordoñez et al, 2022; van Huis, 2013).

Atualmente, as farinhas de insetos mais utilizadas na alimentação animal são as larvas de Hermetia *illucens* e de *Tenebrio molitor*, pois são fáceis de criar e alimentar, têm a capacidade de reciclar nutrientes de resíduos orgânicos em biomassa altamente nutritiva (Varelas, 2019), e ainda, podem ser produzidas industrialmente (van Huis e Oonincx, 2017). A *Nauphoeta cinerea* também possui potencial para ser utilizada na alimentação animal, devido ao seu alto valor proteico (67% PB) (Tubin, 2017), que é superior aos principais ingredientes proteicos utilizados na indústria de rações animais, como o farelo de soja, farinha de peixe, farinha de carne e ossos e farinha de vísceras (Furuya, 2010). As farinhas de larvas de *Hermetia illucens* e de *Tenebrio molitor* também são ótimas fontes proteicas, podendo alcançar cerca de 60% de proteína bruta (Nogales-Mérida et al., 2018).

Por conseguinte, está crescendo o interesse da indústria de alimentação animal em usar insetos. Logo, o conhecimento sobre o valor nutricional das farinhas de insetos e o desempenho dos peixes alimentados com dietas contendo este componente são essenciais e possibilitarão o uso destes ingredientes nas formulações de rações para piscicultura.

O pacu (*P. mesopotamicus*) é amplamente cultivado no Brasil e em alguns outros países da América do Sul (Pereira et al., 2020), possui características favoráveis para ser criado em diferentes regiões do mundo (Khan et al, 2019).

Sendo uma das mais importantes espécies da piscicultura brasileira (Valenti et al., 2021), devido ao domínio na produção de alevinos, aceitação de alimento inerte, fácil adaptação em cativeiro, bom crescimento, rusticidade, grande aceitação do mercado consumidor, além de ser bastante procurado para a pesca esportiva (Jomori et al., 2005).

A fim de contribuir com o desenvolvimento sustentável da piscicultura, objetivou-se com este estudo, investigar a substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha dos insetos mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), tenébrio comum (*Tenebrio molitor*) e barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*) através do desempenho, composição centesimal, saúde e fisiologia de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) em fase de crescimento inicial.

Material e métodos

O experimento foi autorizado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, SP, Brasil, sob o protocolo nº 319/21 e conduzido no Laboratório de Modelagem em Nutrição de Peixes do Centro de Aquicultura da Unesp (Caunesp), Jaboticabal, SP, Brasil.

Dietas experimentais

Foram formuladas sete dietas (Tabela 1), sendo uma a dieta basal (Db), sem inclusão de farinha de insetos, e seis contendo 25% e 50% de substituição da proteína da farinha de peixe (correspondendo a 2,5% e 5,0% de inclusão de cada inseto) pela proteína da farinha de barata cinérea (Nc2.5 e Nc5.0), farinha de larvas de mosca soldado negra (Hi2.5 e Hi5.0) e farinha de larvas de tenébrio comum (Tm2.5 e Tm5.0).

Tabela 1. Formulação e composição das dietas experimentais.

	Db	Hi2.5	Hi5.0	Nc2.5	Nc5.0	Tm2.5	Tm5.0
Ingredientes (%)							
Farelo de soja	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10
Farinha de peixe	8,00	6,00	4,00	6,00	4,00	6,00	4,00
Farinha de *H. illucens*	-	2,51	5,02	-	-	-	-
Farinha de *N. cinerea*	-	-	-	2,55	5,12	-	-
Farinha de *T. molitor*	-	-	-	-	-	2,46	4,94
Milho	31,10	31,10	31,10	31,10	31,10	31,10	31,10
Farelo de trigo	9,955	10,245	10,485	10,355	10,635	10,245	10,485
Quirera de arroz	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Glúten de milho	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
Óleo de Soja	4,00	3,20	2,45	3,05	2,20	3,25	2,53
Calcário	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Fosfato bicálcico	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
L-Lisina	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Suplemento mineral e vitamínico [1]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Antioxidante [2]	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Total	100	100	100	100	100	100	100
Composição							
Matéria seca (%)	91,96	93,48	91,36	92,77	92,36	91,74	92,04
Umidade (%)	8,04	6,52	8,64	7,23	7,64	8,26	7,96
Proteína bruta (%)	31,39	31,96	30,66	31,26	31,74	32,30	32,29
Extrato etéreo (%)	7,27	7,19	7,16	7,04	6,92	7,02	6,80
Matéria mineral (%)	7,76	7,51	7,33	7,29	7,30	7,48	7,15
Energia bruta (kcal/kg)	4593	4571	4485	4557	4586	4545	4579

Db: dieta basal com 8% de farinha de peixe (FP) como fonte proteica; Tm2.5: dieta basal em que 25% da proteína bruta (PB) da FP foi substituída pela PB da farinha de larvas de tenébrio; Tm5.0: dieta basal em que 50% da PB da FP foi substituída pela PB da farinha de larvas de tenébrio; Nc2.5: dieta basal em que 25% da PB da FP foi substituída pela PB da farinha de barata; Nc5.0: dieta basal em que 50% da PB da FP foi substituída pela PB da farinha de barata; Hi2.5: dieta basal em que 25% da PB da FP foi substituída pela PB da farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi5.0: dieta basal em que 50% da PB da FP foi substituída pela PB da farinha de larvas de mosca soldado negra.

[1] Suplemento vitamínico e mineral: ácido fólico (1.250 mg); pantotenato de cálcio (1.200 mg); cobre (2.500 mg); ferro (15 g); iodo (375 mg;) manganês (12,5 g); selênio (87,5 mg); zinco (12,5 mg); cobalto (125 mg); Vit A (2.500 U I); Vit B12 (4000 mg); Tiamina B1 (4000 mg); Riboflavina B2 (4000 mg); Piridoxina B6 (4000 mg); Vit C (50.000 mg); Vit D3 (600.000 UI); Vit E (37.500); Vit K3 (3.750 mg); niacina (122.500 mg); biotina (15 mg).
[2] Banox - aditivo antioxidante: carbonato de cálcio, BHT (120 g/kg), ácido cítrico, dióxido de silício, BHA (10 g/kg) e propilgalato.

As dietas experimentais foram formuladas para serem isoproteicas e isoenergéticas, atendendo as exigências nutricionais do pacu (Abimorad et al.,

2010, 2008; Abimorad e Carneiro, 2004a; Boaratti et al., 2021; Fernandes et al., 2001, 2000)

A farinha de larvas de mosca soldado negra utilizada nas dietas experimentais foi produzida e doada pela empresa brasileira BSF Nutrição e Biotecnologia Ltda, Piracicaba, SP, Brasil. A farinha de larvas de tenébrio comum foi produzida e doada pelo Laboratório de Entomocultura do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, Brasil. Já a farinha de barata cinérea foi adquirida da biofábrica Insetos Brasil, Recife, PE, Brasil.

As análises da composição centesimal das amostras de farinhas de insetos e demais ingredientes e rações foram realizadas de acordo com a *Association of Official Agricultural Chemists* - AOAC (2012) para matéria seca, proteína bruta, lipídios e cinzas (Tabela 2). Todas as análises foram feitas em duplicata. O teor de matéria seca (MS) foi determinado submetendo-se as amostras à secagem em estufa a 105 ºC até peso constante. O teor de proteína bruta (PB) foi calculado pela obtenção do conteúdo de nitrogênio total, determinado pelo método de Kjeldahl e multiplicado pelo fator 6,25. As cinzas foram obtidas por combustão a 600 ºC por 4 h em mufla. A energia bruta (EB) foi medida em bomba calorimétrica. As análises de matéria seca, proteína bruta, cinzas e energia foram realizadas no Laboratório de Ciências Avícolas (Lavinesp) da FCAV / Unesp, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. O teor de gordura das farinhas de insetos foi determinado gravimetricamente após a extração com éter de petróleo pelo método de Soxhlet no Laboratório de Nutrição Animal da FCAV / Unesp, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. As análises de lipídios das rações foram realizadas pelo método de hidrólise ácida no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do Caunesp, Jaboticabal, SP, Brasil.

Tabela 2. Composição química analisada das farinhas de insetos (base na matéria natural).

Composição	Farinha *H. illucens*	Farinha *N. cinerea*	Farinha *T. molitor*
Matéria seca (%)	96,02	95,23	91,35
Umidade (%)	3,98	4,77	8,65
Proteína bruta (%)	49,38	48,53	50,23
Extrato etéreo (%)	36,35	35,70	28,05
Matéria mineral (%)	9,68	2,76	3,24
Energia bruta (kcal/kg)	6041	6414,0	5974,5

Para o preparo das rações, as farinhas de insetos e os demais ingredientes das dietas foram moídos em moinho com peneira de 5mm e misturados em misturador do tipo Y da Fábrica de Rações do Lavinesp da FCAV/Unesp. As dietas foram processadas na Fábrica de Ração do Instituto de Pesca de São Paulo, São José do Rio Preto, SP, Brasil, utilizando Extrusora Ferraz modelo E62 (temperatura de extrusão 90ºC e adição de 18 a 20% de água no pré-condicionador), em seguida, foram secas em tambor rotativo por cerca 12 minutos (temperatura de 90ºC a 110ºC). Depois, as rações foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em freezer a -20°C.

Como não foram realizadas análises da concentração de aminoácidos essenciais das farinhas de insetos, foram aproveitados valores encontrados na literatura para demonstrar os valores destes nutrientes nas farinhas e nas dietas experimentais (Tabela 3). Sendo assim, para a farinha de larvas de mosca soldado negra (*H. illucens*) e formulação de suas dietas experimentais foram utilizados dados de Weththasinghe et al.(2021). Da mesma forma, valores de aminoácidos essenciais da farinha de barata cinérea (*N. cinerea*) de acordo com Rios (2022) e da farinha de larvas de tenébrio comum (*T. molitor*) segundo Iaconisi et al. (2017).

Tabela 3. Concentração de aminoácidos essenciais das farinhas de insetos e das dietas experimentais formuladas com valores encontrados na literatura.

	Farinhas			**Dietas** [1, 2, 3]						
	Hi[1]	**Nc**[2]	**Tm**[3]	**Db**	***Hi*2.5**	***Hi*5.0**	***Nc*2.5**	***Nc*5.0**	**Tm2.5**	**Tm5.0**
Arginina	1,65	3,08	2,63	1,73	1,70	1,66	1,74	1,74	1,72	1,71
Histidina	0,88	1,92	1,58	0,66	0,66	0,66	0,69	0,72	0,68	0,70
Isoleucina	1,48	2,13	2,08	1,10	1,10	1,11	1,12	1,14	1,12	1,13
Leucina	2,9	3,85	2,96	2,41	2,42	2,43	2,45	2,49	2,42	2,43
Lisina	2,12	3,31	3,37	1,79	1,79	1,78	1,82	1,84	1,81	1,84
Metionina	0,63	0,91	0,95	0,46	0,45	0,44	0,46	0,46	0,46	0,46
Fenialanina	1,48	2,27	1,77	1,31	1,31	1,31	1,33	1,35	1,32	1,32
Treonina	1,34	2,00	1,74	1,00	0,99	0,98	1,01	1,02	1,00	1,00
Valina	1,9	3,66	2,65	1,26	1,26	1,27	1,31	1,36	1,28	1,30
Triptofano	0,77	0,45	nd	-	-	-	-	-	-	-

[1] Valores de aminoácidos essenciais da farinha de larvas de mosca soldado negra (*H. illucens*) de acordo com Weththasinghe et al.(2021).
[2] Valores de aminoácidos essenciais da farinha de barata cinérea (*N. cinerea*) de acordo com Rios (2022).
[3] Valores de aminoácidos essenciais da farinha de larvas de tenébrio comum (*T. molitor*) segundo Iaconisi et al. (2017).

Condições experimentais

Os alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) foram obtidos no Caunesp, Jaboticabal SP, Brasil. Durante duas semanas, os peixes foram aclimatados às condições experimentais e alimentados duas vezes por dia com ração comercial para peixes onívoros.

O trabalho ocorreu em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com estrutura de tratamento fatorial 3x2 (3 farinhas de insetos e 2 níveis de inclusão), quatro repetições e 12 peixes por unidade experimental. Após a aclimatação, 288 alevinos de pacu*,* com peso médio de 6,24 ± 0,18 g, *foram* distribuídos aleatoriamente em 24 caixas de 200 L. Os tanques estavam num sistema de recirculação de água, provido de aeração constante, temperatura controlada através de trocador de calor (28ºC) e abastecido por água oriunda da FCAV / Unesp.

Os animais foram alimentados com as dietas experimentais em duas refeições diárias (9:30h e 17:30 h) durante 90 dias até a saciedade aparente. A quantidade de dieta consumida em cada parcela foi registrada, ocorrendo da seguinte forma: os recipientes de armazenagem das rações eram pesados, antes e após a reposição semanal.

Para manter a qualidade de água em condições adequadas para os peixes, eram realizadas periodicamente trocas parciais de água e limpezas de tanques, pedras porosas e filtros, além da substituição diária da manta acrílica, que era utilizada para reter sólidos em suspensão. Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados ao longo do período experimental. A temperatura foi monitorada diariamente através de termômetro. O pH e o oxigênio dissolvido foram analisados semanalmente, respectivamente, com os equipamentos peagâmetro EcoSense pH100A e oxímetro digital EcoSense DO200A. Amostras de água foram coletadas semanalmente para análises de amônia e nitrito, as quais foram realizadas no Laboratório Multiusuários do Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal, SP, Brasil. Os parâmetros de qualidade da água, tais como temperatura da água 27,05 ± 0,85 $^{\circ}$C, pH 7,97 ± 0,20, oxigênio dissolvido 6,67 ± 0,82 mg.L^{-1}, amônia 0,04 ± 0,01 mg.L^{-1} e nitrito 0,0047± 0,0015 mg.L^{-1}, mantiveram-se dentro dos níveis

adequados para criação do pacu (Sipaúba-Tavares, 1994; Sipaúba-Tavares e Santeiro, 2013).

Desempenho

Todos os peixes foram pesados, medidos e contados no início e no final do período experimental (90 dias), sendo submetidos à jejum prévio de 24 horas antes destes procedimentos.

O desempenho produtivo e os índices de utilização de nutrientes foram avaliados pelo peso final (PF), ganho médio de peso (GP), consumo de ração por dia (CRD), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de eficiência proteica (TEP) e sobrevivência, conforme equações abaixo:

$$GP\ (g/peixe) = Peso\ final\ (g) - Peso\ inicial(g) \quad \text{(Equação 1)}$$

$$CRD\ (g/peixe) = \frac{consumo\ de\ dieta\ por\ peix\ e(g)}{tempo\ (dias)} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$CAA = \frac{ração\ consumida}{ganho\ de\ peso} \quad \text{(Equação 3)}$$

$$TCE\ (\%/dia) = \frac{Ln\ (\ peso\ final) - Ln\ (\ peso\ inicial)\ x\ 100}{duração} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$TEP = \frac{ganho\ de\ peso\ (g)}{proteína\ consumida\ (g)} \quad \text{(Equação 5)}$$

$$So\ (\%) = \frac{nº\ de\ peixes\ no\ final}{nº\ de\ peixes\ no\ \ início}\ x\ 100 \quad \text{(Equação 6)}$$

Composição corporal e utilização de nutrientes

Para determinação da composição corporal, inicialmente foram coletados 50 peixes da mesma população, e quatro de cada repetição ao final do estudo, que foram eutanasiados por aprofundamento do plano anestésico em benzocaína, e em seguida foram acondicionados em sacos plásticos e congelados em freezer (-20 °C). Os peixes coletados foram processados para preparação das amostras para determinação da matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral.

As análises de composição química das amostras de peixes foram realizadas de acordo com a *Association of Official Agricultural Chemists* - AOAC (2012) para matéria seca, proteína bruta, lipídios e cinzas. Todas as análises foram realizadas em duplicata no Lavinesp da FCAV/ UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil.

Com os dados de composição corporal e de desempenho produtivo foi possível calcular a eficiência de utilização de nutrientes, através da eficiência de retenção de proteína bruta (ER_{PB}), proporção de proteína bruta no ganho em peso (PB_{GP}) e proporção de extrato etéreo no ganho em peso (EE_{GP}), de acordo com as seguintes equações:

$$ERPB\ (\%) = \frac{(PBf\ x\ Pf) - (PBi\ x\ Pi)}{CPB}\ x100 \quad \text{(Equação 7)}$$

$$PBGP\ (\%) = \frac{(PBf\ x\ Pf) - (PBi\ x\ Pi)}{Pf - Pi}\ x\ 100 \quad \text{(Equação 8)}$$

$$EEGP\ (\%) = \frac{(EEf\ x\ Pf) - (EEi\ x\ Pi)}{Pf - Pi}\ x\ 100 \quad \text{(Equação 9)}$$

Onde: PBf, EEf: proteína bruta ou extrato etéreo final na carcaça; PBi, EEi: proteína bruta ou extrato etéreo inicial na carcaça; C_{PB}: média de consumo de proteína bruta da parcela; Pi, Pf: peso vivo médio inicial ou peso vivo médio final da parcela.

Bioquímica sanguínea

Para a análise dos parâmetros sanguíneos, ao final do período experimental, foram coletados três peixes de cada repetição, totalizando 12 animais por tratamento. No dia da amostragem, após jejum de 24 horas, os peixes foram imediatamente anestesiados com benzocaína (0,1 $g.L^{-1}$) e o sangue retirado por punção caudal e transferido para microtubos de centrifuga de 1,5 mL divididos em dois grupos: o primeiro sem anticoagulante e o segundo contendo 15 µL da solução EDTA + fluoreto de potássio (Glistab®). O sangue com anticoagulante foi centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos, para separação do plasma e posterior determinação da glicemia pelo kit comercial de Glicose (Método GOD-Trinder, Labtest® Referência: 133). O sangue sem anticoagulante permaneceu por três horas em temperatura ambiente, sendo em seguida centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos para a separação do soro e determinação de triglicerídeos, proteína total e colesterol, através de kits comerciais da Labtest® (Referências: 87, 99 e 13, respectivamente). As análises de sangue foram realizadas no Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil.

Índices somáticos

Após os procedimentos de coleta de sangue, os peixes foram eutanasiados com benzocaína (300 mg / L) para coleta e pesagem de vísceras e fígado, a fim de determinar os índices somáticos (índice viscerossomático e índice hepatossomático), conforme equações abaixo:

$$Indice\ Hepatossomático\ (\%) = \frac{peso\ do\ fígado}{peso\ do\ peixe}\ x\ 100 \qquad \text{(Equação 10)}$$

$$Índice\ viscerossomático = \frac{peso\ vísceras}{peso\ do\ peixe}\ x\ 100 \qquad \text{(Equação 11)}$$

Análise Estatística

Os dados foram analisados pelo programa estatístico R (R versão 4.1.2), quanto à normalidade dos erros (Teste Cramer-von Mises), homogeneidade das variâncias (Teste BoxCox) e análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade. Quando apresentou significância estatística, foi aplicado teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados

Parâmetros de desempenho

Nenhuma mortalidade foi registrada e todos os peixes aceitaram as dietas formuladas com as farinhas de insetos. Após 90 dias de alimentação, a inclusão de farinhas de insetos afetou significativamente o desempenho de juvenis de pacu, sendo obtidas diferenças significativas para peso final, ganho em peso corporal, conversão alimentar e taxa de eficiência proteica ($p < 0,05$, Tabela 4). Não houve diferenças significativas ($p \geq 0,05$, Tabela 4) para taxa de crescimento específica e consumo de ração diário.

As farinhas de insetos e a interação entre farinhas e níveis tiveram efeito no peso final, no ganho em peso corporal e na taxa de eficiência proteica ($p < 0,05$, Tabela 4). A conversão alimentar foi influenciada significativamente pela farinha de inseto e pelo nível de inclusão ($p < 0,05$, Tabela 4). Em relação às farinhas, os peixes alimentados com *H. illucens* tiveram melhor conversão. Quanto aos níveis, a melhor conversão foi observada nos peixes alimentados com o menor nível de inclusão.

Tabela 4. Médias para o desempenho de juvenis de pacu submetidos a dietas com diferentes níveis de inclusão (2,5% e 5%) de farinhas de insetos (*H. illucens, N. cinerea* e *T. molitor*).

Estatística	PF (g)	GP (g)	TCE (%)	CRD (g)	CA	TEP
Médias para Farinhas de Insetos (FI):						
H. illucens	168,59 ± 5,41	162,28 ± 5,49	3,64 ± 0,07	2,24 ± 0,11	1,24 ± 0,03^{b}	2,57 ± 0,07
N, cinerea	157,03 ± 7,17	150,79 ± 7,18	3,55 ± 0,10	2,13 ± 0,17	1,27 ± 0,05^{ab}	2,50 ± 0,12
T, molitor	158,06 ± 13,74	151,87 ± 13,73	3,59 ± 0,10	2,19 ± 0,19	1,30 ± 0,06^{a}	2,38 ± 0,11
Médias para Níveis de Inclusão (NI):						
2,5%	162,28 ± 9,43	156,05 ± 9,43	3,59 ± 0,11	2,16 ± 0,18	1,25 ± 0,04^{b}	2,52 ± 0,10
5,0%	160,50 ± 11,42	154,22 ± 11,39	3,61 ± 0,08	2,21 ± 0,11	1,30 ± 0,05^{a}	2,45 ± 0,14
Efeito das Farinhas	**	**	ns	ns	*	**
Efeito dos Níveis	ns	ns	ns	ns	*	ns
Efeito da interação FI X NI	***	***	ns	**	ns	*
CV (%)	3,36	3,53	2,32	5,00	3,42	3,47

Médias ± desvio padrão seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).
PF=Peso Final, GP =Ganho em peso, TCE =Taxa de crescimento específico, CRD =Consumo de ração diário, CA =Conversão alimentar, TEP = Taxa de Eficiência Proteica. CV = coeficiente de variação, n s= não significativo , *= P<0,05.

Pelos desdobramentos das interações (p < 0,05, Tabela 5), constatou-se que no menor nível de inclusão, os maiores valores de peso final e ganho em peso foram obtidos com os peixes alimentados com as farinhas de *H. Illucens* e *T. molitor*, enquanto no maior nível, os peixes alimentados com a farinha *T. molitor* tiveram menor ganho de peso. Apenas para a farinha de tenébrio, o aumento do nível de inclusão causou redução do peso final, do ganho em peso e da taxa de eficiência proteica.

Tabela 5. Médias para Peso Final, Ganho em Peso, Consumo de Ração Diário (CRD) e Taxa de Eficiência Proteica (TEP) de juvenis de pacu para o efeito da interação entre farinha de insetos e níveis de inclusão.

	Farinha de insetos	Nível de inclusão	
		2,5%	5,0%
Peso final (g)	*H. illucens*	166,12 ± 4,98 Aa	171,88 ± 4,72 Aa
	N, cinerea	150,36 ± 4,17 Ba	162,04 ± 3,66 Aa
	T, molitor	169,07 ± 5,84 Aa	147,06 ± 8,65 Bb
Ganho em peso (g)	*H. illucens*	159,91 ± 4,91 Aa	165,45 ± 5,25 Aa
	N, cinerea	144,10 ± 4,16 Ba	155,81 ± 3,63 Aa
	T, molitor	162,86 ± 5,76 Aa	140,88 ± 8,69 Bb
CRD	*H. illucens*	2,20 ± 0,10 Aa	2,28 ± 0,12 Aa
	N, cinerea	1,97 ± 0,14 Bb	2,25 ± 0,02 Aa
	T, molitor	2,30 ± 0,18 Aa	2,08 ± 0,06 Aa
TEP	*H. illucens*	2,53 ± 0,05 Aa	2,61 ± 0,08 Aa
	N, cinerea	2,58 ± 0,11 Aa	2,43 ± 0,08 ABa
	T, molitor	2,44 ± 0,11 Aa	2,32 ± 0,08 Bb

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Índices somáticos e utilização de nutrientes

A inclusão de diferentes farinhas de insetos em dois níveis não afetou o índice viscerossomático, porém ocorreu interação significativa entre estes fatores para o índice hepatossomático (p < 0,05, Tabela 6). Os menores valores de índice hepatossomático foram observados nos peixes alimentados com 2,5% de inclusão das farinhas de barata e de tenébrio (p < 0,05, Tabela 7).

As farinhas de insetos e os níveis de inclusão, assim como a interação destes fatores, influenciaram (p < 0,05, Tabela 6) a eficiência de retenção de proteína bruta (ERPB). Houve interação significativa (p < 0,05, Tabela 6) entre farinhas e níveis na proporção da proteína bruta no ganho em peso (PBGP). As farinhas de insetos e a interação entre farinhas e níveis tiveram efeito (p < 0,05, Tabela 6) na proporção do extrato etéreo no ganho em peso (EEGP).

As farinhas de tenébrio e de barata tiveram menor eficiência de retenção no nível de 5% de inclusão (Tabela 7). No nível de 2,5% de inclusão, o tenébrio contribuiu para a maior EEGP, diferindo da mosca soldado negra e da barata, que teve o menor valor de EEGP. Apenas para o tenébrio, o aumento da inclusão causou redução do EEGP (Tabela 7).

Tabela 6. Médias para índices somáticos e utilização de nutrientes de juvenis de pacu submetidos a dietas com diferentes níveis de inclusão (2,5% e 5%) de farinhas de insetos (*H. illucens, N. cinerea* e *T. molitor*).

Estatística	IH (%)	IV (%)	ER_{PB} (%)	PB_{GP} (%)	EE_{GP} (%)
Médias para Farinhas de Insetos (FI):					
H. illucens	1,48 ± 0,16	3,06 ± 0,70	40,35 ± 1,31	15,58 ± 0,26	15,91
N, cinerea	1,42 ± 0,14	3,12 ± 0,53	38,23 ± 2,70	15,47 ± 0,70	15,47
T, molitor	1,38 ± 0,17	3,10 ± 0,57	37,69 ± 1,99	15,76 ± 0,54	16,74
Médias para Níveis de Inclusão (NI):					
2,5%	1,40 ± 0,17	3,06 ± 0,62	39,97 ± 1,22	15,71 ± 0,53	16,11
5,0%	1,45 ± 0,15	3,12 ± 0,58	37,90 ± 2,61	15,53 ± 0,52	16,03
Efeito das Farinhas	ns	ns	**	ns	***
Efeito dos Níveis	ns	ns	**	ns	ns
Efeito da interação FI X NI	***	ns	**	*	**
CV (%)	9,83	18,23	3,48	2,79	1,83

Médias ± desvio padrão seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).
IH= Índice hepatossomático, IV= Índice viscerossomático, ER_{PB} = Eficiência de Retenção de Proteína Bruta, PB_{GP} = Proteína Bruta no Ganho de Peso, EE_{GP}= Extrato Etéreo no Ganho de Peso, CV = coeficiente de variação, n s= não significativo , *= P<0,05.

Tabela 7. Médias para Índice Hepatossomático (IH), Eficiência de Retenção de Proteína Bruta (EFRPB), Proteína Bruta no Ganho de Peso (PBGP) e Extrato Etéreo no Ganho de Peso (EEGP) de juvenis de pacu para o efeito da interação entre farinhas de insetos e níveis de inclusão.

	Farinha de insetos	Nível de inclusão	
		2,5%	5,0%
Índice Hepatossomático	*H. illucens*	1,57 ± 0,14 Aa	1,41 ± 0,15 Aa
	N, cinerea	1,34 ± 0,11 Ba	1,49 ± 0,12 Aa
	T, molitor	1,31 ± 0,14 Ba	1,46 ± 0,16 Aa
ERPB	*H. illucens*	39,93 ± 0,80 Aa	40,76 ± 1,71 Aa
	N, cinerea	40,61 ± 2,09 Aa	36,45 ± 1,33 Bb
	T, molitor	39,38 ± 0,45 Aa	36,01 ± 1,07 Ba
PBGP	*H. illucens*	15,49 ± 0,20 Aa	15,64 ± 0,30 Aa
	N, cinerea	16,09 ± 0,62 Aa	15,00 ± 0,21 Ab
	T, molitor	15,59 ± 0,59 Aa	15,94 ± 0,49 Aa
EEGP	*H. illucens*	15,97 ± 0,29 Ba	15,83 ± 0,43 Aa
	N, cinerea	15,23 ± 0,35 Ca	15,71 ± 0,12 Aa
	T, molitor	17,17 ± 0,29 Aa	16,43 ± 0,23 Ab

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Composição química corporal de peixes

Os teores de proteína e cinzas do corpo inteiro dos pacus não foram afetados significativamente (p > 0,05) pelas diferentes farinhas de insetos e níveis de inclusão (Tabela 8). Entretanto, houve efeito das farinhas e interação significativa entre farinhas e níveis no teor de gordura corporal dos pacus.

Tabela 8. Médias para a composição centesimal do corpo inteiro de juvenis de pacu submetidos a dietas com diferentes níveis de inclusão (2,5% e 5%) de farinhas de insetos (*H. illucens, N. cinerea* e *T. molitor*).

Estatística	Proteína (%)	Gordura (%)	MM (%)	Umidade (%)
Médias para Farinhas de Insetos (FI):				
H. illucens	15,60 ± 0,43	15,36 ± 0,32	3,61 ± 0,40	64,86 ± 0,70 [ab]
N, cinerea	15,35 ± 0,67	14,76 ± 0,49	3,41 ± 0,29	65,31 ± 0,88 [a]
T, molitor	15,76 ± 0,40	16,15 ± 0,47	3,62 ± 0,33	63,98 ± 0,60 [b]
Médias para Níveis de Inclusão (NI):				
2,5%	15,76 ± 0,49	15,39 ± 0,94	3,46 ± 0,29	64,54 ± 0,86
5,0%	15,42 ± 0,49	15,46 ± 0,39	3,63 ± 0,38	64,89 ± 0,94
Efeito das Farinhas	ns	***	ns	**
Efeito dos Níveis	ns	ns	ns	ns
Efeito da interação FI X NI	ns	**	ns	ns
Coeficiente de variação (%)	2,80	2,00	9,35	1,16

Médias ± desvio padrão seguidas de letras diferentes na mesma coluna denotam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05). CV: coeficiente de variação, n s= não significativo, *= P<0,05.

No nível de 2,5% de inclusão, a farinha de tenébrio apresentou o maior teor de gordura corporal, enquanto, a de barata, o menor (Tabela 9). Além disso, o aumento da inclusão causou redução da gordura apenas para os peixes alimentados com a farinha de tenébrio. Houve efeito significativo das farinhas de insetos no teor de umidade corporal (p < 0,05, Tabela 8), sendo observado que os pacus alimentados com a farinha de barata tiveram o maior teor de umidade, enquanto os alimentados com o tenébrio, o menor.

Tabela 9. Médias para gordura corporal de juvenis de pacu para o efeito da interação entre farinha de insetos e níveis de inclusão.

	Farinha de insetos	Nível de inclusão	
		2,5%	5,0%
Gordura (%)	*H. illucens*	15,43 ± 0,42 Ba	15,27 ± 0,40 Aa
	N, cinerea	14,45 ± 0,11 Ca	15,16 ± 0,12 Aa
	T, molitor	16,59 ± 0,27 Aa	15,82 ± 0,22 Ab

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

Bioquímica sanguínea

Os níveis de glicose, proteína total e colesterol no sangue não foram afetados significativamente (p > 0,05) pelas farinhas e níveis de inclusão (Tabela 10). No entanto, o aumento da inclusão das farinhas de insetos causou acréscimo significativo do nível de triglicerídeos (p < 0,05, Tabela 10).

Tabela 10. Médias dos parâmetros bioquímicos séricos de juvenis de pacu (*P. mesopotamicus*) alimentados com diferentes níveis (2,5% e 5%) e farinhas de insetos (*H. illucens*; *N. cinerea* e *T. molitor*).

Estatística	Glicose (mg/dL)	Proteína total (g/L)	Colesterol total (mg/dL)	Triglicérides (mg/dL)
Médias para Farinhas de Insetos (FI):				
H. illucens	63,99 ± 7,00	28,95 ± 2,36	150,07 ± 32,81	154,10 ± 36,95
N, cinerea	66,37 ± 7,43	28,69 ± 2,61	164,99 ± 32,39	139,75 ± 41,30
T, molitor	63,82 ± 6,77	30,05 ± 2,08	161,26 ± 29,50	130,55 ± 46,96
Médias para Níveis de Inclusão (NI):				
2,5%	65,93 ± 8,24	29,36 ± 2,86	151,05 ± 29,45	128,13 ± 39,11 [b]
5,0%	63,62 ± 5,64	29,08 ± 1,74	166,20 ± 32,20	156,36 ± 40,89 [a]
Efeito das Farinhas	ns	ns	ns	ns
Efeito dos Níveis	ns	ns	ns	**
Efeito da interação FI X NI	ns	ns	ns	ns
Coeficiente de variação (%)	10,72	7,99	19,31	27,46

Médias ± desvio padrão seguidas de letras diferentes na mesma coluna denotam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05). CV: coeficiente de variação, n s= não significativo , *= P<0,05.

Discussão

O presente estudo é o primeiro a avaliar diferentes insetos como fonte proteica na dieta do peixe nativo pacu e os resultados indicam que as farinhas de larvas de mosca soldado negra, larvas de tenébrio comum e barata cinérea são alternativas promissoras para alimentação das fases de vida iniciais do pacu.

Os juvenis de pacu aceitaram as dietas experimentais e não houve mortalidade. A substituição parcial da farinha de peixe por diferentes farinhas de insetos teve efeito sobre o desempenho dos juvenis de pacu. A menor inclusão das farinhas de *H. Illucens* e de *T. molitor* e a maior inclusão de *H. Illucens* e *N. cinerea* proporcionaram melhores resultados para peso final e ganho em peso. Por outro

lado, verificou-se que o aumento dietético da farinha de larvas de tenébrio prejudicou o crescimento dos peixes.

A farinha de larvas da mosca soldado negra tem sido considerada uma fonte proteica com alto potencial para substituir as fontes convencionais utilizadas em rações, pois diversos estudos, assim como este, têm evidenciado que dietas com esta farinha propiciaram o crescimento de diferentes espécies, como o *Carassius auratus* (Khieokhajonkhet et al., 2022), tambaqui (Santos et al., 2022), tilápia do Nilo (Kishawy et al., 2022), robalo europeu *Dicentrarchus labrax* (Mastoraki et al., 2020), dourada (*Sparus aurata*) (Mastoraki et al., 2022), peixe palhaço (Vargas-Abúndez et al., 2019), *Danio rerio* (Zarantoniello et al., 2020) e truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Biasato et al., 2022). A farinha de larvas de *Tenebrio molitor* também garantiu o crescimento e tem sido recomendada como fonte proteica alternativa na dieta de várias espécies de peixes, como *Micropterus salmoides* (Gu et al., 2022), percas europeias (*Perca fluviatilis*) (Tran et al., 2021), corvina amarela (Zhang et al., 2022), pargos negros (*Acanthopagrus schlegelii)* (Jeong et al., 2022), truta arco-íris (Belforti et al, 2015; Gasco et al., 2014), robalo europeu (Gasco et al., 2016), *Pagellus bagareveo* (Iaconisi et al, 2017), garoupa (Song et al, 2018), catfish amarelo (Su et al., 2017), tambaqui (Lira, 2015) e carpa-espelho (Li et al., 2022). Apesar de ser pouco estudada, a farinha de barata (*Nauphoeta cinerea*) também proporcionou desempenho zootécnico promissor para tilápia do Nilo (Tubin, 2017; Freccia et al, 2016).

A melhor conversão alimentar foi observada nos grupos de pacu alimentados com a farinha de larvas de mosca soldado negra, assim como nos tratados com o menor nível de inclusão das farinhas (2,5%). De forma idêntica, a farinha de larvas de mosca também resultou em melhor conversão alimentar do que a farinha de larvas de tenébrio para robalo europeu (Mastoraki et al, 2020). O consumo de ração foi menor com a dieta Nc2.5, o que provavelmente implicou no menor peso final e ganho em peso dos peixes alimentados com essa dieta. O consumo de ração pode ter sido influenciado pela palatabilidade, uma vez que o sabor dos insetos depende de inúmeros fatores, como feromônios que ocorrem em sua superfície, ambiente em que vivem, alimentação consumida, além dos mais, a presença de toxinas ou contaminantes e o processamento inadequado das farinhas de insetos podem causar sabores desagradáveis (Nogales-Mérida et al., 2018). Desta forma, sugere-

se que as farinhas de mosca soldado negra e tenébrio comum sejam mais palatáveis do que a farinha de barata, pois ao serem utilizadas em menores quantidades nas dietas foram mais consumidas pelos juvenis de pacu, ao mesmo tempo, o aumento da inclusão de farinha de barata pode ter melhorado a palatabilidade e, consequentemente, influenciado o aumento do consumo da dieta Nc5.0, que foi semelhante aos obtidos com as demais farinhas de insetos.

A redução do ganho em peso, da taxa de eficiência proteica e da eficiência de retenção de proteína dos juvenis de pacus alimentados com 5% de farinha de tenébrio pode estar relacionada com uma maior quantidade de quitina, assim como pode ter ocorrido um desequilíbrio de aminoácidos nesta dieta. O antagonismo entre leucina e isoleucina, que causa a supressão do crescimento, já foi observado em peixes alimentados com a farinha de *Tenebrio molitor* (Nógales-Merida et al., 2018). Corroborando o presente estudo, maiores níveis de larvas de tenébrio comum na dieta diminuíram a eficiência de utilização de ração e o crescimento de bagre (Ng et al., 2001), corvina amarela (Zhang et al., 2022), linguado *Paralichthys olivaceus* (Jeong et al., 2021) e robalo europeu (Gasco et al, 2016). Altos níveis de inclusão de farinha de larvas de mosca soldado negra reduziram o crescimento de barramundi *Lates calcarifer* (Katya et al., 2017), *Psetta maxima* (Kroeckel et al., 2012), híbrido de barbo limão (Kamarudin et al., 2021), *Danio rerio* (Zarantoniello et al., 2020) e *Totoaba macdonaldi* (Villanueva-Gutiérrez et al., 2022), do mesmo modo, níveis superiores a 10% de inclusão de farinha de barata cinérea reduziram o crescimento de tilápia do Nilo (Tubin, 2017), contrariamente, em nosso trabalho, o aumento destas farinhas não causou redução do crescimento. No entanto, outras investigações são necessárias a fim de testar os efeitos da inclusão de níveis mais baixos e altos destas farinhas de insetos na dieta de pacu.

Diversos fatores podem estar envolvidos nesses efeitos inconsistentes, como a espécie de peixe estudada e sua idade; as diferentes espécies de insetos e níveis de inclusão utilizados; a formulação da dieta; a qualidade dos ingredientes, principalmente das farinhas de insetos (Hua, 2021). Como a produção de farinha de insetos não é um processo padronizado, os diferentes substratos utilizados na criação e os métodos de processamento podem afetar sua qualidade, especialmente em relação ao valor nutricional (Mastoraki et al, 2022). Vale destacar que no presente estudo foram utilizadas três farinhas de insetos produzidas por

diferentes criadores, que utilizaram protocolos de alimentação e processamento distintos.

Ressalta-se que os diferentes resultados encontrados podem ser explicados pela capacidade das espécies de peixe em aproveitar ou não um determinado alimento, devido às características morfofisiológicas de seus tratos digestórios (Moraes e Almeida, 2014). Os insetos e outros artrópodes fazem parte da dieta natural de muitas espécies carnívoras e onívoras (Nogales-Mérida et al., 2018), que evolutivamente se adaptaram para digerir e assimilar os nutrientes destes animais (Sogari et al, 2019). O exoesqueleto dos artrópodes e as cutículas de anelídeos e moluscos contém quitina, polissacarídeo de N-acetilglucosamina com ligações β(1–4), sendo considerada indigerível para várias espécies de peixes, no entanto, peixes que se alimentam destes animais costumam apresentar em seu trato gastrointestinal a enzima quitinase, que é responsável pela hidrólise da quitina (Moraes e Almeida, 2014; Polakof et al., 2012). A porcentagem de quitina nas farinhas de insetos varia (100 mg/kg a 10% da matéria seca) entre diferentes espécies e estágios de desenvolvimento (Alfiko et al, 2022). Além disso, a alta incorporação de farinha de insetos na dieta dos peixes pode resultar em um alto nível de quitina, o que pode interferir nos processos digestivos e, assim, diminuir a eficiência alimentar e a ingestão de alimentos com subsequente efeito negativo no crescimento (Agbohessouet al., 2021). Geralmente, os impactos negativos do uso de insetos na alimentação de algumas espécies de peixe têm sido atribuídos à quitina. Por outro lado, estudos afirmaram que a quitina promove efeito antioxidante, imunoestimulante e prebiótico, melhorando a saúde e o crescimento de vários animais alimentados com farinhas de insetos (Mastoraki et al., 2020; Gasco et al., 2018). Logo, a função da quitina na alimentação aquática ainda é controversa e incipiente, principalmente em relação aos peixes nativos, como o pacu, consequentemente mais investigações são essenciais.

O pacu possui hábito alimentar onívoro, sendo caracterizado também como eurífago e oportunista (Sado et al., 2014), pois na natureza, na época das cheias, se alimenta de folhas, frutos, sementes e caules, mas na época seca, devido a pouca disponibilidade de alimento, consome insetos, crustáceos, moluscos e peixes (Silva, 1985). Os peixes cuja dieta é composta por uma grande variedade de alimentos, possuem maior plasticidade e especializações fisiológicas

(Gonçalves et al., 2013). Por tudo isto, evidencia-se que o pacu possui capacidade em digerir e assimilar as farinhas de larvas de insetos testadas, pois não houve mortalidade e nem sinais de animais doentes, além disso, os peixes apresentaram maior crescimento do que em outros estudos realizados com juvenis desta espécie (Boaratti et al., 2020; Abimorad et al., 2010, Abimorad e Carneiro, 2007; Bicudo et al., 2010, 2009).

Destaca-se que a gordura dietética afeta o armazenamento de gordura nas vísceras e no fígado de peixes (Huang et al., 2016) e que a substituição da farinha de peixe por farinha de insetos causa a redução dos ácidos graxos n-3 na dieta e o aumento dos ácidos linoleico e linolênico, levando a um desequilíbrio na proporção de ácidos graxos n-3/n-6, o que pode resultar em aumento da deposição de gordura no fígado (Mikołajczak et al., 2020; Xu et al., 2020). O fígado é o tecido metabólico primário e índices hepatossomáticos superiores a 2% podem indicar um comprometimento do metabolismo da glicose, gordura ou deficiência de vitaminas (Chemello et al., 2020). Os índices hepatossomáticos encontrados para o pacu utilizando farinhas de insetos diferiram, mas apresentaram valores abaixo de 1,6%, corroborando com estudos realizados com a espécie (Pereira et al., 2020; Takahashi et al., 2010; Bicudo et al., 2010; Abimorad et al., 2007). Os menores índices hepatossomáticos foram observados com o menor nível de inclusão das farinhas de barata e de tenébrio, provavelmente em função de um menor desequilíbrio de ácidos graxos nestas dietas quando comparadas às dietas com maiores níveis de inclusão destas farinhas e também com as dietas contendo farinha de mosca soldado negra. Os juvenis de pacu dos diferentes grupos dietéticos apresentaram índices viscerossomáticos semelhantes. Em estudos realizados com outras espécies de peixe, os índices hepatossomático e viscerosomático não foram influenciados em juvenis de tambaqui alimentados com farinha de larvas de mosca soldado negra (Santos, 2021) e em alevinos de tilápia do Nilo com farinha de barata cinérea (Freccia et al., 2016), apesar da inclusão de tenébrio comum não ter afetado o índice hepatossomático em tilápia do Nilo, foi observado efeito linear crescente sobre o índice viscerossomático (Tubin, 2017).

A composição corporal de cinzas e proteína não foi afetada pelas farinhas e níveis de inclusão. No entanto, a umidade corporal foi maior nos peixes alimentados com a farinha de barata cinérea. O teor de lipídio corporal dos pacus foi influenciado

pelas diferentes farinhas e níveis de insetos. A dieta Nc2.5 apresentou o menor teor de gordura corporal, talvez seja porque a farinha foi feita com a barata em sua fase adulta, possuindo um maior teor de quitina, o que pode ter interferido na digestão e absorção de nutrientes da dieta. A quitina pode inibir a absorção de lipídios no intestino, aumentando sua excreção (Fontes et al., 2019). De acordo com os conteúdos de quitina (%MS) encontrados por Weththasinghe et al. (2021) e Fontes et al. (2019), dentre as farinhas de insetos testadas no presente estudo, a de barata cinérea (24,36%) possui maior quantidade de quitina em comparação às de larvas de mosca soldado negra (8%) e de tenébrio comum (12,01%). Contrariamente, as demais dietas, notadamente a Tm2.5, resultaram em maior teor lipídico da carcaça de juvenis de pacu, pois a inclusão dos insetos pode ter aumentado a concentração de ácidos graxos saturados e reduzido a relação n-3/n-6, contribuindo assim para a lipogênese e a deposição de lipídios em peixe (Alves et al., 2020). A relação n-3/n-6 deve ter sido a menor na Dieta Tm2.5, pois as larvas de tenébrio comum contêm maior teor de ácido linoleico (18:2n-6) do que as larvas de mosca soldado negra (Makkar et al., 2014).

A inclusão dietética de larvas de tenébrio comum também causou aumento nas concentrações de lipídios corporais em bagre africano (Ng et al., 2001). Contrariamente aos nossos resultados, a substituição parcial do farinha de peixe pela farinha de tenébrio na dieta de robalo europeu resultou em menores teores corporais de matéria seca e gordura em comparação aos peixes alimentados com dietas contendo a farinha de mosca soldado negra (Mastoraki et al, 2020). Diversos estudos mostram que a composição corporal dos peixes não foi afetada pela inclusão das farinhas de insetos nas dietas, é o caso de: *Micropterus salmoides (*Gu et al., 2022) e robalo europeu (Gasco et al., 2016) alimentados com *Tenebrio molitor*; douradas (*Sparus aurata*) com mosca soldado negra, tenébrio comum ou mosca comum (Mastoraki et al., 2022); robalo euopeu com mosca soldado negra ou mosca comum (Mastoraki et a., 2020); barramundi (Katya et al., 2017) e salmão do Atlântico (Belghit et al., 2018) com *H. illucens*. Os resultados da literatura são incongruentes, mas as diferenças podem ser explicadas por inúmeros fatores. O teor de lipídios e a composição de ácidos graxos das dietas influenciam a composição corporal de gordura e de ácidos graxos de peixes teleósteos, consequentemente, seu acréscimo pode induzir a um aumento da gordura corporal

dos peixes (Moraes e Almeida, 2014). O teor de lipídio, a quantidade e o tipo de ácidos graxos dos insetos variam de acordo com a espécie e o estágio de vida do inseto, assim como pelos alimentos consumidos durante sua criação, além disso, a gordura pode ser extraída durante o processamento da farinha (Nogales-Mérida et al., 2018). A maioria dos insetos contém alta concentração de ácidos graxos saturados, por outro lado, contém quantidades insignificantes de ácido linolênico (18:3n-3) e de outros ácidos graxos poli-insaturados, sendo muito baixa a relação n-3/n-6 (Nogales-Mérida et al., 2018). Apesar disso, os perfis de ácidos graxos nas farinhas de insetos podem ser melhorados através do substrato utilizado durante a criação (Alfiko et al., 2022; Mohan et al., 2022). Além desses fatores, o metabolismo lipídico para o desenvolvimento de tecidos, deposição de gordura e mobilização funciona de forma diferenciada nas espécies de peixes (Weil et al, 2013). Os lipídios são altamente energéticos e rapidamente metabolizados pelos peixes, principalmente espécies carnívoras e marinhas, as quais apresentam capacidade limitada de utilizar carboidratos como fonte energética (Moraes e Almeida, 2014). Enquanto o pacu, espécie onívora e continental, tolera altos níveis de carboidratos na dieta e os utiliza de forma eficaz como fonte de energia (Ozório et al., 2010). Também tem grande tendência a depositar gordura corporal, pois, na natureza, a utiliza como fonte de energia para migração e desova ou para períodos de escassez de alimento, consequentemente, possui sistema fisiológico-metabólico adaptado para o armazenamento e reaproveitamento de reservas energéticas (Bicudo et al., 2013).

As análises de metabólitos séricos não são amplamente utilizadas devido à falta de valores padrões, mas são uma ferramenta muito útil para estimar o estado nutricional e o bem-estar dos peixes cultivados (Mastoraki et al, 2020). Os valores das concentrações sanguíneas de glicose, proteína, colesterol e triglicerídeos encontrados estão dentro do intervalo registrado em outros estudos realizados com o pacu (Pereira et al., 2020; Favero et al., 2018; Takahashi et al., 2010; 2006; Bicudo et al., 2009). Os teores de glicose, proteína e colesterol sanguíneos não foram influenciados pelas dietas, porém o aumento de 2,5% para 5,0% de inclusão das farinhas de insetos resultou em maior concentração plasmática de triglicérides nos juvenis de pacu. Possivelmente, a maior quantidade das farinhas de insetos, que contém altos teores de gordura, influenciou o teor e o perfil de ácidos graxos

dessas dietas e, consequentemente, contribuiu para o aumento do conteúdo de triglicerídeos no sangue. Os triglicerídeos são o principal componente dos lipídios ingeridos, que após a digestão e absorção, podem ser utilizados como reserva e fonte energética pelos peixes (Garcia et al., 2013; Moraes e Almeida, 2014). De acordo com Bicudo et al. (2009), as concentrações plasmáticas de triglicérides aumentam à medida que aumentam os níveis de lipídios na dieta. Em estudo com robalo europeu, os triglicerídeos não foram afetados pelas diferentes farinhas de insetos, porém maior colesterol plasmático foi observado nos peixes alimentados com a dieta contendo farinha de mosca soldado negra desengordurada e a dieta com farinha de peixe, que foram formuladas com mais óleo de peixe, em comparação aos alimentados com farinha de tenébrio (Mastoraki et al., 2020). Contrariamente ao presente estudo, os teores de triglicerídeos e proteína total do plasma foram reduzidos em *Micropterus salmoides* alimentados com altos níveis de inclusão (20,4% e 24,5%) de farinha de tenébrio (Gu et al., 2022). Os níveis plasmáticos de glicose, colesterol e triglicerídeos não foram afetados por três diferentes farinhas de insetos derivadas de larvas de *Tenebrio molitor* , *Hermetia illucens* ou *Musca domestica* em juvenis de dourada (*Sparus aurata*) (Mastoraki et al, 2022).

Os insetos têm sido considerados ingredientes alternativos bastante promissores, pois além de serem mais sustentáveis do que os ingredientes convencionais e apresentarem excelente composição de nutrientes, possuem compostos com propriedades que podem melhorar a saúde dos animais (Chaklader et al., 2021; Sogari et al, 2019; Gasco et al., 2018). Os compostos bioativos - quitina, ácido láurico e peptídeos antimicrobianos - são capazes de produzir efeitos anti-inflamatórios, imunoestimulantes, bactericidas, antivirais e antifúngicos em diversos animais de produção, inclusive em peixes, por isso têm sido apontados como alternativa ao uso de antibióticos (Gasco et al., 2018). Vários estudos têm revelado que animais aquáticos alimentados com insetos apresentam aumento no número de bactérias benéficas em seu intestino (Mohan et al., 2022; Foysal e Gupta, 2022). Logo, supõe-se que as farinhas de insetos tiveram efeito prebiótico e atuaram como promotoras de crescimento nos juvenis de pacu, pois não foram observados sinais de doenças, mortalidade, além do mais as dietas Tm2.5, Hi2.5, Hi5.0 e Nc5.0

promoveram maior ganho em peso dos peixes. No entanto, mais estudos são necessários para verificar os efeitos das farinhas de insetos na saúde de pacus.

Os resultados deste estudo podem contribuir na busca por alimentos alternativos para a nutrição e alimentação animal, incentivando o uso de ingredientes mais sustentáveis do que os alimentos convencionais. Além disso, esta informação pode ser importante para outros países da América Central e do Sul onde são criados pacu e espécies relacionadas. Mais estudos são recomendados para avaliar o efeito de níveis de inclusão no desempenho, composição e saúde em diferentes fases da criação de peixes.

Conclusão

As farinhas de insetos puderam ser incorporadas com sucesso como fonte de proteína animal, substituindo parcialmente a farinha de peixe sem quaisquer efeitos adversos no desempenho, composição corporal e bioquímica sanguínea de juvenis de *P. mesopotamicus*. Assim, considerando os resultados deste estudo, as farinhas de *H. illucens*, *T. Molitor* e *N. cinerea* podem ser utilizadas como ingredientes na dieta de juvenis de pacu. No entanto, são necessários estudos com mais níveis de inclusão destas farinhas para o pacu, assim como avaliação de outras variáveis.

Referências

Abimorad, E.G., Carneiro, D.J., 2004. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Rev. Bras. Zootec. 33, 1101–1109. https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000500001

Abimorad, E.G., Carneiro, D.J., 2007. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles - Fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. Aquac. Nutr. 13, 1–9. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00438.x

Abimorad, E.G., Favero, G.C., Squassoni, G.H., Carneiro, D.J., 2010. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for 15 pacu *Piaractus mesopotamicus*. Aquac. Nutr. 16, 370–377. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x

Abimorad, E.G., Squassoni, G.H., Carneiro, D.J., 2008. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus*

mesopotamicus. Aquac. Nutr. 14, 374–380. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x

Agbohessou, P.S., Mandiki, S.N.M., Gougbédji, A., Megido, R.C., Lima, L.M.W., Cornet, V., Lambert, J., Purcaro, G., Francis, F., Lalèyè, P.A., Kestemont, P., 2021. Efficiency of fatty acid-enriched dipteran-based meal on husbandry, digestive activity and immunological responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles. Aquaculture 545. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737193

Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R.T., Wong, J., Wang, L., 2022. Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. Aquac. Fish. 7, 166–178. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004

Alves, A.P. do C., Paulino, R.R., Pereira, R.T., Costa, D.V., Rosa, P.V., 2020. Nile tilapia fed insect meal: Growth and innate immune response in different times under lipopolysaccharide challenge. Aquac. Res. 52, 529–540. https://doi.org/10.1111/are.14911

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2012. Official Methods of Analysis, 15th. Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th ed.; Latimer George, W., Jr., Ed.; AOAC International Gaithersburg: Gaithersburg, MD, USA.

Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Zoccarato, I., Gasco, L., 2015. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. Ital. J. Anim. Sci. 14, 670–676. https://doi.org/10.4081/ijas.2015.4170

Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, Å., Lock, E.J., 2018. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 491, 72–81. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016

Biasato, I., Chemello, G., Oddon, S.B., Ferrocino, I., Corvaglia, M.R., Caimi, C., Resconi, A., Paul, A., van Spankeren, M., Capucchio, M.T., Colombino, E., Cocolin, L., Gai, F., Schiavone, A., Gasco, L., 2022. *Hermetia illucens* meal inclusion in low-fishmeal diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on the growth performance, nutrient digestibility coefficients, selected gut health traits, and health status indices. Anim. Feed Sci. Technol. 290, 115341. https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2022.115341

Bicudo, Á.J.A., Sado, R.Y., Cyrino, J.E.P., 2009. Growth and haematology of pacu, *Piaractus mesopotamicus* , fed diets with varying protein to energy ratio. Aquac. Res. 40, 486–495. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02120.x

Bicudo, A.J.A., Sado, R.Y., Cyrino, J.E.P., 2010. Growth performance and body composition of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887) in response to dietary protein and energy levels. Aquac. Nutr. 16, 213–222. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00653.x

Bicudo, A.J.A.; Abimorad, E.G; Carneiro, D.J., 2013. Exigências Nutricionais e Alimentação do Pacu. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 217-229.

Boaratti, A.Z., Nascimento, T.M.T., Khan, K.U., Mansano, C.F.M., Oliveira, T.S., Queiroz, D.M.A., Romaneli, R.S., Rodrigues, A.T., Sakomura, N.K., Fernandes, J.B.K., 2020. Assessment of the ideal ratios of digestible essential amino acids for pacu, *Piaractus mesopotamicus*, juveniles by the amino acid deletion method. J. World Aquac. Soc. 1–17. https://doi.org/10.1111/jwas.12740

Chaklader, M.R., Howieson, J., Fotedar, R., 2021. Growth, hepatic health, mucosal barrier status and immunity of juvenile barramundi, *Lates calcarifer* fed poultry by-product meal supplemented with full-fat or defatted *Hermetia illucens* larval meal. Aquaculture 543, 737026. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737026

Chemello, G., Renna, M., Caimi, C., Guerreiro, I., Oliva-Teles, A., Enes, P., Biasato, I., Schiavone, A., Gai, F., Gasco, L., 2020. Partially Defatted *Tenebrio molitor* Larva Meal in Diets for Grow-Out Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): Effects on Growth Performance, Diet Digestibility and Metabolic Responses. Animals 10, 229. https://doi.org/10.3390/ani10020229

Costa, D. V., 2021. Insetos como alimento na aquicultura – O que mudou desde 2019? Panorama da Aquicultura. n. 183.

FAO, 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO, Rome. https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0461en

Favero, G.C., Gimbo, R.Y., Franco Montoya, L.N., Zanuzzo, F.S., Urbinati, E.C., 2018. Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquac. Res. 49, 359–366. https://doi.org/10.1111/are.13466

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2000. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Alevinos de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. Bras. Zootec. 29, 646–653. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2001. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Juvenis de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. bras. zootec. 30, 617–626. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Fontes, T.V., Oliveira, K.R.B., Almeida, I.L.G., Orlando, T.M., Rodrigues, P.B., Costa, D.V., Rosa, P.V., 2019. Digestibility of insect meals for Nile tilapia fingerlings. Animals 9, 1–8. https://doi.org/10.3390/ani9040181

Foysal, M.J., Gupta, S.K., 2022. A systematic meta-analysis reveals enrichment of Actinobacteria and Firmicutes in the fish gut in response to black soldier fly (*Hermetica illucens*) meal-based diets. Aquaculture 549, 737760. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737760

Freccia, A., Meurer, E., Filho, J.C., Jerônimo, G.T., Emerenciano, M.G.C., 2016. Farinha de inseto em dietas de alevinos de tilápia. Arch. Zootec. 65, 541-547.

Furuya, W.M. 2010 Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. Toledo: GFM. 100.

Garcia, A.S.; Gonçalves, L.U.; Cavalli, R.O.; Viegas, E.M.M. 2013. Lipídios. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P. (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 79-99.

Gasco, L., Belforti, M., Rotolo L., Lussiana, C., Parisi G., Terova G., Roncarati A., Gai, F. 2014. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Abstr. B. Conf. Insects to Feed World.

Gasco, L., Finke, M., van Huis, A., 2018. Can diets containing insects promote animal health? J. Insects as Food Feed 4, 1–4. https://doi.org/10.3920/JIFF2018.x001

Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P., Chatzifotis, S., 2016. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. Anim. Feed Sci. Technol. 220, 34–45. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003

Glencross, A.B., Fracalossi, D., Hua, K., Izquierdo, M., Ma, K., Valente, M.P., Viana, M., Xie, S., Yakupityage, A., 2021. Harvesting the benefits of nutritional research to

address global challenges in the 21 st century, in: Global Conference on Aquaculture 2020 - Thematic Review. Shanghai, pp. 22–25 September 2021.

Gonçalves, L.U.; Rodrigues, A.P.O.; Moro, G.V.; Cargin-Ferreira, E.; Cyrino, J.E.P., 2013. Morfologia e Fisiologia do Sistema Digestório de Peies. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 9-36.

Gu, J., Liang, H., Ge, X., Xia, D., Pan, L., Mi, H., Ren, M., 2022. A study of the potential effect of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) substitution for fish meal on growth, immune and antioxidant capacity in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Fish Shellfish Immunol. 120, 214–221. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.024

Hardy, R.W., 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquac. Res. 41, 770–776. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x

Hua, K., 2021. A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. Aquaculture 530, 735732. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735732

Huang, Y., Wen, X., Li, S., Li, W., Zhu, D., 2016. Effects of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition, fatty acid profiles and antioxidant parameters of juvenile chu's croaker *Nibea coibor*. Aquac. Int. 24, 1229–1245. https://doi.org/10.1007/s10499-016-9980-5

Iaconisi, V., Marono, S., Parisi, G., Gasco, L., Genovese, L., Maricchiolo, G., Bovera, F., Piccolo, G., 2017. Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality treats of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). Aquaculture 476, 49–58. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.007

Jeong, S.M., Khosravi, S., Kim, K.W., Lee, B.J., Hur, S.W., You, S.G., Lee, S.M., 2022. Potential of mealworm, *Tenebrio molitor*, meal as a sustainable dietary protein source for juvenile black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. Aquac. Reports 22, 100956. https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2021.100956

Jeong, S.M., Khosravi, S., Yoon, K.Y., Kim, K.W., Lee, B.J., Hur, S.W., Lee, S.M., 2021. Mealworm, *Tenebrio molitor*, as a feed ingredient for juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquac. Reports 20, 100747. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100747

Jomori, R.K., Carneiro, D.J., Espagnoli, M.I., Martins, G., Portella, M.C., 2005. Economic evaluation of *Piaractus mesopotamicus* juvenile production in different rearing systems. Aquaculture 243, 175–183. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.034

Kamarudin, M.S., Rosle, S., Yasin, I.S., 2021. Performance of defatted black soldier fly pre-pupae meal as fishmeal replacement in the diet of lemon fin barb hybrid fingerlings. Aquac. Reports 21, 100775. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100775

Katya, K., Borsra, M.Z.S., Ganesan, D., Kuppusamy, G., Herriman, M., Salter, A., Ali, S.A., 2017. Efficacy of insect larval meal to replace fish meal in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* reared in freshwater. Int. Aquat. Res. 9, 303–312. https://doi.org/10.1007/s40071-017-0178-x

Khieokhajonkhet, A., Uanlam, P., Ruttarattanamongkol, K., 2022. Replacement of fish meal by black soldier fly larvae meal in diet for goldfish *Carassius auratus* : Growth

performance, hematology, histology, total carotenoids, and coloration. Aquaculture 561, 738618. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738618

Kishawy, A.T.Y., Mohammed, H.A., Zaglool, A.W., Attia, M.S., Hassan, F.A.M., Roushdy, E.M., Ahmed, T., Ibrahim, D., 2022. Partial defatted black solider larvae meal as a promising strategy to replace fish meal protein in diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Performance, expression of protein and fat transporters, and cytokines related genes and economic efficie. Aquaculture 555, 738195. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738195

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, H., Hu, Z., Liu, S., Sun, J., Ji, H., 2022. Influence of dietary soybean meal replacement with yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) on growth performance, antioxidant capacity, skin color, and flesh quality of mirror carp (*Cyprinus carpio* var. specularis). aquaculture 738686. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738686

Lira, J.A., 2015. Avaliação da farinha de tenébrio (*Tenebrio molitor*) na alimentação de juvenis de tambaqui. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Nilton Lins e Instituto de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil.

Makkar, Harinder P S, Tran, G., Heuzé, V., Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Anim. Feed Sci. Technol. 197, 1–33. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008

Mastoraki, M., Katsika, L., Enes, P., 2022. Insect meals in feeds for juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*): Effects on growth, blood chemistry, hepatic metabolic enzymes, body composition and nutrient utilization. Aquaculture 561, 738674. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738674

Mastoraki, M., Mollá Ferrándiz, P., Vardali, S.C., Kontodimas, D.C., Kotzamanis, Y.P., Gasco, L., Chatzifotis, S., Antonopoulou, E., 2020. A comparative study on the effect of fish meal substitution with three different insect meals on growth, body composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Aquaculture 528, 735511. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735511

Mikołajczak, Zuzanna, Mateusz Rawski, Jan Mazurkiewicz, Bartosz Kierończyk e Damian Józefiak. 2020. "The Effect of Hydrolyzed Insect Meals in Sea Trout Fingerling (*Salmo trutta* m. trutta) Diets on Growth Performance, Microbiota and Biochemical Blood Parameters" Animals 10, no. 6: 1031. https://doi.org/10.3390/ani10061031

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, G.; Almeida, L.C., 2014. Nutrição e Aspectos Funcionais da Digestão de Peixes. In: Baldisserotto, B.; Cyrino, J.E.P; Urbinati, E.C. (Eds), Biologia e Fisiologia de Peixes Neotropicais de Água Doce, Funep, Jaboticabal, SP, pp 233-252.

Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H., Bush, S.R., Cao, L., Klinger, D.H., Little, D.C., Lubchenco, J., Shumway, S.E., Troell, M., 2021. A 20-year retrospective review of global aquaculture. Nature 591, 551–563. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6

Ng, W., Liew, F., Ang, L., Wong, K., 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an

alternative protein source in practical diets for African cat fish, *Clarias gariepinus* Aquac. Res. 32, 273–280.

Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, A., 2018. Insect meals in fish nutrition. Rev. Aquac. 11, 1080–1103. https://doi.org/10.1111/raq.12281

Olsen, R.L., Hasan, M.R., 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. Trends Food Sci. Technol. 27, 120–128. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003

Ordoñez, B.M.; Santana, T.M.; Carneiro, D.P.; dos Santos, D.K.M.; Parra, G.A.P.; Moreno, L.C.C.; Teixeira Filho, N.P.; Aguilar, F.A.A.; Yamamoto, F.Y.; Gonçalves, L.U., 2022. Whole Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) as Dietary Replacement of Extruded Feed for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Juveniles. Aquac. J., 2, 246-256. https://doi.org/10.3390/aquacj2040014

Ozório, R.O.A., Turini, B.G.S., Môro, G. V., Oliveira, L.S.T., Portz, L., Cyrino, J.E.P., 2010. Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. Aquac. Nutr. 16, 276–283. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00662.x

Pereira, M. de M., Nagata, M.M., Enes, P., Oliva-Teles, A., Urbinati, E.C., Takahashi, L.S., 2020. Growth performance and metabolic responses to dietary protein/carbohydrate ratios in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles. Aquac. Res. 51, 5203–5211. https://doi.org/10.1111/are.14859

Polakof, S., Panserat, S., Soengas, J.L., Moon, T.W., 2012. Glucose metabolism in fish: a review. J. Comp. Physiol. B 182, 1015–1045. https://doi.org/10.1007/s00360-012-0658-7

Rios, C. 2022. Efeito da dieta à base de inseto (*Nauphoeta cinerea*) no crescimento, sistema imune, atividade enzimática, capacidade antioxidante e microbiota em *Litopenaeus vannamei*. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Bioquímica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Sado, R.Y.; Sousa, F.C.; Behr, E.R.; Baldisserotto, 2014. Anatomia de Teleósteos e Elasmobrânquios. In: Baldisserotto, B.; Cyrino, J.E.P; Urbinati, E.C. (Eds.), Biologia e Fisiologia de Peixes Neotropicais de Água Doce. Funep, Jaboticabal, SP, pp 13-38.

Santos, D.K.M. dos, Santana, T.M., Dantas, F. de M., Farias, A.B. de S., Epifânio, C.M.F., Prestes, A.G., Fonseca, F.A.L. da, Parisi, G., Viegas, E.M.M., Gonçalves, L.U., 2022. Defatted black soldier fly larvae meal as a dietary ingredient for tambaqui (*Colossoma macropomum*): Digestibility, growth performance, haematological parameters, and carcass composition. Aquac. Res. 53, 6762–6770. https://doi.org/10.1111/are.16143

Santos, D.K.M., 2021. Farinha de larva de mosca soldado negra como ingrediente em dietas para o tambaqui. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. Universidade Nilton Lins e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil.

Scorvo Filho, J.D., Frascá-Scorvo, C.M.D., Alves, J.M.C., Souza, F.R.A. de, 2010. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. Rev. Bras. Zootec. 39, 112–118. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300013

Silva, A.J. 1985, Aspectos de alimentação do pacu adulto, *Colossoma mitrei* (Berg, 1985) (Pisces, Characidae), no Pantanal de Mato Grosso. Dissertação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., Gasco, L., 2019. The Potential Role of Insects as Feed : A Multi-Perspective Review. Animals 9, 119. https://doi.org/10.3390/ani9040119

Song, S.G., Chi, S.Y., Tan, B.P., Liang, G.L., Lu, B.Q., Dong, X.H., Yang, Q.H., Liu, H.Y., Zhang, S., 2018. Effects of fishmeal replacement by *Tenebrio molito*r meal on growth performance, antioxidant enzyme activities and disease resistance of the juvenile pearl gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀). Aquac. Res. 49, 2210–2217. https://doi.org/10.1111/are.13677

Su, J., Gong, Y., Cao, S., Lu, F., Han, D., Liu, H., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., Xie, S., 2017. Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Fish Shellfish Immunol. 69, 59–66. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.08.008

Takahashi, L.S., Baldan, A.P., Urbinati, E.C., 2006. Growth performance and energetic metabolism of pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887), fed diets supplemented with ammonium metavanadate. Aquac. Res. 37, 1372–1377. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01577.x

Takahashi, L.S., Biller, J.D., Criscuolo-Urbinati, E., Urbinati, E.C., 2010. Feeding strategy with alternate fasting and refeeding: effects on farmed pacu production. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl). 95, 259–266. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01050.x

Tran, H.Q., Kiljunen, M., Doan, H. Van, Stejskal, V., 2021. European perch (*Perca fluviatilis*) fed dietary insect meal (*Tenebrio molitor*): From a stable isotope perspective. Aquaculture 545, 737265. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737265

Tubin, J.S.B., 2017. Farinha de insetos na alimentação de tilápias em sistemas bioflocos e recirculação de água. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, SC, Brasil.

Valenti, W.C., Barros, H.P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G.W., Cavalli, R.O., 2021. Aquaculture in Brazil: past, present and future. Aquac. Reports 19, 100611. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611

van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annu. Rev. Entomol. 58, 563–583. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704

van Huis, A., Oonincx, D.G.A.B., 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. Agron. Sustain. Dev. 37. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8

Varelas, 2019. Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and aeed: a review. Fermentation 5, 81. https://doi.org/10.3390/ fermentation5030081.

Vargas-Abúndez, A.J., Randazzo, B., Foddai, M., Sanchini, L., Truzzi, C., Giorgini, E., Gasco, L., Olivotto, I., 2019. Insect meal based diets for clown fish : Biometric, histological, spectroscopic, biochemical and molecular implications. Aquaculture 498, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.018

Villanueva-Gutiérrez, E., Rodriguez-armenta, C., Gonz, M.L., Perez-velazquez, M., 2022. Incorporating hydrolyzed soy protein or black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal into feeds for *Totoaba macdonaldi*. Aquaculture 554, 738152. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738152

Weil, C., Lefèvre, F., Bugeon, J. 2013Características e metabolismo de diferentes tecidos adiposos em peixes. Rev Fish Biol Fisheries 23, 157–173. https://doi.org/10.1007/s11160-012-9288-0

Weththasinghe, P., Hansen, J., Nøkland, D., Lagos, L., Rawski, M., Øverland, M., 2021. Full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effect on physical pellet quality, nutrient digestibility, nutrient utilization and growth performances. Aquaculture 530, 735785. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735785

Xu, X., Ji, H., Belghit, I., Sun, J., 2020. Black soldier fly larvae as a better lipid source than yellow mealworm or silkworm oils for juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. specularis). Aquaculture 527, 735453. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735453

Zarantoniello, 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. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734659

Zhang, Z., Yuan, J., Tian, S., Wu, Y., Liu, Y., Zhou, H., 2022. Effects of dietary vitamin E supplementation on growth , feed utilization and flesh quality of large yellow croaker Larimichthys crocea fed with different levels of dietary yellow mealworm *Tenebrio molitor* meal. Aquaculture 551, 737954. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737954

CAPÍTULO IV - DESEMPENHO DE JUVENIS DE PACUS *Piaractus mesopotamicus* (HOLMBERG, 1887) ALIMENTADOS COM RAÇÕES CONTENDO FARINHA DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRA *Hermetia illucens* (LINNAEUS, 1758)

Resumo

Um ensaio de 90 dias de alimentação foi conduzido para avaliar os efeitos de níveis de substituição da farinha de peixe pela farinha de *Hermetia illucens* no desempenho, composição corporal, índices somáticos e bioquímica sanguínea de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). As dietas Hi0, Hi2.5, Hi5.0, Hi7.5 e Hi10 possuíam níveis crescentes de substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra (0%, 25%, 50%, 75% e 100%, correspondendo a 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10,0% de inclusão de farinha de inseto). Foram distribuídos aleatoriamente 240 alevinos (6,27 g) nos cinco tratamentos (quatro tanques por tratamento; 12 peixes por tanque). A inclusão da farinha de *H. illucens* aumentou linearmente o peso final, o ganho em peso, a taxa de crescimento específica e o consumo de ração. No entanto, não afetou a conversão alimentar, os índices somáticos e a composição de proteína bruta e cinzas corporais. O teor de lipídio corporal foi maior nos peixes alimentados com a farinha de inseto quando comparando aos peixes alimentados com a dieta controle. A glicose, proteína total e triglicerídeos sanguíneos dos juvenis de pacu também não foram afetados pela substituição da farinha de peixe pela farinha de *H. illucens*. Os peixes alimentados com a dieta Hi10.0 apresentaram os maiores valores de peso final, ganho em peso e colesterol sanguíneo entre os grupos de pacu alimentados. Esses resultados sugerem que a farinha de larvas de mosca soldado negra pode ser utilizada como fonte proteica alternativa para pacus em crescimento inicial.

Palavras-chave: alimento alternativo, farinha de inseto, nutrição animal, sustentabilidade

Introdução

Estima-se que a aquicultura quase dobrará sua atual produção até 2050, deste modo para sustentar esses níveis de produção, grandes volumes de ração serão necessários, consequentemente, isso demandará maior fornecimento de matérias-primas, além de inovações na nutrição de animais aquáticos (FAO, 2022).

A farinha de larvas de mosca soldado negra *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Díptera: Stratiomyidae) tem despertado grande interesse como ingrediente

para rações de organismos aquáticos, pois contém alto teor de proteína (cerca de 60%) com um perfil de aminoácidos adequado, semelhante ao da farinha de peixes, como também é boa fonte de energia (10–30% de lipídios), vitaminas e minerais (Nogales-Mérida et al., 2018). Além disso, tem potencial para atender a crescente demanda por fontes de proteína, sendo mais sustentável do que as fontes tradicionais (farinha de peixe e farelo de soja) utilizadas na alimentação animal (Mohan et al., 2022). Por tudo isto, vários sistemas de produção de insetos estão sendo desenvolvidos em todo o mundo, desde aqueles usados por pequenos agricultores até aqueles adequados para instalações multimilionárias, que fabricam, principalmente, a farinha de larvas de mosca soldado negra (Ordoñez et al., 2022).

Diferentes estudos têm demonstrado que a farinha de *Hermetia illucens* pode substituir, parcial ou totalmente, a farinha de peixe ou o farelo de soja nas dietas de várias espécies de peixes, como o salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (Li et al., 2020), a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Biasato et al, 2022; Cho et al., 2022; Hossain et al., 2021), a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Agbohessou et al., 2021; Kishawy et al., 2022; Dietz e LIebert, 2018), a carpa capim (*Ctenopharyngodon idellus*) (Lu et al., 2020), o bagre africano (*Clarias gariepinus*) (Fawole at al., 2020), o *Carassius auratus* (Khieokhajonkhet et al., 2022) e o *Danio rerio* (Zarantoniello et al., 2020).

O pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) (Osteichthyes: Characidae) é amplamente cultivado na América do Sul (Gimbo et al., 2015), sendo um dos principais peixes produzidos pela piscicultura brasileira (Valenti et al., 2021). O pacu é um peixe onívoro, eurífago de amplo espectro ou oportunista (Sado et al., 2014), e tem demonstrado ser capaz de aproveitar eficientemente ingredientes de origem animal e vegetal (Fernandes et al., 2000, 2001; Abimorad e Carneiro, 2004; Abimorad et al, 2008; Fabregat et al., 2008; Ozório et al., 2010).

Neste contexto, com a finalidade de contribuir com o desenvolvimento sustentável da piscicultura, o presente estudo teve como objetivo investigar a inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) na dieta de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) em crescimento inicial, através da avaliação do desempenho zootécnico, índices somáticos, composição corporal e fisiologia sanguínea.

Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Modelagem em Nutrição de Peixes do Centro de Aquicultura da Unesp (Caunesp), Jaboticabal, SP, Brasil, seguindo os princípios éticos na experimentação animal propostos pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado (protocolo nº 319/21) pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Jaboticabal, SP, Brasil.

Dietas experimentais

A farinha de larvas de mosca soldado negra (Tabela 1) utilizada nas dietas experimentais foi produzida e doada pela empresa brasileira BSF Nutrição e Biotecnologia Ltda., Piracicaba, SP, Brasil.

Tabela 1. Composição química analisada da farinha da mosca soldado negra *H. illucens* (base na matéria natural).

Composição	Farinha *H. illucens*
Matéria seca (%)	96,02
Umidade (%)	3,98
Proteína bruta (%)	49,38
Extrato etéreo (%)	36,35
Matéria mineral (%)	9,68
Energia bruta (kcal/kg)	6041

As dietas experimentais foram formuladas para serem isoproteicas e isoenergéticas, atendendo as exigências nutricionais do pacu descritas por Fernandes et al. (2000, 2001), Abimorad e Carneiro (2004, 2007), Abimorad et al. (2008, 2010) e Boaratti et al. (2020). Os tratamentos foram constituídos por cinco dietas experimentais (tabela 2), sendo uma a dieta controle (isenta de farinha de insetos) e quatro contendo níveis crescentes de substituição (25%, 50%, 75% e 100%) da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra, correspondendo a 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10,0% de inclusão da farinha de inseto (Hi2.5, Hi5.0, Hi7.5 e Hi10.0, respectivamente). Para que as dietas

fossem isoenergéticas e isolipídicas, à medida que aumentou-se a inclusão de farinha de larvas de mosca soldado negra, o óleo de soja foi reduzido.

Tabela 2. Formulação e composição das dietas experimentais contendo diferentes níveis de mosca soldado negra (*H. illucens*).

	Controle	**Hi2.5**	**Hi5.0**	**Hi7.5**	**Hi10.0**
Ingredientes (%) Farelo de soja	30,10	30,10	30,10	30,10	30,10
Farinha de peixe	8,00	6,00	4,00	2,00	-
Farinha de *H. illucens*	-	2,51	5,02	7,51	10,00
Milho	31,10	31,10	31,10	31,10	31,10
Farelo de trigo	9,955	10,245	10,485	10,645	10,905
Quirera de arroz	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Glúten de milho	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
Óleo de Soja	4,00	3,20	2,45	1,80	1,05
Calcário	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Fosfato bicálcico	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
L-Lisina	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Suplemento mineral e vitamínico[1]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Antioxidante[2]	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Total	100	100	100	100	100
Composição analisada (%)					
Matéria seca	91,96	93,48	91,36	92,36	91,84
Umidade	8,04	6,52	8,64	7,64	8,16
Proteína bruta	31,39	31,96	30,66	30,38	30,52
Extrato etéreo	7,27	7,19	7,16	7,22	7,19
Matéria mineral	7,76	7,51	7,33	6,61	6,18
Energia bruta (kcal/kg)	4593	4571	4485	4520	4530

Co: controle ou dieta basal com 8% de farinha de peixe como fonte proteica; Hi2.5: dieta basal em que 25% da proteína da farinha de peixe foi substituída pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra ; Hi5.0: dieta basal em que 50% da proteína da farinha de peixe foi substituída pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi7.5: dieta basal em que 75% da proteína da farinha de peixe foi substituída pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi10.0: dieta basal em que 100% da proteína da farinha de peixe foi substituída pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra.

[1] Suplemento vitamínico e mineral: ácido fólico (1.250 mg); pantotenato de cálcio (1.200 mg); cobre (2.500 mg); ferro (15 g); iodo (375 mg;) manganês (12,5 g); selênio (87,5 mg); zinco (12,5 mg); cobalto (125 mg); Vit A (2.500 U I); Vit B12 (4000 mg); Tiamina B1 (4000 mg); Riboflavina B2 (4000 mg); Piridoxina B6 (4000 mg); Vit C (50.000 mg); Vit D3 (600.000 UI); Vit E (37.500); Vit K3 (3.750 mg); niacina (122.500 mg); biotina (15 mg).

[2] Banox - aditivo antioxidante: carbonato de cálcio, BHT (120 g/kg), ácido cítrico, dióxido de silício, BHA (10 g/kg) e propilgalato.

A farinha de larvas de mosca soldado negra e os demais ingredientes das dietas foram moídos em moinho com peneira de 5 mm e misturados em misturador do tipo Y da Fábrica de Rações do Laboratório de Ciências Avícolas (Lavinesp) da FCAV / Unesp, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. As dietas foram processadas na Fábrica de Ração do Instituto de Pesca de São Paulo, São José do Rio Preto, SP, Brasil, utilizando Extrusora Ferraz modelo E62 (temperatura de extrusão 90ºC e adição de 18 a 20% de água no pré-condicionador), em seguida, foram secas em tambor rotativo por cerca 12 minutos (temperatura de 90ºC a 110ºC). Depois, as rações foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em freezer a -20°C.

Para análise da composição química das amostras de ingredientes, farinha de larvas de mosca soldado negra e rações experimentais, os teores de matéria seca, proteína bruta, lipídios, cinzas e energia bruta foram determinados de acordo com a *Association of Official Agricultural Chemists* - AOAC (2012). O teor de matéria seca (MS) foi determinado submetendo-se as amostras à secagem em estufa a 105 ºC até peso constante. O teor de proteína bruta (PB) foi calculado pela obtenção do conteúdo de nitrogênio total, determinado pelo método de Kjeldahl e multiplicado pelo fator 6,25. As cinzas foram obtidas por combustão a 600 ºC em mufla. As análises de matéria seca, proteína bruta, cinzas e energia foram realizadas no Laboratório de Bromatologia do Lavinesp da FCAV / Unesp, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. O teor de gordura das farinhas de insetos foi determinado gravimetricamente após a extração com éter de petróleo pelo método de Soxhlet no Laboratório de Nutrição Animal da FCAV / Unesp, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil. As análises de lipídios das rações foram realizadas pelo método de hidrólise ácida no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do Caunesp, Jaboticabal, SP, Brasil.

Como não foi realizada análise da composição de aminoácidos da farinha de larvas de mosca soldado negra (*H. illucens*), foram aproveitados os resultados encontrados por Weththasinghe et al. (2021) para demonstrar o conteúdo de aminoácidos essenciais desta farinha, assim como obter os valores formulados das dietas experimentais (Tabela 3).

Tabela 3. Concentração de aminoácidos essenciais das farinhas de insetos e das dietas experimentais formuladas com valores encontrados na literatura.

	Farinha	**Dietas[1]**				
	Hi[1]	**Co**	***Hi*2.5**	***Hi*5.0**	***Hi*7.5**	***Hi10*.0**
Arginina	1,65	1,73	1,70	1,66	1,62	1,58
Histidina	0,88	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Isoleucina	1,48	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11
Leucina	2,9	2,41	2,42	2,43	2,44	2,45
Lisina	2,12	1,79	1,79	1,78	1,77	1,76
Metionina	0,63	0,46	0,45	0,44	0,43	0,43
Fenialanina	1,48	1,31	1,31	1,31	1,31	1,33
Treonina	1,34	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96
Valina	1,9	1,26	1,26	1,27	1,27	1,27
Triptofano	0,77	-	-	-	-	-

[1] Valores de aminoácidos essenciais da farinha de larvas de mosca soldado negra (*H. illucens*) de acordo com Weththasinghe et al.(2021).

Peixes e ensaio de alimentação

Os alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) foram produzidos e obtidos do Caunesp, Jaboticabal, SP, Brasil. Duas semanas antes do ensaio de alimentação, os peixes foram aclimatados às condições experimentais, sendo alimentados duas vezes por dia com ração comercial para peixes onívoros.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos, quatro repetições e 12 peixes por unidade experimental. Foram utilizados 240 alevinos de pacu, com peso médio de 6,19 ± 0,07 g, que foram distribuídos em 20 tanques de 200 L no sistema de recirculação de água do Laboratório de Modelagem em Nutrição de Peixes do Centro de Aquicultura da Unesp. O sistema é provido de aeração constante, temperatura controlada (28ºC) através de trocador de calor e abastecido por água oriunda da FCAV/Unesp.

Os animais foram alimentados com as dietas experimentais em duas refeições diárias (9:30 h e 17:30 h) durante 90 dias. A alimentação foi fornecida até a saciedade aparente. A quantidade de dieta consumida em cada parcela foi calculada semanalmente, através da pesagem dos recipientes de armazenagem das rações, antes e após o consumo.

Para manter a qualidade de água em condições adequadas para os peixes, eram realizadas periodicamente trocas parciais de água e limpezas de tanques, pedras porosas e filtros, além da substituição diária da manta acrílica (utilizada para reter sólidos em suspensão). Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados ao longo do experimento. A temperatura da água (27,05 ± 0,85 °C) foi monitorada diariamente através de termômetro. O pH (7,97 ± 0,20), o oxigênio dissolvido (6,67 ± 0,82 $mg.L^{-1}$) e a condutividade elétrica (131,89 ± 75,88 $\mu S.cm^{-1}$) foram analisados semanalmente, respectivamente, com os equipamentos peagâmetro EcoSense pH100A, oxímetro digital EcoSense DO200A e condutivímetro. Amostras de água foram coletadas semanalmente para análises laboratoriais de amônia (0,04 ± 0,01 $mg.L^{-1}$) e nitrito (0,0047± 0,0015 $mg.L^{-1}$), as quais foram realizadas no Laboratório Multiusuários do Caunesp, Jaboticabal, SP, Brasil. Os parâmetros físico-químicos da água mantiveram-se dentro dos níveis adequados para criação de peixes (Sipaúba-Tavares, 1994; Sipaúba-Tavares e Santeiro, 2013).

Análise de desempenho

Todos os peixes foram pesados, medidos e contados no início e no final do período experimental, sendo submetidos à jejum de 24 horas antes destes procedimentos.

O desempenho produtivo e os índices de utilização de nutrientes foram avaliados pelo peso final (PF), ganho em peso (GP), consumo de ração por dia (CRD), conversão alimentar (CA), taxa de crescimento específica (TCE) e taxa de eficiência proteica (TEP), conforme equações abaixo:

$$GP\ (g/peixe) = Peso\ final\ (g) - Peso\ inicial(g) \quad \text{(Equação 1)}$$

$$CRD\ (g/dia) = \frac{consumo\ de\ dieta\ por\ peixe(g)}{tempo\ (dias)} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$CA = \frac{ração\ consumida}{ganho\ em\ peso} \quad \text{(Equação 3)}$$

$$TCE\ (\%/dia) = \frac{Ln\ (g\ peso\ final) - Ln\ (g\ peso\ inicial)\ x\ 100}{tempo\ (dias)} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$TEP = \frac{ganho\ em\ peso\ (g)}{proteína\ bruta\ consumida\ (g)} \quad \text{(Equação 5)}$$

Composição corporal e eficiência de utilização de nutrientes

Para determinação da composição corporal, foram coletados 40 peixes da mesma população utilizada no experimento no início, e quatro de cada repetição ao final, que foram eutanasiados por aprofundamento do plano anestésico em benzocaína, e em seguida foram acondicionados em sacos plásticos e congelados em freezer (-20 °C). Os peixes coletados foram processados para preparação das amostras para determinação da matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral.

As análises químicas das amostras de peixes foram realizadas de acordo com a *Association of Official Agricultural Chemists* - AOAC (2012) para matéria seca, proteína bruta, lipídios e cinzas. Todas as análises foram realizadas em duplicata no Lavinesp da FCAV/ UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, Brasil.

Com os dados de composição corporal e de desempenho produtivo foi possível calcular a eficiência de utilização de nutrientes, através da eficiência de retenção de proteína bruta (ER_{PB}), proporção de proteína bruta no ganho em peso (PB_{GP}) e proporção de extrato etéreo no ganho em peso (EE_{GP}), de acordo com as seguintes equações:

$$ERPB\ (\%) = \frac{(PBf\ x\ Pf) - (PBi\ x\ Pi)}{CPB}\ x100 \quad \text{(Equação 6)}$$

$$PBGP\ (\%) = \frac{(PBf\ x\ Pf) - (PBi\ x\ Pi)}{Pf - Pi}\ x\ 100 \quad \text{(Equação 7)}$$

$$EEGP\ (\%) = \frac{(EEf\ x\ Pf) - (EEi\ x\ Pi)}{Pf - Pi}\ x\ 100 \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde: PBf, EEf: proteína bruta ou extrato etéreo final na carcaça; PBi, EEi: proteína bruta ou extrato etéreo inicial na carcaça; C_{PB}: média de consumo de proteína bruta da parcela; Pi, Pf: peso vivo médio inicial ou peso vivo médio final da parcela.

Bioquímica sanguínea e índices somáticos

Ao final do período experimental, foram coletados três peixes de cada repetição, totalizando 12 animais por tratamento. No dia da amostragem, após jejum de 24 horas, os peixes foram imediatamente anestesiados com benzocaína (0,1 $g.L^{-1}$) e o sangue retirado por punção caudal e transferido para micro tubos de centrifuga de 1,5 mL divididos em dois grupos: o primeiro sem anticoagulante e o segundo contendo 15 µL da solução EDTA + fluoreto de potássio (Glistab®). O sangue com anticoagulante foi centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos, para separação do plasma e posterior determinação da glicemia pelo kit comercial de Glicose (Método GOD-Trinder, Labtest® Referência: 133a). O sangue sem anticoagulante permaneceu por três horas em temperatura ambiente, sendo em seguida centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos para a separação do soro e determinação de triglicerídeos, proteína total e colesterol, através de kits comerciais da Labtest® (Referências: 87b, 99c e 13d, respectivamente). As análises de sangue foram realizadas no Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal, SP, Brasil.

Depois, estes animais foram eutanasiados para coleta e pesagem de vísceras e fígado, a fim de determinar os índices somáticos, viscerossomático (IV) e hepatossomático (IH), conforme equações abaixo:

$$Indice\ Hepatossomático\ (\%) = \frac{peso\ do\ fígado}{peso\ do\ peixe}\ x\ 100 \qquad \text{(Equação 9)}$$

$$Índice\ viscerossomático = \frac{peso\ vísceras}{peso\ do\ peixe}\ x\ 100 \qquad \text{(Equação 10)}$$

Análise Estatística

Os dados foram analisados pelo programa estatístico R (R versão 4.1.2), quanto à normalidade dos erros (Teste Cramer-von Mises), homocedasticidade (Teste BoxCox) e análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade. Quando apresentou significância estatística, foram aplicados testes de regressão polinomial, contrastes para 1 fator e exponencial, conforme melhor ajuste, para os níveis de substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra. Além de teste Tukey, a fim de evidenciar as diferenças entre os tratamentos.

Resultados

Parâmetros de desempenho, índices somáticos e utilização de nutrientes

Após o período de 90 dias de alimentação, a inclusão dietética da farinha de larvas de mosca soldado negra aumentou linearmente ($P \leq 0,05$) o peso final, ganho em peso corporal dos peixes, a taxa de crescimento específico (TCE), o consumo de ração diário e a eficiência de retenção de proteína bruta (Tabela 4). Enquanto isso, o extrato etéreo no ganho de peso foi significativamente maior ($P < 0,05$) nos grupos alimentados com a farinha de larvas de mosca soldado negra em comparação ao grupo controle (Tabela 4). Além disso, não houve mortalidade e diferenças significativas ($P \geq 0,05$) para conversão alimentar e taxa de eficiência proteica (Tabela 4).

Também não houve diferenças significativas ($P \geq 0,05$) para índice hepatossomático, índice viscerossomático e proporção de proteína bruta no ganho de peso entre os grupos experimentais (Tabela 5).

Composição química corporal de peixes inteiros

Os teores de proteína bruta (PB) e cinzas (MM) do corpo inteiro de juvenis de pacu alimentados com até 100% de substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra não apresentaram

diferenças significativas ($P \geq 0,05$, Tabela 6). De outro modo, o teor de água corporal dos juvenis de pacu reduziu linearmente ($P < 0,05$, Tabela 6).

Enquanto isso, a substituição da farinha de peixe por farinha de larvas de mosca soldado negra mostrou um aumento significativo ($P < 0,05$) no teor de lipídios (EE) da composição corporal total dos peixes em comparação ao grupo controle (Tabela 6).

Bioquímica sanguínea

A glicose, proteína total e triglicerídeos sanguíneos não foram afetados significativamente ($P \geq 0,05$) pela substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra (Tabela 7). Entretanto, o colesterol total teve aumento linear ($P \leq 0,05$) conforme a inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra (Tabela 7).

Tabela 4. Parâmetros de desempenho de juvenis de pacu (*P. mesopotamicus*) alimentados com diferentes níveis de substituição da ´proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de *H.illucens*.

	Controle	Hi2.5	Hi5.0	Hi7.5	Hi10.0	Valor de P	EPR	Equação	R²
PF (g)	153,27 ± 6,07^{c}	164,32 ± 4,20^{bc}	171,88 ± 4,72^{ab}	172,86 ± 6,06^{ab}	184,59 ± 3,99^{a}	0,000004	5,137	y= 155,15+ 2,85x	0,82
GP (g)	147,04 ± 6,05^{c}	158,14 ± 4,22^{bc}	165,45 ± 5,25^{ab}	166,40 ± 6,22^{ab}	178,23 ± 4,3^{a}	0,000006	5,2799	y= 148,93 + 2,83x	0,80
TCE (%)	3,56 ± 0,04^{b}	3,64 ± 0,03^{ab}	3,65 ± 0,12^{ab}	3,65 ± 0,12^{ab}	3,74 ± 0,08^{a}	0,01896	0,0770	y= 3,57 + 0,015x	0,36
CRD (g)	2,03 ± 0,07^{c}	2,15 ± 0,07^{bc}	2,28 ± 0,12^{abc}	2,37 ± 0,16^{ab}	2,44 ± 0,07^{a}	0,00003	0,0924	y= 2,05 + 0,04x	0,75
CA	1,24 ± 0,03	1,24 ± 0,02	1,25 ± 0,04	1,24 ± 0,04	1,25 ± 0,03	0,599	0,0372		
TEP	2,56 ± 0,06	2,55 ± 0,03	2,63 ± 0,08	2,57 ± 0,12	2,66 ± 0,01	0,135	0,0704		

As médias (n=4) ± desvio padrão na mesma linha, com diferentes letras, são significativamente diferentes ($P \leq 0,05$).
P30 dias= Peso aos 30 dias, P60 dias= Peso aos 60 dias, PF =Peso final, GP =Ganho de peso, TCE =Taxa de crescimento específico, CRD =Consumo de ração diário, CA =Conversão alimentar, TEP=Taxa de Eficiência Proteica, EPR = Erro Padrão Residual.
Co: dieta basal com 8% de farinha de peixe como fonte proteica; Hi2.5: dieta basal em que 25% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra ; Hi5.0: dieta basal em que 50% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi7.5: dieta basal em que 75% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi10.0: dieta basal em que 100% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra.

Tabela 5. Índices somáticos (n=12) e utilização de nutrientes (n=4) de juvenis de pacu (*P. mesopotamicus*) alimentados com diferentes níveis de substituição da ´proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de *H.illucens*.

	Controle	Hi2.5	Hi5.0	Hi7.5	Hi10.0	Valor de P	EPR	Equação	R²
IH (%)	1,50 ± 0,10	1,49 ± 0,21	1,41 ± 0,15	1,43 ± 0,20	1,43 ± 0,17	0.0489	0,5102		
IV (%)	4,21 ± 0,34	4,02 ± 0,56	4,06 ± 0,65	3,98 ± 0,40	3,71± 0,46	0,0563	0,3092		
ER_{PB} (%)	39,78 ± 1,16	39,93 ± 0,80	41,12 ± 2,15	40,42 ± 1,77	42,44± 1,75	0,0388	1,508	y= 39,6007 + 0,2312x	0,24
PB_{GP} (%)	15,83 ± 0,27	15,49 ± 0,20	15,78 ± 0,55	15,74 ± 0,23	15,75 ± 0,71	0,9622	0,4372		
EE_{GP} (%)	14,43 ± 0,90^{b}	15,97 ± 0,29^{a}	15,54 ± 0,73^{ab}	16,68 ± 0,78^{a}	16,42 ± 0,25^{a}	0,0016	0,7343	Y= -0,62*(x<2,89)*(2,89-x)+16,2	0,51

As médias ± desvio padrão na mesma linha, com diferentes letras, são significativamente diferentes ($P \leq 0,05$).
IH= Índice hepatossomático, IV= Índice viscerossomático, ER_{PB}= Eficiência de Retenção de Proteína Bruta, PB_{GP}= Proporção de Proteína Bruta no Ganho de Peso, EE_{GP}= Proporção de Extrato Etéreo no Ganho de Peso, EPR = Erro Padrão Residual.
Co: dieta basal com 8% de farinha de peixe como fonte proteica; Hi2.5: dieta basal em que 25% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra ; Hi5.0: dieta basal em que 50% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi7.5: dieta basal em que 75% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi10.0: dieta basal em que 100% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra.

Tabela 6. Composição corporal (%) de juvenis de pacu (*P. mesopotamicus*) alimentados com diferentes níveis de substituição da ´proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de *H. illucens* (valores expressos em matéria natural).

	Início	Controle	Hi2.5	Hi5.0	Hi7.5	Hi10.0	Valor de P	EPR	Equação	R²
Água (%)	82,18 ± 0,04	65,57 ± 1,20^{a}	64,84 ± 0,72^{ab}	64,89 ± 0,79^{ab}	64,32 ± 0,69^{ab}	63,97 ± 0,76^{b}	0,0086	0,7953	Y= 65,46 -0,1482x	0,33
PB (%)	12,63 ± 0,02	15,69 ± 0,25	15,38 ± 0,20	15,53 ± 0,28	15,45 ± 0,17	15,32 ± 0,47	0,1414	0,2727		
EE (%)	1,47 ± 0,14	13,51 ± 0,54^{b}	15,43 ± 0,29^{a}	15,27 ± 0,40^{a}	15,80 ± 0,48^{a}	15,87 ± 0,20^{a}	0,00003	0,4147	Y= -0,77*(x<2,81)*(2,81-x)+15.67	0,82
MM (%)	3,08 ± 0,01	3,64 ± 0,25	3,31 ± 0,07	3,67 ± 0,40	3,39 ± 0,47	3,43 ± 0,30	0,3384	0,5524		

As médias (n=4) ± desvio padrão na mesma linha, com diferentes letras, são significativamente diferentes ($P \leq 0,05$).
PB =Proteína bruta, EE=Extrato etéreo, MM=Matéria mineral, EPR = Erro Padrão Residual.
Co: dieta basal com 8% de farinha de peixe como fonte proteica; Hi2.5: dieta basal em que 25% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra ; Hi5.0: dieta basal em que 50% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi7.5: dieta basal em que 75% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi10.0: dieta basal em que 100% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra.

Tabela 7. Parâmetros bioquímicos séricos de juvenis de pacu (*P. mesopotamicus*) alimentados com diferentes níveis de substituição da proteína da farinha de peixe pela proteína da farinha de larvas de *H. illucens*.

	Co	Hi2.5	Hi5.0	Hi7.5	Hi10.0	EPR	Valor de P	Equação	R²
Glicose (mg/dL)	64,94 ± 4,31	63,71 ± 7,88	64,21 ± 6,53	66,01 ± 6,91	66,16 ± 6,15	6,271	0,4408		
Proteína total (g/L)	27,40 ± 3,11	27,86 ± 4,21	28,60 ± 2,08	29,24 ± 5,07	28,03 ± 2,85	3,561	0,4474		
Colesterol total (mg/dL)	145,45 ± 23,95^{b}	151,79 ± 40,30^{b}	165,37 ± 44,17^{ab}	177,41± 34,44^{ab}	203,26 ± 28,68^{a}	34,69	0,0001	Y= 140,24 + 5,83X	0,27
Triglicérides (mg/dL)	140,95 ± 58,72	159,78 ± 43,81	157,77 ± 42,67	148,46 ± 60,89	155,84 ± 44,05	48,08	0,8402		

As médias (n=12) ± desvio padrão na mesma linha, com diferentes letras, são significativamente diferentes ($P \leq 0,05$).
MS =Matéria seca, Água, PB =Proteína bruta, EE=Extrato etéreo, MM=Matéria mineral, EPR = Erro Padrão Residual.
Co: dieta basal com 8% de farinha de peixe como fonte proteica; Hi2.5: dieta basal em que 25% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra ; Hi5.0: dieta basal em que 50% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi7.5: dieta basal em que 75% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra; Hi10.0: dieta basal em que 100% de farinha de peixe foi substituída por farinha de larvas de mosca soldado negra.

Discussão

As larvas da mosca-soldado negra têm sido uma fonte potencial de proteína animal para animais aquáticos, mas há pouca informação disponível sobre o impacto da farinha no crescimento e na saúde de peixes nativos. O presente estudo é o primeiro a avaliar o efeito da substituição dietética da farinha de peixe pela farinha de larvas de mosca soldado negra em juvenis de pacu.

A farinha de larvas de mosca soldado negra apresenta composição nutricional semelhante a outros ingredientes proteicos comuns utilizados na nutrição animal. O teor de proteína bruta (42%) desta farinha é semelhante ao de ingredientes como farelo de soja (Katya et al., 2017; Abimorad et al., 2008) farelo de algodão (Furuya, 2010) e farinha de carne e ossos (Furuya, 2010; Abimorad e Carneiro, 2004). Além de ingrediente proteico, em nosso estudo foi utilizado como fonte energética (6043 kcal/kg) e lipídica (38% EE), visto que à medida que aumentamos a inclusão de farinha de larvas de mosca reduzimos o conteúdo de óleo de soja nas dietas.

Os juvenis de pacu aceitaram as dietas experimentais e não houve mortalidade. O desempenho de juvenis de pacu melhorou significativamente à medida que a farinha de larvas de mosca soldado negra foi incluída nas dietas. Os resultados obtidos corroboram com a revisão feita por Mohan et al. (2022), onde afirmam que a farinha de larvas da mosca soldado negra regula a sobrevivência e o crescimento de animais aquáticos cultiváveis. A inclusão dietética de farinha de larvas de mosca soldado negra também aumentou linearmente o peso corporal final, ganho em peso e taxa de crescimento específico de peixes dourados *Carassius auratus* (Khieokhajonkhet et al., 2022). Diversos estudos tem demonstrado que os peixes alimentados com farinha de mosca soldado negra apresentaram desempenho semelhante aos alimentados com farinha de peixe como fonte de proteína da dieta, é o caso do tambaqui (Santos et al., 2022), tilápia do Nilo (Agbohessou et al., 2021; Kishawy et al., 2022), robalo europeu *Dicentrarchus labrax* (Mastoraki et al., 2020), dourada (*Sparus aurata*) (Mastoraki et al., 2022), peixe palhaço (Vargas-Abúndez et al., 2019), *Danio rerio* (Zarantoniello et al., 2020) e truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Biasato et al., 2022). No entanto, altos níveis de inclusão de farinha de larvas de mosca soldado

negra reduziram o crescimento de barramundi *Lates* calcarifer (acima de 46,2% de inclusão, Katya et al., 2017), *Psetta maxima* (acima de 16,5%, Kroeckel et al., 2012), híbrido de barbo limão (10% de inclusão, Kamarudin et al., 2021), *Danio rerio* (acima de 35%, Zarantoniello et al., 2020) e *Totoaba macdonaldi* (acima de 25%, Villanueva-Gutiérrez et al., 2022). Pelo contrário, no presente estudo foi observado que a substituição total da farinha de peixe pela farinha de mosca soldado negra melhorou o desempenho dos juvenis de pacu. Ressalta-se que a farinha de peixe não é um ingrediente limitante para esta espécie, visto que apresenta desempenho satisfatório mesmo quando alimentada com dietas isentas de farinha de peixe (Fernandes et al., 2000, 2001).

Estes contrastes em relação ao desempenho podem ter várias justificativas, como a qualidade variável das farinhas de larvas de mosca soldado negra utilizadas nos estudos e também seus diferentes níveis de inclusão nas dietas (Hua, 2021; Weththasinghe et al., 2021), ou provavelmente, sejam resultado de diferenças nas características dos tratos digestórios das espécies de peixes e na eficiência com que o alimento ingerido é digerido e assimilado por elas (Moraes e Almeida, 2014). Ao longo da evolução, a morfologia do sistema digestório dos peixes se desenvolveu para assegurar que a ingestão, digestão e assimilação de nutrientes fossem adequadas ao hábito alimentar da espécie, no entanto, o trato digestório dos peixes exibe certa flexibilidade fenotípica em resposta a alterações na dieta, tal plasticidade é mais frequente em espécies de hábito alimentar onívoro que naturalmente consomem dietas com composição bastante variável (Gonçalves et al., 2013). O pacu possui hábito alimentar onívoro, eurífago de amplo espectro e oportunista (Sado et al., 2014). De acordo com estudo realizado por Silva (1985), a maior parte (45%) do conteúdo estomacal de pacus coletados no Pantanal do Mato Grosso era constituída por itens vegetais, como folha, frutos e sementes, mas também havia itens animais (10%), como crustáceos, restos de peixes e moluscos. Por tudo isto, acredita-se que o pacu possui capacidade em digerir e assimilar a farinha de larvas de mosca soldado negra, visto que os pacus alimentados com este ingrediente apresentaram maior desempenho do que os alimentados com a farinha de peixe.

Todavia, mais pesquisas sobre o uso desta farinha na dieta de pacu devem ser realizadas, uma vez que alguns estudos relataram que altos valores de farinhas

de larvas de mosca soldado negra, além de prejudicar o desempenho, podem causar problemas na eficiência de utilização das dietas, danos na histomorfologia intestinal e hepática, reduzir o teor corporal de ácidos graxos altamente insaturados e aumentar o estresse dietético em diferentes espécies de peixe (Dietz e Liebert, 2018; Lu et al., 2020; Li et al., 2017; Kamarudin et al., 2021; Zarantoniello et al., 2020).

Geralmente, estes impactos negativos nos peixes alimentados com larvas de mosca soldado negra têm sido atribuídos à presença de quitina (componente do exoesqueleto dos insetos) na dieta. A quitinase, enzima responsável pela hidrólise de quitina, está presente no sistema digestório de muitas espécies de peixes que se alimentam de artrópodes, anelídeos e moluscos (Moraes e Almeida, 2014). No entanto, nem todas as espécies conseguem produzi-la, tornando a quitina indigerível (Katya et al, 2017), o que pode afetar a digestibilidade e a utilização de outros nutrientes da dieta (Agbohessouet al., 2021). Até mesmo nos peixes capazes de produzir a quitinase, a alta incorporação de farinha de insetos na dieta (possibilidade de ter elevado nível de quitina), também pode reduzir a digestibilidade da dieta e induzir a uma inflamação intestinal. Por outro lado, tem sido relatado que a quitina promove efeito antioxidante, imunoestimulante e prebiótico, melhorando a saúde e o crescimento de vários animais alimentados com farinhas de insetos (Mastoraki et al., 2020; Gasco et al., 2018). Logo, a função da quitina na alimentação aquática ainda é controversa e incipiente, principalmente em relação aos peixes nativos, como o pacu, consequentemente mais pesquisas são fundamentais.

A substituição dietética da farinha de peixe pela farinha de mosca soldado negra não afetou a conversão alimentar, os índices hepatossomático e viscerossomático. Tal como neste estudo, a inclusão de mosca soldado negra não teve efeito na taxa de conversão alimentar, índice viscerosomático e índice hepatossomático de trutas arco íris *Oncorhynchus mykiss* (Bordignon et al., 2022; Biasato et al., 2022), do mesmo modo, não influenciou os índices viscerosomático e hepatossomático de *Carassius auratus* (Khieokhajonkhet et al., 2022) e de *Sparus aurata* (Mastoraki et al., 2022).

A inclusão da farinha de larvas de mosca soldado negra não alterou a composição corporal em proteína e minerais dos juvenis de pacu, porém reduziu o

teor de umidade e aumentou o teor de gordura corporal. De forma idêntica, Ng et al. (2001) verificou que exemplares de *Clarias gariepinus* alimentados com dietas contendo *Tenebrio molitor* mostraram um aumento no nível de gordura total sem mudanças significativas nos níveis de proteína quando comparados aos peixes tratados com a dieta controle. Diferentes estudos mostram uma tendência de aumento da gordura corporal quando a farinha de peixe é substituída por farinha de insetos (Zarantoniello et al., 2020; Khieokhajonkhet et al., 2022; Alves et al., 2020; Kamarudin et al., 2021).

O maior teor de gordura corporal observado nos peixes alimentados com dietas contendo farinha de inseto pode ser explicado pelo alto teor de gordura e de ácidos graxos saturados, assim como pela redução da relação n-3/n-6 (Alves et al., 2020) da farinha de mosca soldado negra em relação à farinha de peixe. A mosca soldado negra é uma das espécies de inseto com maior proporção de gordura, variando entre 11% e 49% (Makkar et al., 2014; Nogales-Mérida et al., 2018). A composição de ácidos graxos é semelhante ao óleo de coco, contendo maiores proporções de ácidos graxos de cadeia média, principalmente o ácido láurico (C12:0, representa 21-50% do total de ácidos graxos) (Xu et al., 2020), não possuindo os ácidos graxos de cadeia longa altamente insaturados (n-3) (Xu et al., 2021). Deste modo, o desequilíbrio de ácidos graxos n-3/n-6 pode aumentar a lipogênese e levar à deposição de lipídios em peixes (Alves et al., 2020), conforme observado no presente estudo. No entanto, é possível melhorar o perfil de ácidos graxos do inseto através do substrato utilizado durante a sua criação (Alves et al., 2020; Xu et al., 2021; Makkar et al., 2014). Apesar do aumento de gordura corporal nos juvenis de pacu, a substituição crescente da farinha de peixe pela farinha de larvas de mosca soldado negra, contendo alto teor de lipídios, implicou na redução da adição de óleo de soja nas dietas e, ainda, melhorou o desempenho. Desta forma, são necessários mais estudos utilizando este inseto como fonte energética para o pacu, visto que o óleo de larvas de mosca soldado negra tem mostrado resultados promissores. Por exemplo, em dietas para juvenis de carpa Jian, pode substituir completamente o óleo de soja sem afetar negativamente o desempenho (Li et al., 2016), enquanto para juvenis de carpa espelho (*Cyprinus carpio*), influenciou positivamente o desempenho e o sistema imunológico (Xu et al., 2020), além disso, melhorou o desempenho e o aproveitamento alimentar quando foi

utilizado óleo de larvas de mosca soldado negra enriquecido com ácidos graxos altamente insaturados n-3 (50% a 100% de substituição do óleo de soja) (Xu et al., 2021).

Além disso, o pacu tem grande tendência a depositar gordura corporal, pois possui sistema fisiológico-metabólico adaptado para o armazenamento e reaproveitamento de reservas energéticas (Bicudo et al., 2013). Dado que na natureza, a alimentação do pacu depende da sazonalidade ambiental e disponibilidade de alimento (Silva 1985), além de sofrer influência do processo de migração reprodutiva. De acordo com Bicudo et al. (2013) para a fase de crescimento inicial (até 350-400 g), o acúmulo de gordura corporal pode ser interessante para peixes que irão passar por uma situação de estresse, como manejo de transferência para outros tanques ou período de inverno (regiões sul e sudeste brasileira), no qual a taxa de alimentação tende a reduzir; por outro lado, isso deve ser evitado em peixes maiores (1 - 3 kg).

Outro fator que pode ter contribuído para a alta composição de gordura corporal dos juvenis de pacu foi o uso da farinha de larvas de mosca soldado negra na forma integral, ou seja, a farinha utilizada não sofreu processo para extração de gordura. Ao contrário do que ocorreu em nosso estudo, o aumento dos níveis de farinha parcialmente desengordurada de mosca soldado negra diminuiu o teor de gordura corporal em tilápia do Nilo (Kishawy et al., 2022). A inclusão da farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra não alterou a composição corporal do tambaqui (Santos et al., 2022), do robalo europeu (Mastoraki et al., 2020) e de dourada (*Sparus aurata*) (Mastoraki et al., 2022).

O conteúdo de glicose, proteína e triglicérides sanguíneos dos juvenis de pacu não foi modificado pelo aumento da farinha de larvas de mosca soldado negra. Em contrapartida, os pacus tratados com o nível mais elevado de substituição da farinha de peixe pela farinha de mosca soldado negra (Hi10.0) apresentaram maior teor de colesterol sanguíneo.

Assim como em nosso estudo, Ordoñez et al. (2022) verificou que os níveis plasmáticos de colesterol total foram maiores em tambaquis tratados com larvas inteiras de mosca soldado negra quando comparados aos que receberam ração. Santos et al. (2022) também constataram aumento no nível de colesterol total no

plasma de tambaquis alimentados com os níveis mais altos de inclusão de farinha desengordurada de larvas de mosca soldado negra.

O colesterol é alterado pela concentração de lipídios disponíveis na dieta ou ainda pode estar associado à mobilização de reservas energéticas (Li et al, 2018). Provavelmente, o maior consumo da farinha de larvas de mosca soldado negra, que contém alto teor de gordura, refletiu no maior teor de colesterol plasmático dos pacus alimentados com a dieta Hi10.0. Apesar do aumento, os valores encontram-se na faixa normal para a espécie (Favero et al., 2018; Pereira et al., 2020).

A larva de mosca soldado negra tem sido considerada uma alternativa de ingrediente sustentável bastante promissora, além de apresentar excelente composição de nutrientes, possui compostos com propriedades que podem melhorar a saúde dos animais (Chaklader et al., 2021; Sogari et al, 2019; Gasco et al., 2018). Os compostos bioativos - quitina, ácido láurico e peptídeos antimicrobianos - são capazes de produzir efeitos anti-inflamatórios, imunoestimulantes, bactericidas, antivirais e antifúngicos em diversos animais de produção, inclusive em peixes, por isso têm sido apontados como alternativa ao uso de antibióticos (Gasco et al., 2018). Vários estudos confirmam que a farinha de mosca soldado negra modula a microbiota intestinal de animais aquáticos, aumentando o número de bactérias benéficas e sua diversidade no intestino dos peixes (Mohan et al., 2022; Foysal e Gupta, 2022). Logo, supõe-se que a farinha de larvas de mosca soldado negra teve efeito prebiótico e atuou como promotora de crescimento nos juvenis de pacu, pois os peixes alimentados com a farinha de inseto apresentaram maior ganho em peso do que os peixes que receberam a dieta controle. No entanto, estudos precisam ser realizados para confirmar esta hipótese.

Conclusão

Sob as condições do nosso estudo, a proteína da farinha de peixe pode ser completamente substituída pela proteína da farinha de larvas de mosca soldado negra na dieta de juvenis de pacu. Portanto, pode ser considerada uma fonte alternativa de proteína para a formulação de dietas para juvenis de pacu, porém são necessárias outras investigações.

Referências

Abimorad, E.G., Carneiro, D.J., 2004. Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Protéica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus*. R. Bras. Zootec. 33, 1101–1109.

Abimorad, E.G., Carneiro, D.J., 2007. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles - Fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. Aquac. Nutr. 13, 1–9. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00438.x

Abimorad, E.G., Favero, G.C., Squassoni, G.H., Carneiro, D., 2010. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu *Piaractus mesopotamicus*. Aquac. Nutr. 16, 370–377. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x

Abimorad, E.G., Squassoni, G.H., Carneiro, D.J., 2008. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. Aquac. Nutr. 14, 374–380. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x

Agbohessou, P.S., Mandiki, S.N.M., Gougbédji, A., Megido, R.C., Lima, L.M.W., Cornet, V., Lambert, J., Purcaro, G., Francis, F., Lalèyè, P.A., Kestemont, P., 2021. Efficiency of fatty acid-enriched dipteran-based meal on husbandry, digestive activity and immunological responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles. Aquaculture 545. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737193

Alves, A.P. do C., Paulino, R.R., Pereira, R.T., Costa, D.V., Rosa, P.V., 2020. Nile tilapia fed insect meal: Growth and innate immune response in different times under lipopolysaccharide challenge. Aquac. Res. 52, 529–540. https://doi.org/10.1111/are.14911

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2012. Official Methods of Analysis, 15th. Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th ed.; Latimer George, W., Jr., Ed.; AOAC International Gaithersburg: Gaithersburg, MD, USA.

Biasato, I., Chemello, G., Oddon, S.B., Ferrocino, I., Corvaglia, M.R., Caimi, C., Resconi, A., Paul, A., van Spankeren, M., Capucchio, M.T., Colombino, E., Cocolin, L., Gai, F., Schiavone, A., Gasco, L., 2022. *Hermetia illucens* meal inclusion in low-fishmeal diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on the growth performance, nutrient digestibility coefficients, selected gut health traits, and health status indices. Anim. Feed Sci. Technol. 290, 115341. https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2022.115341

Bicudo, A.J.A.; Abimorad, E.G; Carneiro, D.J., 2013. Exigências Nutricionais e Alimentação do Pacu. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Jaboticabal, SPpp 217-229.

Boaratti, A.Z., Nascimento, T.M.T., Khan, K.U., Mansano, C.F.M., Oliveira, T.S., Queiroz, D.M.A., Romaneli, R.S., Rodrigues, A.T., Sakomura, N.K., Fernandes, J.B.K., 2020. Assessment of the ideal ratios of digestible essential amino acids for pacu, *Piaractus mesopotamicus*, juveniles by the amino acid deletion method. J. World Aquac. Soc. 1–17. https://doi.org/10.1111/jwas.12740

Bordignon, F., Gasco, L., Birolo, M., Trocino, A., Caimi, C., Ballarin, C., Bortoletti, M., Nicoletto, C., Maucieri, C., Xiccato, G., 2022. Performance and fillet traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed different levels of *Hermetia illucens* meal in a low-tech aquaponic system. Aquaculture 546, 737279. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737279

Chaklader, M.R., Howieson, J., Fotedar, R., 2021. Growth, hepatic health, mucosal barrier status and immunity of juvenile barramundi, *Lates calcarifer* fed poultry by-product meal supplemented with full-fat or defatted *Hermetia illucens* larval meal. Aquaculture 543, 737026. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737026

Cho, J.-H., Bae, J., Hwang, I.J., 2022. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal on the growth, stress, and immune responses of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at different stocking densities. Aquac. Reports 25, 101202. https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2022.101202

Dietz, C., Liebert, F., 2018. Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? Aquac. Reports 12, 43–48. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.09.001

Fabregat, T.E.H.P., Fernandes, J.B.K., Rodriguez, L.A., Borges, F. de F., Pereira, T.S., Nascimento, T.M.T. do, 2008. Digestibilidade aparente da energia e da proteína de ingredientes selecionados para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient. 6, 459–464. https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v6i4.11606

FAO, 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO, Rome. https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0461en

Favero, G.C., Gimbo, R.Y., Franco Montoya, L.N., Zanuzzo, F.S., Urbinati, E.C., 2018. Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquac. Res. 49, 359–366. https://doi.org/10.1111/are.13466

Fawole, F.J., Adeoye, A.A., Tiamiyu, L.O., Ajala, K.I., Obadara, S.O., Ganiyu, I.O., 2020. Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker. Aquaculture 518, 734849. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734849

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2000. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dictas para Alevinos de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. Bras. Zootec. 29, 646–653. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Fernandes, J.B.K., Carneiro, D.J., Sakomura, N.K., 2001. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Juvenis de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. bras. zootec. 30, 617–626. https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000300002

Foysal, M.J., Gupta, S.K., 2022. A systematic meta-analysis reveals enrichment of Actinobacteria and Firmicutes in the fish gut in response to black soldier fly (*Hermetica illucens*) meal-based diets. Aquaculture 549, 737760. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737760

Furuya, W.M. 2010 Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. Toledo: GFM. 100.

Gasco, L., Finke, M., van Huis, A., 2018. Can diets containing insects promote animal health? J. Insects as Food Feed 4, 1–4. https://doi.org/10.3920/JIFF2018.x001

Gimbo, R.Y., Fávero, G.C., Franco Montoya, L.N., Urbinati, E.C., 2015. Energy deficit does not affect immune responses of experimentally infected pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Fish Shellfish Immunol. 43, 295–300. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.01.005

Gonçalves, L.U.; Rodrigues, A.P.O.; Moro, G.V.; Cargin-Ferreira, E.; Cyrino, J.E.P., 2013. Morfologia e Fisiologia do Sistema Digestório de Peies. In: Fracalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, pp 9-36.

Hossain, M.S., Fawole, F.J., Labh, S.N., Small, B.C., Overturf, K., Kumar, V., 2021. Insect meal inclusion as a novel feed ingredient in soy-based diets improves performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 544, 737096. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737096

Hua, K., 2021. A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. Aquaculture 530, 735732. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735732

Kamarudin, M.S., Rosle, S., Yasin, I.S., 2021. Performance of defatted black soldier fly pre-pupae meal as fishmeal replacement in the diet of lemon fin barb hybrid fingerlings. Aquac. Reports 21, 100775. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100775

Katya, K., Borsra, M.Z.S., Ganesan, D., Kuppusamy, G., Herriman, M., Salter, A., Ali, S.A., 2017. Efficacy of insect larval meal to replace fish meal in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* reared in freshwater. Int. Aquat. Res. 9, 303–312. https://doi.org/10.1007/s40071-017-0178-x

Khieokhajonkhet, A., Uanlam, P., Ruttarattanamongkol, K., 2022. Replacement of fish meal by black soldier fly larvae meal in diet for goldfish *Carassius auratus* : Growth performance, hematology, histology, total carotenoids, and coloration. Aquaculture 561, 738618. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738618

Kishawy, A.T.Y., Mohammed, H.A., Zaglool, A.W., Attia, M.S., Hassan, F.A.M., Roushdy, E.M., Ahmed, T., Ibrahim, D., 2022. Partial defatted black solider larvae meal as a promising strategy to replace fish meal protein in diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Performance, expression of protein and fat transporters, and cytokines related genes and economic efficie. Aquaculture 555, 738195. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738195

Li, S., Ji, H., Zhang, B., Tian, J., Zhou, J., Yu, H., 2016. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var . Jian). Aquaculture 465, 43–52. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.020

Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., Yu, H., 2017. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. Aquaculture 477, 62–70. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.015

Li, Y., Kortner, T.M., Chikwati, E.M., Belghit, I., Lock, E.J., Krogdahl, Å., 2020. Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 520, 734967. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734967

Lu, R., Chen, Y., Yu, W., Lin, M., Yang, G., Qin, C., Meng, X., Zhang, Y., Ji, H., Nie, G., 2020. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can replace soybean meal in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) diets. Aquac. Reports 18. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100520

Makkar, Harinder P S, Tran, G., Heuzé, V., Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Anim. Feed Sci. Technol. 197, 1–33. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008

Mastoraki, M., Katsika, L., Enes, P., 2022. Insect meals in feeds for juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*): Effects on growth, blood chemistry, hepatic metabolic enzymes, body composition and nutrient utilization. Aquaculture 561, 738674. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738674

Mastoraki, M., Mollá Ferrándiz, P., Vardali, S.C., Kontodimas, D.C., Kotzamanis, Y.P., Gasco, L., Chatzifotis, S., Antonopoulou, E., 2020. A comparative study on the effect of fish meal substitution with three different insect meals on growth, body composition and metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Aquaculture 528, 735511. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735511

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, G.; Almeida, L.C., 2014. Nutrição e Aspectos Funcionais da Digestão de Peixes. In: Baldisserotto, B.; Cyrino, J.E.P; Urbinati, E.C. (Eds.), Biologia e Fisiologia de Peixes Neotropicais de Água Doce, Funep, Jaboticabal, SP, pp 233-252.

Ng, W., Liew, F., Ang, L., Wong, K., 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African cat fish, *Clarias gariepinus*. Aquac. Res. 32, 273–280.

Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, A., 2018. Insect meals in fish nutrition. Rev. Aquac. 1–24. https://doi.org/10.1111/raq.12281

Ordoñez, B.M.; Santana, T.M.; Carneiro, D.P.; dos Santos, D.K.M.; Parra, G.A.P.; Moreno, L.C.C.; Teixeira Filho, N.P.; Aguilar, F.A.A.; Yamamoto, F.Y.; Gonçalves, L.U., 2022. Whole Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) as Dietary Replacement of Extruded Feed for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Juveniles. Aquac. J. 2, 246-256. https://doi.org/10.3390/aquacj2040014

Ozório, R.O.A., Turini, B.G.S., Môro, G. V., Oliveira, L.S.T., Portz, L., Cyrino, J.E.P., 2010. Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. Aquac. Nutr. 16, 276–283. https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00662.x

Pereira, M. de M., Nagata, M.M., Enes, P., Oliva-Teles, A., Urbinati, E.C., Takahashi, L.S., 2020. Growth performance and metabolic responses to dietary protein/carbohydrate ratios in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles. Aquac. Res. 51, 5203–5211. https://doi.org/10.1111/are.14859

Sado, R.Y.; Sousa, F.C.; Behr, E.R.; Baldisserotto, B., 2014. Anatomia de Teleósteos e Elasmobrânquios. In: Baldisserotto, B.; Cyrino, J.E.P; Urbinati, E.C. (Eds.), Biologia e Fisiologia de Peixes Neotropicais de Água Doce. Funep, Jaboticabal, SP, pp 13-38.

Santos, D. K. M., Santana, T. M., Dantas, F.M., Farias, A. B. d. S., Epifânio, C. M. F., Prestes, A. G., da Fonseca, F. A. L., Parisi, G., Viegas, E. M. M., Gonçalves, L. U. 2022. Defatted black soldier fly larvae meal as a dietary ingredient for tambaqui (*Colossoma macropomum*): Digestibility, growth performance, haematological parameters, and carcass composition. Aquaculture Research, 53, 6762– 6770. https://doi.org/10.1111/are.16143

Silva, A.J. 1985, Aspectos de alimentação do pacu adulto, *Colossoma mitrei* (Berg, 1985) (Pisces, Characidae), no Pantanal de Mato Grosso. Dissertação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., Gasco, L., 2019. The Potential Role of Insects as Feed : A Multi-Perspective Review. Animals 9, 119. https://doi.org/10.3390/ani9040119

Valenti, W.C., Barros, H.P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G.W., Cavalli, R.O., 2021. Aquaculture in Brazil: past, present and future. Aquac. Reports 19, 100611. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611

Vargas-Abúndez, A.J., Randazzo, B., Foddai, M., Sanchini, L., Truzzi, C., Giorgini, E., Gasco, L., Olivotto, I., 2019. Insect meal based diets for clown fish: Biometric, histological, spectroscopic, biochemical and molecular implications. Aquaculture 498, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.018

Villanueva-Gutiérrez, E., Rodriguez-armenta, C., Gonz, M.L., Perez-velazquez, M., 2022. Incorporating hydrolyzed soy protein or black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal into feeds for *Totoaba macdonaldi*. Aquaculture 554, 738152. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738152

Weththasinghe, P., Hansen, J., Nøkland, D., Lagos, L., Rawski, M., Øverland, M., 2021. Full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effect on physical pellet quality, nutrient digestibility, nutrient utilization and growth performances. Aquaculture 530, 735785. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735785

Xu, X., Ji, H., Belghit, I., Liland, N.S., Wu, W., Li, X., 2021. Effects of black soldier fly oil rich in n-3 HUFA on growth performance, metabolism and health response of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. specularis). Aquaculture 533, 736144. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736144

Xu, X., Ji, H., Belghit, I., Sun, J., 2020. Black soldier fly larvae as a better lipid source than yellow mealworm or silkworm oils for juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. specularis). Aquaculture 527, 735453. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735453

Zarantoniello, 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. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734659

CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo é o primeiro a avaliar as farinhas de larvas de mosca soldado negra, larvas de mosca comum, larvas de tenébrio comum e barata cinérea como ingredientes na dieta de juvenis de pacu. Os insetos têm sido considerados ingredientes potenciais para serem utilizados na alimentação animal, mas há pouca informação disponível sobre os efeitos no desempenho e na saúde de peixes nativos alimentados com diferentes farinhas de insetos.

Os coeficientes de digestibilidade aparente de proteína das farinhas de insetos pelos juvenis de pacu não apresentaram diferenças significativas. Houve diferenças significativas para os coeficientes de digestibilidade aparente de energia das farinhas de insetos estudadas. A farinha de larva de tenébrio apresentou o maior coeficiente de digestibilidade de energia pelos juvenis de pacu. A farinha de mosca soldado negra apresentou os menores valores digestíveis de proteína e energia, enquanto a farinha de larvas de tenébrio comum apresentou os maiores valores para energia digestível e proteína digestível. As farinhas de insetos apresentaram boa digestibilidade pelos juvenis de pacu, indicando serem possíveis substitutas da farinha de peixe em dietas para esta espécie.

Dietas constituídas por dois níveis de inclusão de três farinhas de insetos (*H. illucens*, *T. molitor* e *N. cinerea*) afetaram o desempenho e a composição de gordura de juvenis de pacu. O teor de triglicerídeos sanguíneos em peixes alimentados com maior quantidade de farinhas de insetos foi superior, mas dentro dos limites registrados para o pacu. O desempenho foi melhorado, mesmo utilizando o menor nível de inclusão das farinhas de *H. illucens* e *T. molitor*, sugerindo que as farinhas de insetos teve efeito promotor de crescimento.

O crescimento de juvenis de pacu aumentou à medida que a farinha de peixe foi substituída pela farinha de larvas de mosca soldado negra nas dietas. Além disso, a substituição dietética da farinha de peixe pela farinha de mosca soldado negra não afetou a conversão alimentar, os índices hepatossomático e viscerossomático. Nos peixes alimentados com a farinha de larvas de mosca soldado negra foram observados maior teor de gordura corporal quando comparados aos peixes alimentados com a dieta controle (farinha de peixe). A substituição total da farinha de peixe pela farinha de larvas de mosca soldado negra

apresentou o maior teor de colesterol sanguíneo dos peixes, mesmo assim, os valores estavam de acordo com outros estudos realizados com o pacu.

As farinhas de insetos testadas na alimentação de juvenis de pacu apresentaram resultados promissores, tanto no estudo de digestibilidade quanto nos dois ensaios de alimentação, além disso as dietas com insetos foram bem aceitas pelos peixes. Certamente, características relacionadas à espécie *P. mesopotamicus*, como hábito alimentar onívoro, peixe oportunista, que naturalmente consome diversos alimentos, inclusive insetos, efetivamente possuindo plasticidade e morfofisiologia do trato gastrintestinal que o permitiu aproveitar eficazmente as farinhas de insetos. Além disso, os insetos possuem vários compostos bioativos, especialmente as larvas de mosca soldado negra, o que pode ter contribuído para melhorar o crescimento dos juvenis de pacu, bem como a saúde, uma vez que não houve mortalidade e nem sinais de doenças.

Os resultados deste estudo podem contribuir na busca por alimentos alternativos para a nutrição e alimentação animal, incentivando o uso de ingredientes mais sustentáveis do que os alimentos convencionais. Além disso, esta informação pode ser importante para outros países da América Central e do Sul onde são criados pacu e espécies relacionadas.

As farinhas de insetos mostraram-se ingredientes com grande potencial para serem utilizadas em rações para esta espécie. No entanto, mais estudos são recomendados para avaliar o efeito de diferentes níveis de inclusão e farinhas de insetos no desempenho, composição e saúde em diferentes fases da criação do pacu.