

ROSEANE LUCIA PANINI

QUALIDADE PÓS-DESPESCA DO CAMARÃO MARINHO
Litopenaeus vannamei **ALIMENTADO COM FARINHA DE**
LARVA DE *Tenebrio molitor*

Florianópolis
2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS
ALIMENTOS**

ROSEANE LUCIA PANINI

**QUALIDADE PÓS-DESPESCA DO CAMARÃO MARINHO
Litopenaeus vannamei ALIMENTADO COM FARINHA DE
LARVA DE *Tenebrio molitor***

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutor em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Renata Dias de Mello Castanho Amboni

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Peres Silva

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Panini, Roseane Lucia

Qualidade pós-despesca do camarão marinho
Litopenaeus vannamei alimentado com farinha de
larva de *Tenebrio molitor* / Roseane Lucia Panini ;
orientador, Renata Dias de Mello Castanho Amboni ;
coorientador, Carlos Peres Silva - SC, 2017.
115 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, , Programa de Pós-Graduação em ,
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. . 2. Farinha de inseto. 3. Farinha de peixe.
4. Proteína. 5. Desempenho zootécnico. I. Amboni,
Renata Dias de Mello Castanho . II. Silva, Carlos
Peres. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em . IV. Título.

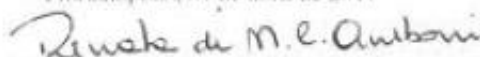
QUALIDADE PÓS-DESPESCA DO CAMARÃO MARINHO
Litopenaeus vannamei ALIMENTADO COM FARINHA DE
LARVA DE *Tenebrio molitor*

Por

Roseane Lucia Panini

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de
"Doutorado em Ciência dos Alimentos", e aprovada em sua forma final
pelo Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos.

Florianópolis, 07 de abril de 2017



Prof.(a) Dr. (a) Renata Dias de Mello Castanho Aniboni
Coordenador

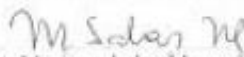
Banca Examinadora:



Prof.(a) Dr.(a) Renata Dias de Mello Castanho Aniboni,
Orientador (UFSC)



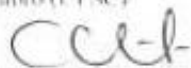
Prof.(a) Dr.(a) Mauricio Gustavo Coelho Emerenciano,
Membro (UFSC-LAGUNA-SC)



Prof.(a) Dr.(a) Myriam de las Mercedes Sakas-Mellado,
Membro (URGER)



Prof.(a) Dr.(a) José Luis Pedreira Mourão,
Membro (UFSC)



Prof.(a) Dr.(a) Edita Regina Amante,
Membro (UFSC)



Prof.(a) Dr.(a) Carmen Maria Olivera Müller,
Membro (UFSC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de estudar em uma Universidade pública, gratuita e de qualidade.

Agradeço à minha orientadora Prof^ª Renata Dias de Mello Castanho Amboni, por ter me aceito como sua orientada no meio do meu doutoramento, e desde lá, ter me abraçado e me conduzido sempre com muito carinho e dedicação.

Ao meu coorientador Prof. Carlos Peres Silva, que desde o meu mestrado está me ensinando como ser uma boa pesquisadora e por ter aberto as portas do incrível universo dos insetos.

À Prof^ª Débora Machado Fracalossi, que sempre me acolheu e ensinou com muita alegria e disposição sobre nutrição de organismos aquáticos e por ter contribuído muito com este trabalho.

Ao Prof. Felipe do Nascimento Vieira, por toda a ajuda concedida no desenvolvimento deste projeto e por ter colocado toda a sua equipe sempre a disposição para ensinar e auxiliar no manejo dos camarões.

À equipe do Laboratório de Compostos Bioativos (LCB), Carolinne Odebrecht, Flávia Marena, Júlia Oposki, Luiza Cirra, Mariana Wolf, Nathalia Aceval, Stephanie S. Pinto, pela valiosa ajuda, amizade e por todos os momentos especiais que vivemos nos últimos tempos.

Ao Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular de Insetos, Cristina Rios, Daniele Kunz, Gabriel Oliveira Braga e Theo Cardozo Bräscher, pela valiosa ajuda e amizade.

À equipe do Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI), especialmente à Janice, Maria Fernanda, Renata Oselame e Allan, pela valiosa ajuda neste trabalho. Em especial também, ao Luiz Eduardo (Lula) pelo auxílio na formulação das rações, no entendimento dos resultados dos experimentos e na estatística.

À equipe do Laboratório de Camarões Marinhos (LCM), especialmente à Ariane Martins, Cristhiane Guertler, Esmeralda Chamorro, Fernanda Henriques, Mariana Soares, Marysol Rodrigues, Norha Bolivar, Carlos M. do Espírito Santo, Carlos Miranda, Seu Chico,

Davi, Delano Shleder, Diego, Dimas, Guilherme, Ilson, Joaquim, por terem me acolhido e por estarem sempre alegres e dispostos em ajudar.

À equipe do Laboratório de Leite e Derivados (LABLEITE), especialmente à Prof^a Elane Prudêncio, por ter me acolhido em seu laboratório, e às colegas Isabella Munoz, Maria Helena Canella e Silvani Verruck, pela ajuda e amizade.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, pelos ensinamentos, especialmente às professoras Carmen Muller, Edna Amante, Jane Maria Block, Roseane Fett, pela disponibilização de material e estrutura laboratorial. E também ao secretário do programa, Sérgio de Souza, pelo auxílio e amizade.

Ao Prof. João Borges Laurindo por disponibilizar a estrutura do Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) para realização da análise de textura.

Professor Richard Ian Samuels, thank you for your ongoing support.

À CAPES, pela bolsa de estudos e ao CNPQ pelo apoio financeiro.

Ao meu marido Ivan Tito Inácio, por estar presente em todos os momentos desta jornada, me incentivando nas horas difíceis com amor, sabedoria e paciência.

Às minhas maiores incentivadoras desta conquista e da vida, Eliane Lopes e Mônica Fünfgelt.

À minha família que acreditou em mim e contribuiu para o encerramento de mais esta etapa em minha vida.

À banca, por aceitar o convite de participação e pelas contribuições fornecidas.

A todos que de alguma forma contribuíram e torceram por mim e pelo sucesso deste trabalho.

MUITO AGRADECIDA!

Panini, R. L. Qualidade pós-despesca do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* alimentado com farinha de larva de *Tenebrio molitor*. Tese (Tese em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RESUMO

Estudos recentes têm destacado o valor da farinha de inseto como substituto parcial ou total de farinha de peixe para a alimentação aquícola. Do ponto de vista nutricional, dependendo da espécie e/ou fase de vida, os insetos são ricos em proteínas e lipídeos. O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da utilização da farinha de larva de *Tenebrio molitor* (TM) na dieta do camarão branco do Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), em substituição à farinha de peixe, no que diz respeito ao desempenho zootécnico e qualidade pós-despesca. Inicialmente, foi determinada a composição centesimal e os perfis de aminoácidos e ácidos graxos da TM. Os coeficientes da digestibilidade aparente (CDAs) da TM foram determinados para o camarão *L. vannamei* e a partir dos resultados dos CDAs da TM foram preparadas cinco dietas com diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por TM (0, 25, 50, 75 e 100 %), as quais foram empregadas na avaliação do desempenho zootécnico e qualidade do camarão *L. vannamei* após seis semanas de cultivo. A TM apresentou teores elevados de proteína ($558,2 \text{ g kg}^{-1}$), lipídeos ($346,4 \text{ g kg}^{-1}$) e baixo teor de cinzas ($30,3 \text{ g kg}^{-1}$). Possui todos os aminoácidos essenciais, sendo a metionina encontrada em menor quantidade. Os ácidos graxos mais abundantes da TM são o ácido oleico (C18:1n9), seguido do ácido palmítico (C16:0) e do ácido linoleico (C18:2n6), que constituíram 47,17, 17,78 e 15,80 % do total de ácidos graxos, respectivamente. O ácido linolênico foi detectado em uma baixa quantidade, enquanto os ácidos eicosapentaenóico (EPA) e docosahexaenóico (DHA) não foram detectados. Os valores dos CDAs da TM para o camarão *L. vannamei* foram 45,9 % para matéria seca, 66,5 % para energia, 76,1 % para proteína e para os aminoácidos essenciais os valores variaram de 72 a 86 %. O aminoácido metionina mostrou ser o aminoácido limitante da TM para o camarão *L. vannamei*. Os parâmetros de crescimento avaliados como ganho de peso, taxa de crescimento específico, ingestão alimentar, conversão alimentar, retenção proteica e sobrevivência não foram afetados pela substituição da farinha de peixe por TM ($p > 0,05$). Em relação à qualidade do camarão *L. vannamei*, o teor de proteína do

músculo não foi afetado ($p > 0,05$) com a substituição da farinha de peixe pela TM. Contudo, a substituição afetou o teor de lipídeos e o perfil de ácidos graxos ($p < 0,05$) do camarão. Apesar dos lipídeos serem o menor constituinte do músculo, o seu teor aumentou significativamente com o aumento dos níveis de substituição, enquanto, que os ácidos graxos poli-insaturados EPA e DHA diminuíram linearmente. A cor e a firmeza mantiveram-se inalteradas. Desta forma, com este estudo, sugere-se que a farinha de larva de *T. molitor* tem um grande potencial para ser utilizada como um ingrediente alternativo à farinha de peixe na dieta do camarão *L. vannamei*, embora o aminoácido metionina seja limitante. Além disso, é importante melhorar o perfil dos ácidos graxos da larva de *T. molitor*, uma vez que estes refletem no perfil dos ácidos graxos do camarão, possivelmente por meio da inclusão de fontes de ácidos graxos poli-insaturados na dieta do inseto.

Palavras-chave: Farinha de inseto. Digestibilidade. Desempenho zootécnico. Proteína. Perfil de ácidos graxos. Cor. Firmeza.

Panini, R. L. Postharvest quality of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* fed on a diet containing mealworms (Coleoptera: *Tenebrio molitor*). Thesis (PhD Food Science) – Department of Food Science and Technology, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil.

ABSTRACT

Studies on replacing the use of fishmeal in fish diets with insects are showing promising results and have encouraged further research. Insects are a highly nutritious food source, rich in proteins and lipids, depending on the species and stages of development. This study investigated the use of mealworm (MW) as a fishmeal substitute for the farmed shrimp *Litopenaeus vannamei*, especially the possible influence on performance and postharvest quality. Firstly, the proximate composition, essential amino acid and fatty acid profiles of MW were determined. MW was evaluated for apparent crude protein, aminoacids, and energy digestibility when fed to *L. vannamei* juvenile. Subsequently, the digestible values of MW were evaluated after six weeks of shrimp culture using five diets containing different proportions of fishmeal replaced by MW (0, 25, 50, 75 and 100 %), the performance and the postharvest quality were evaluated. MW protein values observed were 558.2 g kg⁻¹ and lipid values were 346.4 g kg⁻¹. The MW essential amino acids profile showed a low amount of methionine. The fatty acid compositions of MW showed elevated levels of oleic acid (18:1n9), palmitic acid (16:0) and linoleic acid (18:2n6), corresponding to 47.17, 17.78 and 15.8 % of total fatty acids, respectively. MW had a low level of linolenic acid (18:3n3) and no long-chain PUFAs (i.e., EPA and DHA). The values for ADC were: 45.9 % for dry matter, 66.5 % for energy and 76.1 % for crude protein while the ADC value for essential amino acids ranged from 72 to 86 %. Methionine was the only limiting amino acid in MW when used to culture *L. vannamei*. Weight gain, specific growth rate, feed intake, feed conversion, survival and protein retention were not affected when fishmeal was replaced by MW ($p > 0.05$). The protein content of shrimps showed no significant differences ($p > 0.05$) between the treatments. However, the replacement affected the shrimp lipid content and fatty acid profile ($p < 0.05$). EPA and DHA fatty acids decreased linearly with increasing levels of fishmeal substitution by MW. Colour and firmness were unchanged between the treatments. The results suggested that mealworm is a suitable feed

ingredient to replace fishmeal in diets for *L. vannamei*, although methionine is a limiting amino acid. It is also important to optimize the fatty acid profile of MW, since it reflects in the shrimp's fatty acid profile, possibly by addition of polyunsaturated fatty acid sources in the insect diet.

Keywords: Insect meal. Digestibility. Performance. Protein. Fatty acid profile. Colour. Firmness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Produção mundial do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> entre os anos de 2005 a 2015..	30
Figura 1.2: Anatomia do trato digestório do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i>	31
Figura 2.1: Ciclo de vida da espécie <i>Tenebrio molitor</i>	41
Figura 3.1: Posição do segmento do músculo do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i>	89
Figura 3.2: Ácidos graxos poli-insaturados detectados no músculo do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentados com dietas contendo diferentes níveis de substituição da farinha de peixe por farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i> (TM) (LA, Ácido linoleico; ARA, Ácido araquidônico; LnA, Ácido linolênico; EPA, Ácido eicosapentaenóico; DHA, Ácido docosahexaenóico).....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Composição química do inseto <i>Tenebrio molitor</i> (TM) em diferentes fases de vida (A, adulto; L, larva) (g 100g ⁻¹ , em base úmida).....	43
Tabela 2.1: Composição da dieta referência (semi-purificada) utilizada no experimento de digestibilidade de farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i> para o camarão <i>Litopenaeus vannamei</i>	63
Tabela 2.2: Composição centesimal e perfil de aminoácidos essenciais analisados da dieta referência, dieta teste e do ingrediente teste (farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i> , TM).....	64
Tabela 2.3: Formulação e composição das dietas experimentais utilizadas para alimentar o camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> contendo diferentes níveis de substituição da farinha de peixe pela farinha de larva de <i>Tenebrio Molitor</i>	67
Tabela 2.4: Coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i> (TM), os nutrientes e energia digestíveis da TM pelo camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> e suas exigências nutricionais	70
Tabela 2.5: Efeito da substituição de farinha de peixe pela farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i> na dieta do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> sobre as variáveis de desempenho zootécnico e composição corporal do camarão.....	71
Tabela 3.1: Composição centesimal (g 100g ⁻¹ base úmida) do músculo do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentado com dietas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i>	91
Tabela 3.2: Perfil de ácidos graxos da farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i> (TM) e das dietas experimentais contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por TM.....	94
Tabela 3.3: Perfil de ácidos graxos (mg g ⁻¹ de lipídeo, base seca) do músculo do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentado com dietas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i>	96

Tabela 3.4: Parâmetros de cor e firmeza das amostras de músculo do camarão *Litopenaeus vannamei* alimentado com dietas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por farinha de larva de *Tenebrio molitor*101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE	Aminoácidos essenciais
ARA	Ácido araquidônico
DHA	Ácido decosaheptaenóico
ELN	Extrato livre de nitrogênio
EPA	Ácido eicosapentaenoico
LA	Ácido linoleico
LnA	Ácido linolênico
MUFA	Ácidos graxos monoinsaturados
PUFA	Ácidos graxos poli-insaturados
SFA	Ácidos graxos saturados
TM	Farinha de larva de <i>Tenebrio molitor</i>
ΔE	Diferença total de cor

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	23
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
1.1 O camarão <i>Litopenaeus vannamei</i>	29
1.1.1 Exigências nutricionais do camarão <i>L. vannamei</i>	32
1.1.2 Qualidade do camarão	36
1.2 Entomofagia	39
1.2.1 O inseto <i>Tenebrio molitor</i>	41
REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO 2 - Potencial da utilização de farinha de larvas do inseto <i>Tenebrio molitor</i> como uma fonte proteica alternativa para o camarão branco do Pacífico: digestibilidade e desempenho zootécnico	57
RESUMO	57
ABSTRACT	59
1. INTRODUÇÃO	59
2. MATERIAL E MÉTODOS	61
2.1 Farinha de larva de <i>T. Molitor</i>	61
2.2 Camarão <i>Litopenaeus vannamei</i>	61
2.3 Ensaio de digestibilidade	61
2.4 Ensaio de desempenho zootécnico	65
2.5 Análises químicas	68
2.6 Análise Estatística	69
3. RESULTADOS	69
3.1 Ensaio de digestibilidade	69

3.2 Ensaio do desempenho zootécnico e análise centesimal do camarão inteiro	69
4. DISCUSSÃO.....	72
5. CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	76

CAPÍTULO 3 – Qualidade pós-despesca do camarão branco do Pacífico alimentado com farinha de larva do inseto *Tenebrio molitor*

RESUMO	83
ABSTRACT	84
1. INTRODUÇÃO	84
2. MATERIAL E MÉTODOS	86
2.1 Dietas e condições experimentais	86
2.2 Análises químicas	87
2.3 Perfil de ácidos graxos	87
2.4 Análise de cor	88
2.5 Análise instrumental de textura	88
2.6 Análise estatística	89
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
3.1 Análises químicas	89
3.2 Perfil de ácidos graxos	92
3.3 Análise de cor	98
3.4 Análise instrumental de textura	100
4. CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS.....	102

CONCLUSÕES	109
------------------	-----

ANEXOS	111
--------------	-----

ANEXO A – ARTIGO “Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: digestibility and performance” publicado na “Aquaculture” (ISSN: 0044-8486)	111
ANEXO B – TRABALHOS PUBLICADOS EM EVENTOS	112
ANEXO C – PREMIAÇÃO PELO TRABALHO	115

INTRODUÇÃO

A criação de camarões, conhecida como carcinicultura, é uma das formas de aquicultura que mais tem crescido nas últimas décadas. O camarão da espécie *Litopenaeus vannamei*, conhecido como camarão branco do Pacífico, é um dos crustáceos marinhos que apresenta os melhores resultados obtidos na carcinicultura. Em 2015, a produção mundial de camarão foi de 4.875.793 toneladas e dentre as espécies produzidas, o camarão *L. vannamei* foi responsável por 80 % da produção, dos quais 82,2 % foram produzidos na Ásia e o restante na América (FAO, 2017).

Camarões são muito apreciados pela população devido às suas características sensoriais e seu valor nutritivo, pois são uma grande fonte de proteínas e minerais, especialmente aminoácidos essenciais, cálcio, ferro e zinco (OGUNLADE; OLAOFE; FADARE, 2005; PUGALOPÉZ et al., 2013), de ácidos graxos poli-insaturados de alto valor biológico, como o ácido eicosapentaenóico (EPA, C20:5n3) e o ácido docosahexaenóico (DHA, C22:6n3) (HARLIOĞLU et al., 2015). No entanto, a composição nutricional do camarão pode variar a partir de fatores relacionados com a qualidade da alimentação, a densidade semi-intensiva e intensiva de cultivo e a até com a qualidade da água (BRAUER et al., 2003; CRUZ-SUÁREZ et al., 1993).

A carcinicultura é ainda muito dependente da pesca extrativista para a obtenção da principal fonte de proteína animal para a dieta do camarão, a farinha de peixe (TACON; METIAN, 2008). A farinha de peixe apresenta excelente balanço de nutrientes como aminoácidos e ácidos graxos essenciais, colesterol, vitaminas e minerais, possui alta digestibilidade e não apresenta antinutrientes (GATLIN III et al., 2007; SAMOCHA et al., 2004). As rações comerciais para camarão utilizam entre 25 e 50 % de farinha de peixe (DERSJANT-LI, 2002; MARTINEZ-CORDOVA; CAMPAÑA; PORCHAS-CORNEJO, 2003). No entanto, é esperado que a procura por ingredientes proteicos exceda a oferta mundial anual de farinha de peixe na próxima década (FAO, 2012). Por isso, são realizadas muitas pesquisas de novas fontes alternativas de proteína para a substituição da farinha de peixe em dietas para camarão (BAUER et al., 2012; MOLINA-POVEDA; CÁRDENAS; JOVER, 2017; OUIJFARD et al., 2012).

Estudos sobre o valor da proteína de inseto como substituto parcial ou total de farinha de peixe estão intensificados nos últimos anos (FAO, 2013). A farinha do inseto *Tenebrio molitor*, considerado uma praga de grãos armazenados e de produtos de moagem (GHALY;

ALKOAİK, 2009), é uma potencial fonte proteica alternativa na alimentação de frango de corte, em especial, para a substituição de farelo de soja (BOVERA et al., 2016; DE MARCO et al., 2015; RAMOS-ELORDUY et al., 2002). Assim como também mostrou ser uma fonte proteica alternativa em dietas de substituição da farinha de peixe para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (BELFORTI et al., 2015), robalo europeu (*Dicentrarchus labrax* L.) (GASCO et al., 2016), bagre comum (*Ameiurus melas*) (RONCARATI et al., 2015) e tilápia (*Oreochromis niloticus*) (SÁNCHEZ-MUROS et al., 2016). Estas pesquisas evidenciam que a proteína de inseto pode reduzir a dependência proteica da farinha de peixe na alimentação de pescados cultivados, contribuindo para a diminuição do consumo deste ingrediente na aquicultura. Porém, o valor de um ingrediente alternativo para a substituição da farinha de peixe na dieta do camarão *L. vannamei*, além de manter o crescimento, deve manter a qualidade nutricional e sensorial do camarão, que está relacionada com a aceitação do consumidor (AMBERG; HALL, 2008).

A fim de abordar todos os aspectos supracitados, este trabalho, estruturado na forma de artigos, está dividido nos seguintes capítulos:

(a) Capítulo 1 - **Revisão Bibliográfica**, abordando os principais temas envolvidos no trabalho: camarão *L. vannamei*, exigências nutricionais do camarão, qualidade do camarão, entomofagia e o inseto *T. molitor*.

(b) Capítulo 2 - **Potencial da utilização de farinha de larvas do inseto *Tenebrio molitor* como uma fonte proteica alternativa para o camarão branco do Pacífico: digestibilidade e desempenho zootécnico**, cujo objetivo foi determinar os coeficientes de digestibilidade aparente da farinha de larva de *T. molitor* quando utilizada na dieta do camarão *L. vannamei* e seu efeito sobre o crescimento e a composição química do camarão.

(c) Capítulo 3 – **Qualidade pós-despesca do camarão branco do Pacífico alimentado com farinha de larva do inseto *Tenebrio molitor***, cujo objetivo foi analisar a composição centesimal, perfil de ácidos graxos, firmeza e cor do camarão *L. vannamei* em resposta à substituição da farinha de peixe por farinha de larva do *T. molitor* na sua dieta.

O artigo publicado em revista indexada (Anexo A), os comprovantes dos trabalhos parciais publicados em eventos científicos da área de Ciência dos Alimentos (Anexo B) e a premiação deste trabalho (ANEXO C) estão apresentados em anexo.

REFERÊNCIAS

- AMBERG, S.; HALL, T. Communicating risks and benefits of aquaculture: a content analysis of U.S. newsprint representations of farmed salmon. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, p. 143–157, 2008.
- BAUER, W. et al. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 342–343, p. 112–116, 2012.
- BELFORTI, M. et al. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, 670-676, 2015.
- BOVERA, F. et al. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. **Journal of Animal Science**, v. 94, 639-647, 2016.
- BRAUER, J. M. E. et al. Effect of dietary protein on muscle collagen, collagenase and shear force of farmed white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **European Food Research and Technology**, v. 217, 277-280, 2003.
- CRUZ-SUÁREZ, L.E. et al. Evaluation of two shrimp by-product meals as protein sources in diets for *Penaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 115, p. 53-62, 1993.
- DE MARCO, M. et al. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, 211-218, 2015.
- DERSJANT-LI, Y. The Use of Soy Protein in Aquafeeds. In: Cruz-Suárez, L. E.; Ricque-Marie, D.; Tapia-Salazar, M.; Gaxiola-Cortés, M. G.; Simoes, N. **Avances en Nutrición Acuícola VI**. Cancún, México: Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 2002. p. 542-558.

FAO - Food Agriculture Organization of the United Nations. **Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security**. Presented at Tech. Consult. Meet., Roma, Itália, 2012. 187p.

FAO - Food Agriculture Organization of the United Nations. **Edible insects future prospects for food and feed security**. Roma, Itália, 2013. 201p.

FAO - Food Agriculture Organization of the United Nations. **Fisheries and Aquaculture Department**. Global Production Statistics. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en> Acesso: 08 fevereiro 2017.

GHALY, A.E.; ALKOAİK, F.N. The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 4, p. 319-331, 2009.

GASCO, L. et al. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. **Animal Feed Science and Technology**, v. 220, 34-45, 2016.

GATLIN III, D. M. et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. **Aquaculture Research**, v. 38, p. 551-579, 2007.

HARLIOĞLU, M. M. et al. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on the nutritional quality of abdomen meat and hepatopancreas in a freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 41, 144-150, 2015.

MARTINEZ-CORDOVA, L.; CAMPAÑA, T. A.; PORCHAS-CORNEJO, C. M. Dietary protein level and natural food management in the culture of blue (*Litopenaeus stylirostris*) and white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in microcosms. **Aquaculture Nutrition**, 9, 155-160, 2003.

MOLINA-POVEDA, C., CÁRDENAS, R., JOVER, M., 2015. Evaluation of amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) protein sources as partial substitutes for fish meal in *Litopenaeus vannamei* grow-out diets. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 822-835, 2017.

OGUNLADE, I.; OLAOFE, O.; FADARE, T. Chemical composition, amino acids and functional properties of selected seafoods. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 3, p. 130-133, 2005.

OUIJIFARD, A. et al. Growth and apparent digestibility of nutrients, fatty acids and amino acids in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed diets with rice protein concentrate as total and partial replacement of fish meal. **Aquaculture**, v. 342-343, 56-61, 2012.

PUGA-LOPÉZ, D. et al. Physicochemical, Proximate Composition, Microbiological and Sensory Analysis of Farmed and Wild Harvested White Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) Tissues. **Current Research Journal of Biological Sciences**, v. 5, 130-135, 2013.

RAMOS-ELORDUY, J. et al. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 95, p. 214–220, 2002.

RONCARATI, A. et al. Growth performance of common catchfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, p. 233–240, 2015.

SAMOCHA, T.M. et al. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 231, p. 197–203, 2004.

SÁNCHEZ-MUROS, M.J. et al. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 943-955, 2016.

TACON, A.G.J.; METIAN, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. **Aquaculture**, v. 285, p. 146–158, 2008.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 O camarão *Litopenaeus vannamei*

O camarão da espécie *Litopenaeus vannamei*, conhecido como camarão branco do Pacífico ou camarão cinza, é nativo desde a porção leste do Oceano Pacífico, na altura de Sonora, no México, até a altura de Thumbes, norte do Peru (BARBIERI JR.; NETO, 2002). Na natureza, possui preferência por fundos de lama, encontrados desde a região do infralitoral até em profundidades de 72 m e pode chegar a um tamanho de 23 cm (BARBIERI JR.; NETO, 2002; DORE; FRIMODT, 1979).

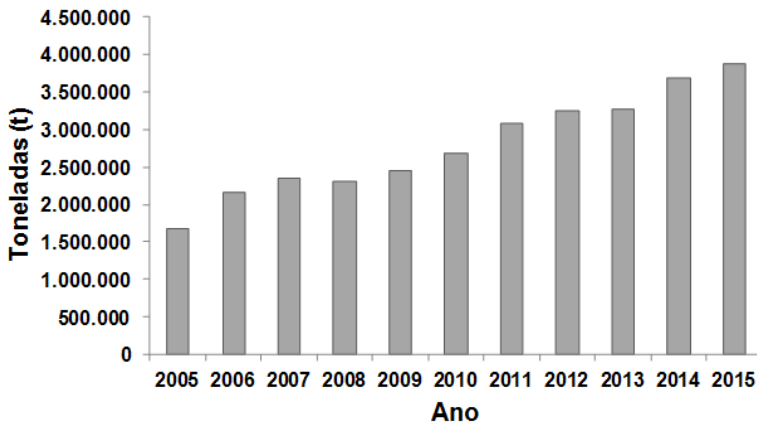
De acordo com a classificação taxonômica, o *L. vannamei* pertence ao maior filo existente no reino animal, os Artrópodes. Ele está classificado em um subfilo, denominado Crustacea, que abrange mais de duzentos e cinquenta mil espécies. O camarão pertence à ordem Decapoda, que inclui os caranguejos, lagostins e lagostas. A família Penaeidae compreende o gênero da maioria dos camarões marinhos (BARBIERI JR.; NETO, 2002; PÉREZ-FARNATE; KENSLEY, 1997).

O *L. vannamei* foi introduzido no Brasil no início dos anos 90, após inúmeras tentativas de viabilizar o cultivo e a comercialização do camarão das espécies nativas como o *Farfantepenaeus subtilis*, o *F. brasiliensis* e o *Litopenaeus shmitti*, além do camarão da espécie exótica *Marsupenaeus japonicus* (BARBIERI JR.; NETO, 2002; DORE; FRIMODT, 1979). Devido ao elevado grau de rusticidade, adaptando-se a vários sistemas de cultivo e apresentando níveis de produtividade e de competitividade superiores aos alcançados com as outras espécies, o *L. vannamei* tornou-se a espécie aquática com a maior representatividade econômica e praticamente a única espécie cultivada atualmente no Brasil (BARBIERI JR.; NETO, 2002; ROCHA, 2007).

Em 2015, a produção mundial do *L. vannamei* alcançou 3.879.786 t (Figura 1.1) (FAO, 2017). Destas, 82 % foram produzidas no continente asiático e o restante na América (FAO, 2017). No Brasil, no ano de 2015, a produção da carcinicultura foi de 69.859 t, sendo os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará os responsáveis por cerca de 80 % do total (BRASIL, 2017). A produção no Estado de Santa Catarina em 2014 foi de 180 t, com uma queda de 19,9 % em relação a 2013 e distante da produção de 4.189 t alcançada em 2004 (SANTA CATARINA, 2017), ano em que as fazendas de cultivo foram acometidas pelo surgimento do vírus da síndrome da mancha-branca

(WSSV), o que provocou, nos anos seguintes até o final do ano de 2011, um declínio acentuado de fazendas e área de criação (COSTA, 2010).

Figura 1.1: Produção mundial do camarão *Litopenaeus vannamei* entre os anos de 2005 a 2015.



Fonte: FAO, 2017.

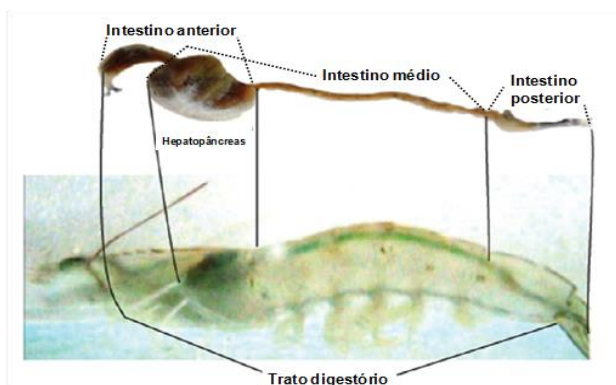
De modo geral, quanto ao hábito alimentar, o camarão pode ser filtrador, necrófago e predador e pode ser classificado como herbívoro, carnívoro e/ou onívoro (FIGUEIREDO; ANDERSON, 2009). As investigações sobre o seu conteúdo intestinal têm mostrado que eles comem outras espécies de crustáceos, anelídeos, moluscos, equinodermos, nematóides, tecidos de peixes, insetos, sementes, algas, macrófitas, matéria vegetal e detritos (ALBERTONI; PALMA-SILVA; ESTEVES, 2003; FIGUEIREDO; ANDERSON, 2009). O *L. vannamei*, particularmente, é uma espécie com hábito alimentar onívoro com tendência à herbivoria (NRC, 2011; NUNES; SÁ; SABRY NETO, 2011; SHIAU, 1998;).

O conhecimento das características anatômicas e morfofisiológicas do sistema digestório, que estão estritamente relacionadas com os hábitos alimentares, pode ser muito útil para prever as exigências nutricionais de uma espécie (GIBSON; BARKER, 1979; NRC, 2011; GONÇALVES et al., 2013). A anatomia do trato digestório do camarão é dividida em três partes principais: intestino anterior, médio e posterior (Figura 1.2) (CECCALDI, 1997). Uma outra divisão pode ser feita do intestino anterior: boca, esôfago e

estômago (CECCALDI, 1997). Este último é dividido em duas partes: uma parte anterior, denominada câmara cardíaca, onde existem dentes calcificados formando um moinho gástrico que ajuda na trituração de alimentos, e uma parte posterior, denominada câmara pilórica, onde as partículas alimentares são filtradas (CECCALDI, 1997). O estômago do camarão é recoberto por uma fina camada de um complexo de quitina-proteína e apresenta em seu interior atividades de enzimas digestivas que são secretadas pelo hepatopâncreas, glândula digestiva do camarão (VOGT et al., 1989).

O hepatopâncreas está envolvido na absorção, no catabolismo intracelular de produtos da digestão e no armazenamento de lipídeos e glicogênio (VOGT et al., 1989). O órgão secreta uma grande variedade de enzimas digestivas, como proteases (tripsina, quimotripsina, colagenase), lipases e esterases, e carboidrases (quitinases, celulases, laminarinases, α/β -glicosidases ou α -amilases) (FIGUEIREDO; ANDERSON, 2009). As espécies de camarão que se alimentam com dietas de alto teor proteico apresentam elevada atividade de enzimas proteinases, enquanto que as espécies que se alimentam de outros crustáceos, sintetizam quitinases para degradar quitina e as espécies de camarão com tendência a herbívoros, tendem a produzir altas quantidades de carboidrases, capazes de fazer uso da celulose a partir de paredes celulares de plantas, de laminarina das algas pardas e de outros polissacarídeos não amiláceos (CARRILO-FARNES et al., 2007; FIGUEIREDO; ANDERSON, 2009; XUE et al., 1999).

Figura 1.2: Anatomia do trato digestório do camarão *Litopenaeus vannamei*.



Fonte: Alexandre et al., 2014.

Outra estrutura anatômica importante em estudos de digestão em crustáceos é a membrana peritrófica, uma membrana acelular de quitina associada com glicoproteínas e protoglicanos, que reveste o intestino médio e serve como uma barreira entre o conteúdo do lúmen e o epitélio do intestino, protegendo-o de alimentos abrasivos e agentes patogênicos (WANG et al., 2012). Além disso, é proposto que a membrana peritrófica auxilie no processo de digestão por compartimentalização do lúmen do intestino para o espaço endoperitrófico (entre o epitélio e a membrana peritrófica) e espaço ectoperitrófico (entre a membrana peritrófica e o lúmen) (ALEXANDRE et al., 2014). Essa compartimentalização da digestão e a existência de uma circulação endo-ectoperitrófica aumenta a eficiência digestiva, permitindo a remoção de oligômeros obtidos na fase inicial da digestão e o reaproveitamento das enzimas digestivas para obter novos oligômeros, que são hidrolisados dentro do espaço ectoperitrófico. Uma vez que as enzimas produzidas não são evacuadas, mas sim recicladas, existe uma considerável economia de energia (ALEXANDRE et al., 2014).

1.1.1 Exigências nutricionais do camarão *L. vannamei*

Informações sobre as exigências nutricionais do *L. vannamei*, tais como as concentrações de aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais, ainda são escassas na literatura (CUZON et al., 2004; SHIAU, 1998). Em grande parte, as exigências nutricionais dos camarões peneídeos se baseiam nas encontradas ao longo dos últimos quinze anos para as espécies *Marsupenaeus japonicus* e *Penaeus monodon* (NRC, 2011; NUNES; SÁ; SABRY NETO, 2011). Sendo a última muito utilizada como espécie de referência para o desenvolvimento de dietas para o *L. vannamei*.

A proteína é normalmente o maior e mais caro nutriente de uma dieta para camarão, podendo representar até 60 % do custo de produção da ração (NEW, 1976; SHIAU, 1998). Além disso, a concentração ótima de proteína em rações deve estar marcada por um delicado balanço entre energia e proteína (CHO, 1992). Níveis excessivos de proteína em relação à energia, resultam em redução da taxa de crescimento e no aumento da excreção nitrogenada, uma vez que a proteína será usada para manutenção das necessidades energéticas (CYRINO et al., 2010; VELASCO-ESCUADERO; LAWRENCE, 2010). Um excesso de energia não proteica poderá levar à inibição da ingestão voluntária antes que haja o consumo da quantidade suficiente de

proteína, assim, prejudicando a utilização de outros nutrientes (COLIN et al., 1993).

Cousin et al. (1993) observaram que a dieta à base de caseína e concentrado proteico de caranguejo com um nível proteico de 300 g kg^{-1} e com uma relação proteína/energia de 100 mg kcal^{-1} foram satisfatórios para o crescimento do *L. vannamei* juvenil. Já Cruz-Suárez et al. (2000) investigaram o crescimento do *L. vannamei* alimentado com dietas que apresentavam proporções de proteína de origem animal e vegetal de 2:1 e 1:2 e quatro níveis de relação proteína/energia iguais a 50, 60, 70 e 80 mg kcal^{-1} , para níveis de proteína de 200, 250, 300 e 350 g kg^{-1} , respectivamente, e concluíram que o melhor crescimento e taxa de conversão alimentar foi obtido com dietas contendo mais proteína animal do que vegetal (2:1), com níveis de proteína entre 250 e 350 g kg^{-1} e com uma relação proteína/energia maior ou igual a 60 mg kcal^{-1} .

Kureshy e Davis (2002) encontraram uma exigência proteica bruta máxima de 320 g kg^{-1} para os juvenis e sub-adultos de *L. vannamei* e uma relação proteína/energia de 79 mg kcal^{-1} , com uma dieta à base de peixe e farelo de soja em que a digestibilidade da dieta foi de 75,1 %. Enquanto que o National Research Council (NRC, 2011), sugere para o *L. vannamei* um valor de proteína digestível de 300 g kg^{-1} e uma relação proteína/energia de 100 mg kcal^{-1} .

Portanto, a concentração de proteína exigida na dieta pelo *L. vannamei* varia de $250\text{--}350 \text{ g kg}^{-1}$ e a relação de proteína/energia de 60 a 100 mg de proteína kcal^{-1} . A rigor, a exigência apresentada por proteína pelo camarão, serve para suprir as necessidades mínimas de cada um dos aminoácidos essenciais (AAE), permitindo que o organismo sintetize suas próprias proteínas para manutenção do desenvolvimento e do crescimento adequados (CUZON et al., 2004).

Mais recentemente, foram relatadas as exigências do *L. vannamei* juvenil para alguns AAE: arginina, $19,6 \text{ g kg}^{-1}$ para dietas contendo 410 g kg^{-1} de proteína bruta e 75 g kg^{-1} de lipídeo (ZHOU et al., 2012); lisina, $11,8 \text{ g kg}^{-1}$ para dietas contendo 400 g kg^{-1} de proteína bruta e 75 g kg^{-1} de lipídeo (XIE et al., 2012); metionina, 4 g kg^{-1} para as dietas contendo 320 g kg^{-1} de proteína bruta e 60 g kg^{-1} de lipídeo (FOX; DAVIS; LAWRENCE, 2007); e treonina, $11,8 \text{ g kg}^{-1}$ para dietas contendo 430 g kg^{-1} de proteína bruta e 75 g kg^{-1} de lipídeo (ZHOU et al., 2013). Para os demais aminoácidos essenciais têm-se utilizado as exigências encontradas para a espécie *Penaeus monodon* (NRC, 2011; NUNES; SÁ; SABRY NETO, 2011).

Os níveis recomendados de lipídeos em dietas para camarão variam de 60 a 80 g kg^{-1} e não devem exceder a 100 g kg^{-1} (AKIYAMA;

DOMINY, LAWRENCE, 1993; GONZÁLEX-FÉLIX et al., 2002), porque o camarão tem uma capacidade limitada de metabolizar grandes quantidades de lípidos devido à baixa eficácia da emulsão lipídica do sistema digestório (GLENCROSS, 2009). No entanto, o fornecimento de lípidos baseia-se na satisfação das necessidades de nutrientes específicos, tais como ácidos graxos insaturados de cadeia longa, fosfolípidos, colesterol e para o fornecimento de energia. Os crustáceos são reconhecidos por terem uma capacidade limitada para síntese de ácidos graxos insaturados de cadeia longa e nenhuma capacidade para a síntese de colesterol (WOUTERS et al., 2001).

González-Félix et al. (2003) observaram que as exigências em ácidos graxos essenciais do *L. vannamei* foram satisfeitas com 5g kg⁻¹ de ácidos graxos altamente insaturados (HUFA) das séries n-3 e n-6 em uma salinidade de 32,9 ‰. Os ácidos eicosapentaenóico (20:5n3, EPA), docosahexaenóico (22:6n3, DHA) e araquidônico (20:4n6, ARA) mostraram maior valor nutritivo do que os ácidos graxos poli-insaturados linoleico (18:2n6, LA) e linolênico (18:3n3, LnA).

O colesterol é considerado um lipídeo dietético essencial para o camarão (WOUTERS et al., 2001). A concentração de colesterol recomendada em dietas para camarão varia de 2,5 a 4 g kg⁻¹ dependendo da fase de desenvolvimento do mesmo (AKIYAMA; DOMINY; LAWRENCE, 1993).

A relação entre o colesterol e os fosfolípidos tem sido de grande interesse para os pesquisadores. Os fosfolípidos não só aumentam a emulsificação, a digestão e a absorção de colesterol, como também facilitam o seu transporte e mobilização (GONG et al., 2004). Gong et al. (2000), em uma pesquisa com *L. vannamei* juvenil, encontraram uma interação altamente significativa entre colesterol e fosfolípidos. A exigência de colesterol foi estimada em 3,5 g kg⁻¹ da dieta na ausência de fosfolípido suplementar. Na presença de 15 g kg⁻¹ e 30 g kg⁻¹ de fosfolípidos, a exigência de colesterol foi reduzida para 1,4 g kg⁻¹ e 1,3 g kg⁻¹ da dieta, respectivamente. Quando os fosfolípidos foram fornecidos em 50 g kg⁻¹ da dieta, foram necessários 0,5 g kg⁻¹ de colesterol para o crescimento ideal.

Já para os carboidratos, o camarão não tem uma exigência dietética específica (NRC, 2011), mas a inclusão destes compostos nas rações pode fornecer algumas características físicas de boa qualidade como a manutenção da textura das partículas da ração e a estabilidade na água (VELASCO-ESCUADERO; LAWRENCE, 2010). Além disso, os carboidratos podem ser uma fonte de energia barata e são usados para a síntese de quitina para a formação do exoesqueleto (CUZON et al.,

2001; ROSAS et al., 2002). Gaxiola et al. (2005) relataram que devido à necessidade de formação do exoesqueleto a utilização de carboidratos é fortemente influenciada pelo ciclo da ecdise (muda) do camarão. Os polissacarídeos, como a quitina, a celulose e a hemicelulose, são basicamente indigestíveis para o camarão, não contribuindo positivamente em sua nutrição. Os níveis de fibra na dieta devem ser mantidos baixos sempre que possível, não excedendo a 100 g kg^{-1} (NRC, 2011).

Em relação às exigências nutricionais de vitaminas, estabelecidas como sendo essenciais para os animais terrestres e para muitas das espécies de peixes, pouco tem sido demonstrado em camarões. Grande parte da dificuldade deve-se ao desafio da perda destes nutrientes por lixiviação na água (VELASCO-ESCUADERO; LAWRENCE, 2010). Existem informações específicas sobre as exigências dietéticas quantitativas para a vitamina C (120 mg kg^{-1} da dieta), com o uso de ácido ascórbico estabilizado L-ascorbil-2-fosfato, e vitamina E (100 mg kg^{-1} da dieta) (HE; LAWRENCE, 1993).

Quanto aos minerais, o camarão exige para as funções metabólicas os mesmos que os animais terrestres e os peixes, incluindo a regulação osmótica e a formação de tecido. A determinação das exigências de minerais na dieta é difícil, porque, em certa medida, o camarão é capaz de utilizar alguns minerais dissolvidos na água de cultivo para satisfazer as suas necessidades metabólicas (DAVIS; LAWRENCE, 1993). Entre os macrominerais, o fósforo é o que tem recebido mais atenção, em virtude da presença na água ser limitada. A exigência de fósforo é dependente da quantidade de cálcio na dieta. Davis e Lawrence (1993) estabeleceram para o *L. vannamei* juvenil uma exigência de fósforo de $3,4 \text{ g kg}^{-1}$ quando da ausência de cálcio ou uma relação de Ca:P em torno de 1:1. Em relação aos microminerais, sintomas de deficiência dietética de cobre foram observados no *L. vannamei* juvenil com dietas contendo menos de 34 mg kg^{-1} de cobre (DAVIS; LAWRENCE; GATLIN III, 1993a), enquanto nenhuma deficiência de ferro foi observada (DAVIS; LAWRENCE; GATLIN III, 1992). Já uma exigência dietética de 33 mg kg^{-1} de zinco da dieta, na ausência de fitato, foi encontrada para manter a mineralização do tecido normal. No entanto, na presença de 1,5 % de fitato, foram necessários 218 mg kg^{-1} de zinco da dieta para o *L. vannamei* juvenil (DAVIS; LAWRENCE; GATLIN III, 1993b).

Diante do exposto, observa-se que o nível de conhecimento sobre as exigências nutricionais do camarão é satisfatório para desenvolver dietas práticas para alimentar o camarão de cultivo. Desta maneira,

deve-se buscar ingredientes que atendam a essas exigências nutricionais, não só para o camarão atingir o crescimento desejado, mas também para manter o valor nutricional e as características sensoriais do camarão pós-despesca.

1.1.2 Qualidade do camarão

Um dos principais fatores responsáveis pela aceitabilidade do camarão pelos consumidores é o valor nutricional e as características sensoriais (FU; CHEN; WANG, 2014). Os músculos dos camarões são constituídos por cerca de 20 % de proteínas, o que indica ser uma boa fonte de aminoácidos. Minerais e vitaminas, especialmente cálcio, ferro, zinco e vitamina B₁₂ também estão presentes (BONO et al., 2012; PUGA-LOPÉZ et al., 2013). Além disso, contêm baixos níveis de gordura e calorias (BONO et al. 2012). Assim como, possuem níveis baixos de ácidos graxos saturados, que é a gordura que aumenta o nível de colesterol no corpo (BONO et al., 2012), e níveis elevados de ácidos graxos poli-insaturados de alto valor biológico, considerados essenciais para a saúde humana, como o ácido eicosapentaenóico (C20:5n3, EPA) e o ácido docosahexaenóico (C22:6n3, DHA) (HARLIOĞLU et al., 2015).

Como muitos outros invertebrados marinhos, os músculos dos camarões são caracterizados pela presença de grandes quantidades de glicina livre, o que sugere que este aminoácido tenha uma importante contribuição para o sabor. Além disso, a presença de alanina, prolina e serina, que tem um gosto doce, pode também contribuir em certa medida para o sabor, uma vez que a correlação entre a palatabilidade dos músculos e a soma de glicina e dos três aminoácidos é altamente significativa (KONOSU, 1979).

As concentrações destes aminoácidos livres podem variar em resposta a diferenças de salinidade do ambiente. Uma pesquisa realizada por Papadopoulos e Finne (1986) mostrou que a concentração de aminoácidos livres em camarões criados em água com concentração salina de 10 µg L⁻¹ foi menor do que em camarões mantidos em salinidade de 30 e 50 µg L⁻¹. Além disso, a análise sensorial resultou em melhor sabor para o camarão criado em salinidade de 50 µg L⁻¹ do que para aquele criado em baixa salinidade.

Kubota et al. (1989) identificaram quase 100 compostos voláteis que podem influenciar o sabor do camarão cozido da espécie nativa do Japão *Euphasia pacifica*, sendo que mais de 40 destes compostos são substâncias heterocíclicas contendo nitrogênio e enxofre. O camarão

também contém vários tipos de substâncias voláteis, como hidrocarbonetos, compostos de carbonila, álcoois e fenóis.

Os compostos conhecidos como bromofenóis, substâncias solúveis em água e encontradas no tecido muscular, podem produzir, intensificar ou alterar o sabor dos camarões (MIGET; HABY, 2007). Os bromofenóis são provenientes de fontes dietéticas, tais como algas vermelhas e marrons, poliquetas e esponjas do mar (JU; FOSTER; DOMINY, 2010). A sua presença nos camarões confere a descrição de sabor de “frutos-do-mar” e estão presentes em maior quantidade em camarões extraídos da natureza do que em camarões de cultivo (MIGET; HABY, 2007). Porém, em quantidades elevadas, estes compostos são associados a um sabor desagradável (WHITFIELD et al., 1997).

Um atributo importante para a aceitabilidade do camarão pelos consumidores é a coloração vermelho-alaranjada, que é associada ao frescor e a qualidade do produto. O teor de carotenóides é que confere esta coloração ao camarão, variando de acordo com o seu hábito alimentar (BONO et al., 2012). O pigmento mais efetivo na cor do camarão é o carotenóide astaxantina (3,3'-dihidroxi- β , β caroteno-4,4'-diona) (BOONYARATPALIN et al., 2001). No camarão *in natura*, a astaxantina está ligada à proteínas formando um complexo proteína-caroteno, de coloração verde, azul ou púrpura e um comprimento de onda de 580 nm. Enquanto que após o cozimento, este complexo se dissocia e a astaxantina livre apresenta uma coloração amarela, laranja e/ou vermelha (470-472 nm) (CIANCI et al., 2002). Além de atuar na cor do camarão, os carotenóides são bem conhecidos pelos seus benefícios à saúde humana (BONO et al., 2012). Uma das características mais importantes dos carotenóides é a sua capacidade de atuar como antioxidante, protegendo as células e os tecidos do efeito prejudicial dos radicais livres (GONG; BASSI, 2016).

A textura é outro atributo determinante na aceitabilidade do consumidor (NUNAK; SHLEINING, 2011). Brauer et al. (2003) alimentaram o camarão *L. vannamei* com diferentes dietas, duas formuladas à base de farinha de lula e farinha de sardinha e uma dieta comercial, variando o teor proteico (25, 35 e 40 %). Os resultados mostraram que a qualidade e a quantidade de proteína na dieta, além de influenciar nas atividades enzimáticas do hepatopâncreas e do músculo, afetou a concentração de proteínas do tecido conjuntivo e as propriedades termodinâmicas do componente principal do tecido conjuntivo, o colágeno. Ao relacionar essas características com a dieta do camarão, observou-se que o camarão alimentado com as dietas de

menor concentração proteica apresentou uma textura inadequada, com menor aceitação pelos consumidores. Já Rivas-Vega et al. (2001) alimentaram o camarão da espécie *L. stylirostris* com dietas comerciais contendo níveis proteicos de 25, 35 e 40 % e observaram que os camarões alimentados com a dieta contendo 40 % de proteína foram os que, além de maior taxa de crescimento e maior taxa de atividade proteolítica do hepatopâncreas, garantiram uma textura mais firme. Dentro deste contexto, observa-se que as dietas dos camarões, seja com alimentos naturais ou alimentos formulados, podem ter um efeito sobre a sua qualidade pós-despesca.

Estima-se que até 2030 a produção mundial de camarão aumentará em mais de 10 %, considerando os resultados dos avanços genéticos, nutricionais e da modernização das técnicas de criação (WORLD BANK, 2013). Esta rápida expansão tem aumentado a demanda por alimentos que dependem principalmente da farinha de peixe como o principal insumo na dieta do camarão (GATLIN III et al., 2007; SAMOCHA et al., 2004). Porém, a disponibilidade de espécies aquáticas para a produção da farinha de peixe está em declínio, devido ao excesso de captura (BAUER et al., 2012). Esta diminuição da oferta gerou um aumento global dos preços da farinha de peixe e, para reduzir a dependência deste insumo, torna-se necessária a busca de novas fontes proteicas. A substituição da farinha de peixe por diferentes proteínas vegetais, principalmente à base de soja, é destaque em muitos estudos. No entanto, os produtos vegetais têm limitações por conta do desbalanceado perfil de aminoácidos, elevado teor de fibras e fatores anti-nutricionais, além da competição com o uso para consumo humano (VAN HUIS, 2016).

Estudos recentes sugerem que a farinha de inseto pode ser uma fonte de proteína animal alternativa e de alto valor nutritivo em dietas para peixes. Do ponto de vista nutricional, dependendo da espécie e/ou fase de vida, os insetos são ricos em proteínas e lipídeos (BARROSO et al., 2014; MAKKAR et al., 2014). A farinha de larva de *Tenebrio molitor*, um besouro da família Tenebrionidae, já foi testada em dietas de substituição de farinha de peixe para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (BELFORTI et al., 2015), robalo europeu (*Dicentrarchus labrax* L.) (GASCO et al., 2016), bagre comum (*Ameiurus melas*) (RONCARATI et al., 2015) e tilápia (*Oreochromis niloticus*) (SÁNCHEZ-MUROS et al., 2016).

Em geral, o valor de um ingrediente alternativo para a substituição de farinha de peixe na dieta do camarão *L. vannamei* não pode ser simplesmente definido pela sua capacidade de manter o

crescimento, mas também pela capacidade de manter a qualidade nutricional e sensorial do camarão, que está relacionada com a aceitação do consumidor (AMBERG; HALL, 2008). No entanto, informações sobre este assunto são escassas, porque a maioria dos experimentos acaba assim que se dá a despesca.

1.2 Entomofagia

O termo entomofagia é relativamente novo, comparado com a milenar história do consumo de insetos pelos seres humanos (EVANS et al., 2016; FAO, 2013). Sugere-se que os *Paranthropus robustus* usavam ferramentas de ossos para cavar cupinzeiros há um milhão de anos (BACKWELL; D'ERRICO, 2001). A mais antiga citação de entomofagia pode ser encontrada na literatura bíblica (COSTA NETO, 2013). O significado do termo, em pelo menos algumas regiões, está relacionado com a prática humana de comer insetos (EVANS et al., 2016). Os insetos também fazem parte da cadeia alimentar de várias espécies animais, denominados insectívoros, termo utilizado para animais que comem insetos, como as aranhas, os lagartos, os pássaros e muitas espécies de insetos (FINKE; OONINCX, 2014). No entanto, a utilização de insetos como alimento era, e ainda é, um tabu na sociedade ocidental (FAO, 2013).

A natureza não convencional de entomofagia fez com que a criação de insetos para a alimentação humana e animal tenha sido praticamente inexistente nas grandes inovações agrícolas que surgiram nos séculos passados. Com algumas exceções, os produtos de insetos como o mel e a seda são mais comumente conhecidos. As abelhas produzem cerca de 1,2 milhões de toneladas de mel por ano, enquanto que os bichos-da-seda produzem mais de 90 mil toneladas de seda. O carmim, um corante vermelho produzido por cochonilhas, um inseto da ordem Hemiptera que se alimenta da seiva de plantas, é usado para colorir alimentos, produtos têxteis e farmacêuticos (FAO, 2013).

Os insetos pertencem, assim como os crustáceos, à classe dos Artrópodes que conta com mais de um milhão de espécies (ERWIN, 2004). No Brasil, reconhecido mundialmente pela sua biodiversidade, há relatos na literatura de um total de 135 espécies de insetos comestíveis pertencentes às ordens Coleóptera (besouros), Díptera (moscas), Hemiptera (percevejos), Homoptera (cigarras, cochonilhas, pulgões), Himenóptera (vespas, abelhas, formigas), Isoptera (cupins), Lepidóptera (borboletas e mariposas), Ortóptera (gafanhotos e grilos) e outras (COSTA NETO, 2013). Em todo o mundo, existe mais de 2000 espécies

de insetos comestíveis, e a maioria pertence ao grupo dos besouros (31 %), seguido pelo das lagartas (18 %), vespas, abelhas e formigas (15 %), grilos e gafanhotos (13 %), cupins, libélulas, moscas e outros (12 %) (VAN HUIS, 2016).

Em geral, os insetos podem ser altamente nutritivos, pois são uma grande fonte de proteínas, lipídeos, minerais, vitaminas e energia, dependendo da espécie, do estágio em desenvolvimento (larva, pupa, ninfa e/ou adulto) e da dieta empregada no seu crescimento (BARROSO et al., 2014). Além disso, a produção requer menos terra e água (OONINCX; DE BOER, 2012; VAN HUIS, 2013) e emite menos gases de efeito estufa e amônia do que a criação de gado (OONINCX et al., 2010). Os insetos apresentam elevado índice de conversão alimentar (SHELOMI, 2015) e podem ser alimentados com resíduos orgânicos, tendo um papel importante na reciclagem de materiais na biosfera terrestre (VELDKAMP et al., 2012).

As espécies de insetos mais promissoras para a produção industrial e utilização como alimento na aquicultura são *Hermetia illucens* (soldado negro), *Musca domestica* (mosca doméstica comum), *Tenebrio molitor* (besouro), *Bombyx mori* (bicho-da-seda), além de diversas espécies de gafanhotos (FAO, 2013). Sealey et al. (2011) realizaram um ensaio de desempenho e análise sensorial em trutas (*Oncorhynchus mykiss*) para verificar os efeitos da substituição da farinha de peixe na dieta com farinha de prepupa de *H. illucens*. A substituição de até 50 % da farinha de peixe pela prepupa do inseto, que foi criado em esterco de gado enriquecido com vísceras de trutas, não afetou significativamente o desempenho dos peixes, nem a qualidade sensorial dos filés. Cao et al. (2012) avaliaram o efeito de seis dietas à base de farinha de larva de mosca (*M. domestica*) para substituir em 0, 20, 40, 60, 80 e 100 % a farinha de peixe na dieta do camarão *L. vannamei* juvenil e observaram que com a substituição de até 60 %, o camarão manteve o ganho de peso, a conversão alimentar, a taxa de eficiência proteica e a taxa de retenção proteica.

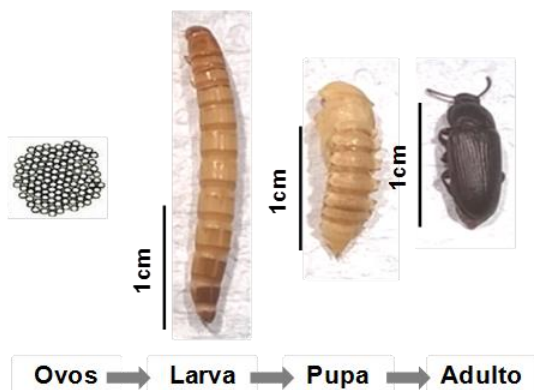
Os principais desafios para a produção de insetos em escala serão a diminuição dos custos e o processo de regulamentação. A princípio, os produtos de insetos são mais caros do que os insumos regularmente utilizados para alimentar os camarões. De acordo com a FAO (2013), será necessário aumentar as unidades de produção de insetos, a mecanização, a automação, o processamento e a logística para reduzir os custos de produção a um nível comparado a outras fontes de alimentos. Entretanto, levando em consideração que a produção de insetos é muito mais estável e que o aumento da sua produção não implicará na

sobreexploração de recursos naturais, nos próximos anos os custos tendem a diminuir. Em relação a legislação, a Autoridade Europeia para Segurança dos Alimentos publicou em seu jornal uma Opinião Científica para regulamentar os insetos para consumo humano e animal (EFSA, 2015). Na União Europeia, o uso da farinha de insetos na dieta de suínos e aves de corte ainda não é permitida, mas ela já é usada como alimento aquático desde 2013 (VAN HUIS, 2016). No Brasil a única legislação sobre o assunto dispõe sobre a tolerância de insetos nos alimentos (BRASIL, 2014).

1.2.1 O inseto *Tenebrio molitor*

Mais conhecido como o bicho da farinha ou *mealworm* no seu estágio larval, a espécie *Tenebrio molitor* (LINNAEUS, 1758) é um besouro da ordem Coleoptera, da família Tenebrionidae. O seu ciclo de vida consiste em quatro estágios: ovos, larva, pupa e adulto (Figura 2.1). A fêmea adulta deposita de 500 a 1000 ovos que após 10 a 15 dias eclodem em larvas. As larvas fazem de 5 a 7 trocas de pele e em aproximadamente 60 dias transformam-se em pupas. As pupas levam em torno de três semanas para tornarem-se adultas (GHALY; ALKOAİK, 2009). O *T. molitor* é nativo da Europa, mas está mundialmente distribuído e é considerado uma praga de grãos, farinhas e produtos alimentares, embora também possa consumir carne, penas e outras substâncias, por causa da sua natureza onívora (RAMOS-ELORDUY, et al., 2002).

Figura 2.1: Ciclo de vida da espécie *Tenebrio molitor*.



Fonte: Autora.

O *T. molitor* contém altos teores de proteínas (470 a 600 g kg⁻¹, base seca) e de lipídeos (310 a 430 g kg⁻¹, base seca), e um baixo teor de cinzas (< 50 g kg⁻¹) (MAKKAR, et al., 2014). As larvas frescas contêm cerca de 60 % de água, além de serem uma boa fonte de vitaminas e minerais. A composição de ácidos graxos é rica em n-6 (MAKKAR et al., 2014; SIEMIANOWSKA et al., 2013). Na base de dados de composição de alimentos da FAO/INFOODS para a biodiversidade (BioFoodComp versão 2.1), o *T. molitor* representa a espécie com mais entradas de composição química, em um total de 40 (36 larvas, 1 pupa e 3 besouros adultos), que são provenientes de 14 publicações diferentes, sendo que todos estes dados são resultados de análises de *T. molitor* de criação. A Tabela 1.1 ilustra os valores médios da composição química das diferentes fases do inseto (NOWAK et al., 2016).

As variações na composição do *T. molitor*, principalmente no teor de lipídeos, podem estar relacionadas ao estágio de desenvolvimento, período de coleta e aos diferentes tipos de dietas utilizadas na criação do inseto. No estágio final de crescimento larval, as reservas de lipídeos são normalmente mais elevadas para que sejam utilizadas como fonte de energia na metamorfose (BARROSO et al., 2014; FINKE; OONINCX, 2014; ROFFEIS et al., 2015, VAN BROEKHOVEN et al., 2015).

Em relação ao perfil de aminoácidos, Finke e Oonincx (2014) observaram que os aminoácidos sulfurados são os limitantes para a maioria dos animais que se alimentam de insetos. Embora o percentual de proteína possa ser alterado por meio da dieta, parece improvável que a composição de aminoácidos do inseto seja afetada (FINKE; OONINCX, 2014). Além disso, Barroso et al. (2014) relataram que o perfil de aminoácidos é independente da composição da dieta e está mais relacionado à taxonomia do inseto.

Tabela 1.1: Composição química do inseto *Tenebrio molitor* (TM) em diferentes estágios de vida (A, adulto; L, larva) (g 100g⁻¹, em base úmida).

Análise	TM	n	Média	Mín.	Máx.
Energia (kcal 100 g ⁻¹)	A	3	178 ± 13	166	192
	L	14	214 ± 39	160	283
Umidade	A	3	62,1 ± 1,4	61,2	63,7
	L	26	62 ± 4,6	55,6	71,0
Proteína	A	2	24,13	23,7	24,59
	L	6	17,85 ± 3,33	13,68	22,32
Extrato etéreo	A	1	7,1		
	L	7	13,07 ± 3,88	8,9	19,94
SFA	L	3	2,2 ± 0,53	1,83	2,8
MUFA	L	3	2,51 ± 0,72	1,91	3,3
PUFA	L	3	5,85 ± 1,22	4,46	6,75
ELN	L	2	1,4 ± 1,84	0,1	2,7
Fibra detergente ácida	A	3	6,8 ± 0,6	6,2	7,4
	L	3	2,38 ± 0,21	2,13	2,5
Fibra detergente neutra	A	2	12 ± 0,7	11,5	12,4
	L	8	5,2 ± 1,3	2,9	7,3
Fibra bruta	L	1	2,1		
Cinzas	A	3	1,38 ± 0,32	1,2	1,75
	L	14	1,51 ± 0,79	0,9	3,81
Cálcio (mg)	A	3	24 ± 2	23	27
	L	20	150 ± 150	13	472
Ferro (mg)	A	3	2,87 ± 0,64	2,18	3,46
	L	8	1,89 ± 0,93	1,08	4
Potássio (mg)	A	3	368 ± 36	340	408
	L	4	337 ± 27	297	359
Magnésio (mg)	A	3	69 ± 7	61	74
	L	7	92 ± 8	80	104
Manganês (mg)	A	3	0,46 ± 0,11	0,37	0,58
	L	8	0,29 ± 0,16	0,004	0,52
Sódio (mg)	A	3	66 ± 7	62	74
	L	4	50 ± 7	40	56
Fósforo (mg)	A	3	295 ± 16	277	307
	L	20	368 ± 98	227	530
Selênio (µg)	A	2	13,6 ± 3,4	11,19	16
	L	3	16,3 ± 7,61	10,9	25
Zinco (mg)	A	3	4,88 ± 0,65	4,36	5,59
	L	8	4,33 ± 0,72	3,45	5,2
Vitamina A (UI)	L	2	29	28	30
Vitamina E (µg)	L	4	0,99 ± 0,25	0,63	1,17
Vitamina C (mg)	L	2	1,8	1,2	2,4

Resultados expressos como média ± desvio padrão (n = número de observações); SFA, Ácidos graxos saturados; MUFA, Ácidos graxos monoinsaturados; MUFA, Ácidos graxos poli-insaturados; ELN, Extrato livre de nitrogênio.

Normalmente, a qualidade nutricional da proteína de inseto é considerada boa (FINKE; OONINCX, 2014). Assim, a farinha de larva de *T. molitor* (TM) mostrou ser uma fonte proteica alternativa em dietas para frangos de corte, substituindo a farinha de soja (BOVERA et al., 2016; DE MARCO et al., 2015; RAMOS-ELORDUY et al., 2002). Além disso, já foi testada em dietas de substituição de farinha de peixe em várias espécies de peixe. Na truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) a substituição de 66 % da farinha de peixe por TM não afetou o desempenho do peixe, porém, a relação de ácidos graxos n3/n6 diminuiu linearmente com a substituição (BELFORTI et al., 2015). No bagre africano, a substituição da farinha de peixe por TM em até 40 % não interferiu no crescimento e na eficiência alimentar, porém, quando o bagre foi alimentado exclusivamente com larvas vivas de *T. molitor* resultou em uma ligeira depressão do crescimento (NG et al., 2001). Estes autores sugeriram que a quitina presente na TM pode ter contribuído para a queda das taxas de crescimento desta espécie. Sánchez-Muros et al. (2016) observaram que a substituição inclusão de até 500 g kg⁻¹ da farinha de peixe por TM em dietas para tilápia (*Oreochromis niloticus*) não afetou a ingestão alimentar, embora esta quantidade de TM tenha reduzido o crescimento. A espécie de robalo europeu (*Dicentrarchus labrax* L.) alimentada com dietas com 25 % de inclusão de TM não produziu efeitos adversos no crescimento, porém, quando a inclusão foi de 50 %, o crescimento foi afetado negativamente assim como o perfil de ácidos graxos corporal (GASCO et al., 2016).

O *T. molitor* é um dos insetos mais bem sucedidos em experimentos de alimentação de peixe, com bons resultados de digestibilidade e de desempenho, mesmo com elevados teores de lipídeos (HENRY et al., 2015). No entanto, antes de substituir a farinha de peixe por qualquer espécie de inseto na dieta de uma espécie de peixe ou camarão, é necessário determinar a composição química exata do inseto, que pode variar de acordo com a sua fase de vida, condições de criação e dieta, e compará-la com as exigências nutricionais da espécie em questão. Além disso, testar se o inseto terá uma boa digestibilidade, e por fim, avaliar os parâmetros de crescimento e a qualidade pós-despesca.

REFERÊNCIAS

AKIYAMA, D.M.; DOMINY, W.G.; LAWRENCE, A.L. **Nutricion de camarones peneidos para la industria de alimentos comerciales.** In: CRUZ SUÁREZ, L.E.; RICQUE MARIE, D.; ALFARO, R.M. Hermosillo, Sonora, México: Memorias del Primer Simposium Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos para Acuicultura, 1993, p. 43-79.

ALBERTONI, E.F.; PALMA-SILVA, C.; ESTEVES, F.A. Natural diet of three species of shrimp in a tropical coastal lagoon. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, p. 395-403, 2003.

ALEXANDRE, D. et al. Spatial distribution of digestive proteinases in the midgut of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) indicates the existence of endo-ectoperitrophic circulation in Crustacea. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part B**, v. 172–173, p. 90–95, 2014.

AMBERG, S.M.; HALL, T.E. Communicating risks and benefits of aquaculture: A content analysis of US newsprint representations of farmed salmon. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, p. 143-157, 2008.

BACKWELL, L.R.; D'ERRICO, F. Evidence of termite foraging by Swartkrans early hominids. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 98, p. 1358-63, 2001.

BARBIERI-JUNIOR, R. C.; NETO, A. O. **Camarões Marinhos - Engorda.** Viçosa-MG: Editora Aprenda Fácil, 2002. v. 2, 337 p.

BARROSO, F.G. et al. The potential of various insect species for use as food for fish. **Aquaculture**, v. 422–423, p. 193–201, 2014.

BAUER, W. et al. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 342–343, p. 112–116, 2012.

- BELFORTI, M. et al. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, p. 670-676, 2015.
- BONO, G. et al. Chemical and nutritional characterisation of the Central Mediterranean Giant red shrimp (*Aristaeomorpha foliacea*): Influence of trophic and geographical factors on flesh quality. **Food Chemistry**, v. 130, p. 104–110, 2012.
- BOONYARATPALIN, M. et al. Effects of β -carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. **Aquaculture Research**, v. 32, p. 182-190, 2001.
- BOVERA, F. et al. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 639-647, 2016.
- BRASIL. IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2015**. Brasil, 2015. Disponível em: <http://ibge.gov.br/producao-da-pecuaria-municipal-2015.html> /Acesso em: 28 janeiro 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 14**, de 28 de março de 2014.
- BRAUER, J. M. E. et al. Effect of dietary protein on muscle collagen, collagenase and shear force of farmed white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **European Food Research and Technology**, v. 217, p. 277-280, 2003.
- CAO J. et al. Effects of replacement of fish meal with housefly maggot meal on growth performance, antioxidant and non-specific immune indexes of juvenile *Litopenaeus vannamei*. **Journal of Fisheries of China**, v. 36, p. 529-537, 2012.
- CARRILLO-FARNÉS, O. et al. A Review of Digestive Enzyme Activity in Penaeid Shrimps. **Crustaceana**, v. 80, p. 257-275, 2007.

CECCALDI, H. Anatomy and physiology of the digestive system. In: D'ABRAMO, L.R.; CONKLIN, D.; AKIYAMA, M. **Crustacean Nutrition: Advances in World Aquaculture**. Baton Rouge, Louisiana, USA: The World Aquaculture Society, 1997. p. 261-291.

CIANCI, M. et al. The molecular basis of the coloration mechanism in lobster shell: β -Crustacyanin at 3.2-Å resolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, p. 9795-9800, 2002.

CHO, C.Y. Feeding for rainbow trout and other salmonids, with reference to current estimates of energy and protein requirement. **Aquaculture**, v. 100, p. 107-123, 1992.

COLIN, B. et al. Nutrition requirement of fish. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 52, p. 417-426, 1993.

COSTA, S.W. Aquicultura no Estado de Santa Catarina: situação atual e perspectivas. **Revista da ABCC**, n 1, p. 49-50, jun. 2010.

COSTA NETO, E. M. Insects as human food: an overview. **Amazônica: Revista de Antropologia** (Online), p. 562-582, 2013.

COUSIN, M. et al. Protein requirements following an optimum dietary energy to protein ratio for *Penaeus vannamei* juveniles. In: KAUSHIK, S.J., LUQUET, P. **Fish nutrition in practice**. Paris, França: French National Institute for Agricultural Research, 1993. p. 599-606.

CRUZ-SUÁREZ, L.E. et al. Relaciones proteína/energía y proteína vegetal/animal optimas en alimentos de engorda para *Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris*. In: CRUZ -SUÁREZ, L.E.; RICQUE-MARIE, D.; TAPIA-SALAZAR, M.; OLVERA-NOVOA, M.A.; CIVERA-CERECEDO, R. **Avances en Nutrición Acuícola V**. Mérida, Yucatán, México: Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, 2000. p. 141-160.

CUZON, G. et al. Effect of dietary carbohydrates on gluconeogenesis in premolt *Litopenaeus stylirostris* juveniles and pre adults. **Journal of Shellfish Research**, v. 20, p. 931-937, 2001.

CUZON, G. et al. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. **Aquaculture**, v. 235, p. 513-551, 2004.

CYRINO, J.E.P. et al. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 68–87, 2010.

DAVIS, D.A.; LAWRENCE, A.L. Response of *Peneaus vannamei* to dietary calcium, phosphorus, and calcium:phosphorus ratio. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 24, p. 504-515, 1993.

DAVIS, D.A.; LAWRENCE, A.L.; GATLIN III, D.M. Evaluation of the dietary iron requirement of *Penaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 23, p. 15-22, 1992.

DAVIS, D.A.; LAWRENCE, A.L.; GATLIN III, D.M. Dietary copper requirement of *Penaeus vannamei*. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v. 59, p. 117–122, 1993a.

DAVIS, D.A.; LAWRENCE, A.L.; GATLIN III, D.M. Evaluation of the dietary zinc requirement of *Penaeus vannamei* and effects of phytic acid on zinc and phosphorus bioavailability. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 24, p. 40-47, 1993b.

DE MARCO, M. et al. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, 211-218, 2015.

DORE, I.; FRIMODT C. **Illustrate guide shrimp of the world**. Hantington, NY, USA: Osprey Books, 1979. 229 p.

EFSA Scientific Committee. **Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed**. EFSA Journal, 2015. 60 p.

ERWIN, T.L. The biodiversity question: how many species of terrestrial arthropods are there? In: LOWMAN, M.D., RINKER, H.B. **Forest Canopies**. San Diego: Academic/Elsevier. 2004. p. 259-269.

EVANS, J. et al. “Entomophagy”: an evolving terminology in need of review. **Journal of the Insects as Food and Feed**, v. 1, p. 293–305, 2015.

FAO - Food Agriculture Organization of the United Nations. **Edible insects future prospects for food and feed security**. Roma, Itália, 2013. 201p.

FAO - Food Agriculture Organization of the United Nations. **Fisheries and Aquaculture Department**. Global Production Statistics. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en> Acesso: 08 fevereiro 2017.

FIGUEIREDO, M.S.R.B.; ANDERSON, A.J. Digestive enzyme spectra in crustacean decapods (Paleomonidae, Portunidae and Penaeidae) feeding in the natural habitat. **Aquaculture Research**, v. 40, p. 282-291, 2009.

FINKE, M.D.; OONINCX, D. Insects as food for insectivores. In: MORALES-RAMOS, J.A.; ROJAS, M.G.; SHAPIRO-ILAN, D.I. **Mass Production of Beneficial Organisms Invertebrates and Entomopathogens**. 1ª edição. Waltham, Massachusetts: Academic Press, 2014. p. 583-616.

FOX, J.M.; DAVIS, A.; LAWRENCE, A.L. Methionine-, Sulfur-Containing Amino Acids: Limiting Nutrients In Commercial Formulations. **Global Aquaculture Advocate**, p. 74-77, 2007.

FU, L. L.; CHEN, X.; WANG, Y. Quality evaluation of farmed whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, treated with different slaughter processing by infrared spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 151, p. 306-310, 2014.

GHALY, A.E.; ALKOAİK, F.N. The Yellow Mealworm as a Novel Source of Protein. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 4, p. 319-331, 2009.

GASCO, L., et al. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. **Animal Feed Science and Technology**, v. 220, p. 34-45, 2016.

GATLIN III, D. M. et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. **Aquaculture Research**, v. 38, p. 551-579, 2007.

GAXIOLA, G. et al. A. Factorial effects of salinity, dietary carbohydrate and moult cycle on digestive carbohydrases and hexokinases in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Comparative Biochemistry And Physiology A Molecular And Integrative Physiology**, v. 140, p. 29-39, 2005.

GLENCROSS, B.D. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. **Reviews in Aquaculture**, v. 1, p. 71-124, 2009.

GIBSON, R.; BARKER, P.L. The decapod hepatopancreas. **Oceanography and Marine Biology - An Annual Review**, v. 17, p. 285-346, 1979.

GONÇALVES, L.U. et al. In: FRACALOSI, D.M.; CYRINO, J.E.P. **NUTRIAQUA: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. 1ª edição ampliada. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013. p. 9-36.

GONG, H. et al. Lipid nutrition of juvenile *Litopenaeus vannamei* II. Active components of soybean lecithin. **Aquaculture**, v. 190, p. 325-342, 2000.

GONG, H. et al. Nuevos avances en el estudio de fosfolípidos nutrimentales para canarón. In: CRUZ SUÁREZ, L.E.; RICQUE MARIE, D.; NIETO LÓPEZ, M.G.; VILLAREAL, D.; SCHOLZ, U.; GONZÁLEZ, M. **Avances en Nutrición Acuícola VII**. Hermosillo, Sonora, México: Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, 2004. p. 329-343.

GONG, M.; BASSI, A. Carotenoids from microalgae: A review of recent developments. **Biotechnology Advances**, v. 34, p. 1396-1412, 2016.

GONZÁLEZ-FÉLIX M.L. et al. Effect of various dietary lipid levels on quantitative essential fatty acid requirements of juvenile pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 33, p. 330–340, 2002.

GONZÁLEZ-FÉLIX, M.L. et al. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: I. Effect of dietary linoleic and linolenic acids at different concentrations and ratios on juvenile shrimp growth, survival and fatty acid composition. **Aquaculture Nutrition**, v. 9, p. 105-113, 2003.

HARLIOĞLU, M. M. et al. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on the nutritional quality of abdomen meat and hepatopancreas in a freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 41, p. 144–150, 2015.

HE, H.; LAWRENCE, A.L. Vitamin C requirements of the shrimp *Penaeus vannamei*, **Aquaculture**, v. 114, p. 205-316. 1993.

HENRY, M., et al. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. **Animal Feed Science and Technology**, v. 203, p. 1–22, 2015.

JU, Z.Y.; FORSTER, I.P.; DOMINY, W.G. Effects of supplementing bioactive compounds to a formulated diet on sensory compounds and growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Aquaculture Research**, v. 41, p. 1421-1431, 2010.

KONOSU, S. The taste of fish and shellfish. In: BOUDREAU J. C. **Food Taste Chemistry**. Washington, D.C, USA: American Chemical Society. 1979, p. 185-203.

KUBOTA, K. et al. Identification and formation of characteristic volatile compounds from cooked shrimp. In: PARLIAMENT, T. H. ; MCGORRIN, R. J.; HO, C.T. **Thermal generation of aromas**. Washington, DC: American Society Chemistry. 1989. p. 377-385.

KURESHY, N.; DAVIS, D.A. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 204, p. 125–143, 2002.

MAKKAR, H.P.S. et al. State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 1–33, 2014.

MIGET, R.J.; HABY, M.G. **Naturally-occurring compounds which create unique flavors in wild-harvested shrimp**. Texas, USA: Texas AgriLife Extension, 2007. p. 1-12.

NEW, M.B. A review of dietary studies with shrimp and prawns. **Aquaculture**, v. 9, p. 101-144, 1976.

NG, W.K. et al. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. **Aquaculture Research**, v. 32, p. 273-280, 2001.

NOWAK, V. et al. Review of food composition data for edible insects. **Food Chemistry**, v. 193, p. 39–46, 2016.

NRC (National Research Council). **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2011, p. 376.

NUNAK, N.; SCHLEINING, G. Instrumental Textural Changes in Raw White Shrimp During Iced Storage. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 20, p. 350-360, 2011.

NUNES, A. J. P.; SÁ, M. V. C.; SABRY NETO, H. As próximas gerações de ração para camarão marinho. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 21, p. 24-35, 2011.

OONINCX, D.G. A. B. et al. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. **PLoS One**, v. 5, p. 1–7, 2010.

OONINCX, D.G. A. B., DE BOER, I.J.M. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. **PLoS One**, v. 7, p. 1-5, 2012.

PAPADOPOULOS, L. S.; FINNE, G. Effect of environmental salinity on sensory characteristics of penaeid shrimp. **Journal of Food Science**, v. 5, p. 812-814, 1986.

PÉREZ FARFANTE, I.; KENSLEY, B. Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world. Keys and diagnoses for the families and genera. **Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle**, Paris, 175, p. 1-233, 1997.

PUGA-LOPÉZ, D. et al. Physicochemical, Proximate Composition, Microbiological and Sensory Analysis of Farmed and Wild Harvested White Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) Tissues. **Current Research Journal of Biological Sciences**, v. 5, p. 130-135, 2013.

RAMOS-ELORDUY, J. et al. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 95, p. 214–220, 2002.

RIVAS-VEGA, M. et al. Effect of feed protein level on digestive proteolytic activity, texture and thermal denaturation of muscle protein in reared blue shrimp. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 10, p. 25–38, 2001.

ROCHA, I.P. Carcinicultura Brasileira: Realidade, Desafios e Perspectivas. **Panorama da Aquicultura**, n. 100, p. 62-63, 2007.

ROFFEIS, M. et al. Pig manure treatment with housefly (*Musca domestica*) rearing – an environmental life cycle assessment. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, p. 195–214, 2015.

RONCARATI, A. et al. Growth performance of common catchfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, p. 233-240, 2015.

ROSAS, C. et al. An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles. **Journal of Experimental Marine Biology And Ecology**, v. 268, p. 47-67, 2002.

SAMOCHA, T.M. et al. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 231, p. 197–203, 2004.

SÁNCHEZ-MUROS, M.J., et al. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 943-955, 2016.

SANTA CATARINA. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). **Síntese Informativa da Maricultura 2014**. Florianópolis, 2014. Disponível em: http://www.epagri.sc.gov.br/wp-content/uploads/2013/08/Sintese_informativa_da_maricultura_2014.pdf Acesso em: 28 janeiro 2017

SEALEY, W.M. et al. Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 42, p. 34-45, 2011.

SHELOMI, M. Why we still don't eat insects: Assessing entomophagy promotion through a diffusion of innovations framework. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, p. 311–318, 2015.

SHIAU, S. Nutrient requirements of penaeid shrimps. **Aquaculture**, v. 164, p. 77–93, 1998.

SIEMIANOWSKA, E. et al. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. **Agricultural Sciences**, v. 4, p. 287-291, 2013.

VAN BROEKHOVEN, S. et al. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, v. 73, p. 1–10, 2015.

VAN HUIS, A. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 563–583, 2013.

VAN HUIS, A. Edible insects are the future? **The Proceedings of the Nutrition Society**, p. 1–12, 2016.

VELASCO-ESCUADERO, M.; LAWRENCE, A.L. Nutrient requirements and current status of shrimp nutrition research. In: ALDAY-SANZ, V. **The Shrimp Book**. United Kingdom: Nottingham University Press. 2010. pp. 477-481.

VELDKAMP, T. et al. 2012. **Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study.** Wageningen, The Netherlands: Wageningen Livestock Research. 2012. 48p.

VOGT, G. et al. Biosynthesis of *Astacus* protease, a digestive enzyme from crayfish. **Histochemistry**, v. 91, p. 373-381, 1989.

WANG, L. et al. Structure and partial protein profiles of the peritrophic membrane (PM) from the gut of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 33, p. 1285-1291, 2012.

WHITFIELD, F.B. et al. Distribution of Bromophenols in Australian Wild-Harvested and Cultivated Prawns (Shrimp). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 45, p. 4398-4405, 1997.

WORLD BANK. **Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture.** Agriculture and environmental services discussion paper no. 3. Washington DC: World Bank Group. 2013. 77p.

WOUTERS, R. et al. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. **Aquaculture**, v. 202, p. 1–21, 2001.

XIE, F. et al. Dietary lysine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 358-359, p. 116–121, 2012.

XUE, X.M. et al. Characterisation of cellulase activity in the digestive system of the redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) **Aquaculture**, v. 180, p. 373–386, 1999.

ZHOU, Q.C. et al. Dietary arginine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 364–365, p. 252–258, 2012.

ZHOU, Q.C. et al. Dietary threonine requirements of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 392–395, p. 142–147, 2013.

CAPÍTULO 2 - POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DE FARINHA DE LARVAS DO INSETO *Tenebrio molitor* COMO UMA FONTE PROTEICA ALTERNATIVA PARA O CAMARÃO BRANCO DO PACÍFICO: DIGESTIBILIDADE E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

Artigo Publicado:

PANINI, R.L.; FREITAS, L.E.L.; GUIMARÃES, A.M.; RIOS, C.; SILVA, M.F.O.; VIEIRA, F.N.; FRACALOSSO, D.M.; SAMUELS, R.I.; PRUDÊNCIO, E.S.; SILVA, C.P.; AMBONI, R.D.M.C. Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: Digestibility and performance. **Aquaculture**, v. 473, p. 115–120, 2017.

RESUMO

A farinha de larva do inseto *Tenebrio molitor* (TM) foi avaliada como uma fonte proteica alternativa para o camarão *Litopenaeus vannamei*. Os coeficientes da digestibilidade aparente (CDAs) da TM foram determinados utilizando uma dieta referência e uma dieta teste contendo 85 % da dieta referência e 15 % da TM, ambas contendo o óxido de cromo como marcador inerte. A partir dos resultados dos CDAs da TM, foram preparadas cinco dietas com diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por TM (0, 25, 50, 75 e 100 %), as quais foram empregadas no cultivo do camarão *L. vannamei*. Após seis semanas de cultivo em água clara, o desempenho zootécnico e a composição corporal do camarão foram avaliados. Os valores dos CDAs da TM para o camarão *L. vannamei* foram: 45,9 % para matéria seca, 66,5 % para energia, 76,1 % para proteína e para os aminoácidos essenciais os valores variaram de 72 a 86 %. Metionina foi o aminoácido limitante da TM para o camarão *L. vannamei*. Os parâmetros de crescimento avaliados como ganho de peso, taxa de crescimento específico, ingestão alimentar, conversão alimentar, retenção proteica e sobrevivência não foram afetados pela substituição da farinha de peixe por TM ($p > 0,05$). O teor proteico corporal do camarão não apresentou diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Entretanto, com o aumento dos níveis de substituição da farinha de peixe, o teor de lipídeo corporal aumentou significativamente de 1,13 % para 1,88 %. Estes resultados sugerem que a farinha de larva de *T. molitor* pode ser utilizada como uma fonte de proteína alternativa para o camarão *L.*

vannamei, embora o aminoácido metionina deva ser suplementado na dieta.

Palavras-chave: *Litopenaeus vannamei*; *Tenebrio molitor*; substituição proteica; farinha de inseto; desempenho zootécnico; nutrição.

Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: Digestibility and performance.

ABSTRACT

Mealworm meal (MM) was evaluated for its potential as a future protein source for the farmed shrimp *Litopenaeus vannamei*. The apparent digestibility coefficients (ADC) were determined using a reference diet and a test diet that contained 85 % reference diet and 15 % MM, both contained 0.5 % chromic oxide as an inert marker. Subsequently, considering the digestible values of MM, after six weeks of culture under clear water using five diets containing different levels of fishmeal replaced by MM (0, 25, 50, 75 and 100 %), the growth parameters and the whole shrimp body composition were evaluated. The values of the ADC were: 45.9 % for dry matter, 66.5 % for energy and 76.1 % for crude protein while the ADC for essential amino acids ranged from 72 to 86 %. Methionine was the first limiting amino acid in MM. Weight gain, specific growth rate, feed intake, feed conversion, survival and protein retention were not affected when fishmeal was replaced by MM ($p > 0.05$). The protein content of shrimp body showed no significant differences ($p > 0.05$) between the treatments. However, lipid content of shrimp body increased from 1.13 to 1.88 % when fishmeal was replaced by MM. These results suggest that mealworm meal can be utilised as an alternative protein source for *L. vannamei* juveniles, although methionine should be added as a supplement.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*; *Tenebrio molitor*; protein replacement; insect meal; growth; nutrition.

1. INTRODUÇÃO

O camarão *Litopenaeus vannamei*, conhecido como camarão branco do Pacífico, foi responsável por 80 % da produção mundial entre todas as espécies de camarão de criação em 2014, atingindo 3.679.606 toneladas (FAO, 2017). Estima-se que nos próximos dez anos a sua produção aumentará em mais de 10 %, em função dos resultados dos avanços genéticos, nutricionais e a modernização das técnicas de criação (WORLD BANK, 2013). No entanto, esta expansão tem aumentado a demanda por farinha de peixe, que constitui a principal fonte proteica da dieta do camarão cultivado e cuja produção permanece relativamente constante nas últimas décadas (FAO, 2012; SAMOCHA et al., 2004).

Por isso, a grande maioria das pesquisas em nutrição para camarões está em busca de fontes proteicas alternativas para reduzir a dependência da farinha de peixe nas dietas (BAUER et al., 2012; MOLINA-POVEDA; CÁRDENAS; JOVER, 2017; OUJIFARD et al., 2012).

Insetos têm sido apontados pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação como um ingrediente sustentável e de alto teor proteico para a alimentação animal (FAO, 2013). Em geral, os insetos podem ser altamente nutritivos, pois são uma grande fonte de proteínas, lipídeos, minerais, vitaminas e energia, dependendo da espécie, do estágio em desenvolvimento (larva, pupa, ninfa e/ou adulto) e da dieta (BARROSO et al., 2014). Além disso, sua produção requer menos terra e água (OONINCX; DE BOER, 2012; VAN HUIS, 2013) e emite menos gases de efeito estufa e amônia do que a criação de gado (OONINCX et al., 2010). Os insetos apresentam elevado índice de conversão alimentar (SHELOMI, 2015) e podem ser alimentados com resíduos orgânicos, tendo um papel importante na reciclagem de materiais na biosfera terrestre (VELDKAMP et al., 2012).

O inseto da espécie *Tenebrio molitor*, um besouro da família Tenebrionidae conhecido como “mealworm” em sua fase larval, é uma fonte proteica alternativa promissora e que já vem sendo criado em escala industrial (FAO, 2013). Normalmente o *T. molitor* é alimentado com dietas a base de uma mistura de grãos de cereais, embora possa consumir carne, penas e outras substâncias, devido à sua natureza onívora (RAMOS-ELORDUY et al., 2002; VAN BROEKHOVEN et al., 2015). A farinha da larva de *T. molitor* contém quantidades elevadas de proteína (470 a 600 g kg⁻¹), lipídeos (310 a 430 g kg⁻¹) e baixo teor de cinzas (< 50 g kg⁻¹). As larvas frescas contêm cerca de 60 % de água e são uma boa fonte de vitaminas e minerais (MAKKAR et al., 2014). A farinha de larva de *T. molitor* mostrou ser uma fonte proteica alternativa em dietas para frangos de corte, substituindo a farinha de soja (BOVERA et al., 2016; DE MARCO et al., 2015; RAMOS-ELORDUY et al., 2002). Além disso, já foi testada em dietas de substituição de farinha de peixe para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (BELFORTI et al., 2015), robalo europeu (*Dicentrarchus labrax* L.) (GASCO et al., 2016), bagre comum (*Ameiurus melas*) (RONCARATI et al., 2015) e tilápia (*Oreochromis niloticus*) (SÁNCHEZ-MUROS et al., 2016).

Em geral, a qualidade nutricional da proteína de inseto é considerada boa (FINKE; OONINCX, 2014). No entanto, o potencial desta fonte proteica alternativa na alimentação animal depende da sua digestibilidade e do seu perfil de aminoácidos. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar os coeficientes de digestibilidade aparente da

farinha de larva de *Tenebrio molitor* quando utilizada na dieta do camarão *L. vannamei* juvenil e avaliar seu efeito sobre o desempenho zootécnico e na composição química do camarão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Farinha de larva de *T. Molitor*

As larvas desidratadas de *Tenebrio molitor* adquiridas da empresa Nutrinsecta Criação e Comércio de Insetos LTDA (Betim, MG, Brasil) foram moídas em moinho de facas (Clatronic, Kempen, Alemanha) para obter um tamanho de partícula de 800 μm . A farinha obtida foi armazenada em sacos de plástico de polietileno a -20 ± 2 °C até o momento da sua utilização.

2.2 Camarão *Litopenaeus vannamei*

Pós-larvas de camarões da espécie *L. vannamei* de linhagem livre de patógenos específicos (SPF) foram fornecidas pela Aquatec Aquacultura LTDA (Canguaretama, RN, Brasil) e criadas em um sistema de bioflocos no Laboratório de Camarão Marinho da Universidade Federal de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil) durante o período pré-experimental. Camarões com peso médio de $10,1 \pm 1,1$ g e $4,42 \pm 0,02$ g, foram utilizados para os experimentos de digestibilidade e desempenho zootécnico, respectivamente.

2.3 Ensaio de digestibilidade

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína, aminoácidos essenciais e energia da farinha de larva de *T. molitor* (TM) para o camarão *L. vannamei* foi determinado utilizando o método indireto descrito por Cho e Slinger (1979). Uma dieta referência contendo ingredientes semi-purificados (Tabelas 2.1 e 2.2) foi formulada com o auxílio do *software* Optimal Fórmula 2000, para conter 300 g kg^{-1} de proteína digestível e 3000 kcal kg^{-1} de energia digestível com base nas recomendações e exigências nutricionais para o bom desempenho do camarão *L. vannamei* (NRC, 2011). Para os aminoácidos essenciais, a formulação foi baseada nas exigências das espécies *Penaeus monodon* e *Marsupenaeus japonicus* (NRC, 2011), exceto para os aminoácidos arginina, lisina e treonina, dos quais as exigências já foram definidas para o *L. vannamei* (XIE et al., 2012;

ZHOU et al., 2012; ZHOU et al., 2013). A partir da dieta referência, uma dieta teste foi confeccionada contendo 845 g kg⁻¹ da dieta referência e 150 g kg⁻¹ de farinha de larva de *T. molitor* (Tabela 2.2). Em ambas as dietas foi adicionado 5 g kg⁻¹ de óxido de cromo, como marcador inerte. Cada dieta foi preparada misturando os macro ingredientes e os micro ingredientes, que haviam sido previamente misturados, em um misturador (modelo BP-20C G. Paniz, Caxias do Sul, RS, Brasil). Em seguida, o óleo de fígado de bacalhau, o óleo de soja e a lecitina de soja foram homogeneizados em uma emulsão e adicionados à mistura. Por último, o teor de umidade foi ajustado para 25 % com auxílio de um analisador de umidade (modelo MB 45, Ohaus, São Paulo, Brasil). Em seguida, a “massa” foi extrusada em uma extrusora (modelo MX-40, Imbramaq, Ribeirão Preto, SP, Brasil) a uma temperatura de 100 °C, pressão de 4 atm, velocidade de produção de 800 g min⁻¹ e com uma matriz laminar de 1,5 mm para formar péletes de 2,0 mm de diâmetro. Os péletes foram secos em uma estufa de fluxo de ar (Modelo MA-035/3, Marconi Equipment Laboratory Ltda, Piracicaba, SP, Brasil) a 55 °C até atingir um teor de umidade em torno de 10 %, acondicionados em sacos plásticos de polietileno e armazenados a -20 ± 2 °C até a utilização.

Grupos de oito camarões (peso médio $10,1 \pm 1,1$ g) foram estocados em seis aquários retangulares de vidro (50 L) em uma sala equipada com sistema de distribuição de água salgada (proveniente da praia da Barra da Lagoa, Florianópolis, SC, Brasil), sistema de aeração ($O_2 > 5\text{mg L}^{-1}$) e termostatos e tomadas para aquecedores ($28 \pm 0,5$ °C). Os camarões foram aclimatados por sete dias às dietas e condições experimentais e após esse período, iniciou-se a coleta de fezes. A alimentação foi fornecida *ad libitum* três vezes por dia (8:00, 13:00 e 18:00 h). Após a última alimentação, os tanques foram limpos e 30 % da água renovada. As rações fornecidas foram deixadas na água durante uma hora. Em seguida, as sobras de rações e as fezes eliminadas neste período foram retiradas do aquário por sifonagem. Após a alimentação da manhã e da tarde, somente fezes frescas e intactas foram coletadas por sifonagem com uma pipeta Pasteur, suavemente enxaguadas com água destilada para remover o excesso de água salgada e os alimentos não consumidos, que porventura tivessem sobrado na coluna da água, transferidas para tubos falcon e imersas em banho de gelo. Posteriormente, as fezes de cada tratamento foram centrifugadas a 6000 x g durante 5 min em uma centrífuga refrigerada a 4 ± 2 °C (modelo 5804R Eppendorf AG, Hamburgo, Alemanha) para retirar o excesso de água. No final do experimento, as fezes foram liofilizadas (Liobrás,

L101, São Carlos, SP, Brasil) e armazenadas em tubos falcon a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a realização das análises químicas.

Tabela 2.1: Composição da dieta referência (semi-purificada) utilizada no experimento de digestibilidade da farinha de larva de *Tenebrio molitor* para o camarão *Litopenaeus vannamei*.

Ingredientes	Quantidade (g kg ⁻¹)
Amido de milho ^a	371,5
Caseína ^a	265,0
Caulim ^b	80,0
Gelatina ^a	67,0
Celulose ^a	50,0
Premix macromineral ^f	46,0
Óleo de fígado de bacalhau ^c	39,5
Premix Vitamínico-micromineral ^h	24,0
Lecitina de soja ^d	21,0
Óleo de soja ^e	19,0
Cloreto de sódio ^f	7,0
Carboximetilcelulose ^a	5,0
Óxido de cromo ^g	5,0

^a Rhoster Indústria e Comércio LTDA (Araçoiaba da Serra, SP, Brasil).

^b Vita Essência Farmácia de Manipulação e Homeopatia LTDA (Florianópolis, SC, Brasil).

^c Delaware LTDA (Porto Alegre, RS, Brasil).

^d IMCOPA Importação, Exportação e Indústria de Óleos S.A. (Araucária, PR, Brasil).

^e Cocamar Cooperativa Agroindustrial (Maringá, PR, Brasil).

^f Labsynth Produtos para Laboratórios LTDA (Diadema, SP, Brasil).
Composição (g kg⁻¹): fosfato bicálcico 454 g; cloreto de potássio 297 g; cloreto de sódio 164 g; sulfato de magnésio 75 g.

^g Vetec Química Fina LTDA (Duque de Caxias, RJ, Brasil).

^h Vaccinar Indústria e Comércio LTDA (Belo Horizonte, MG, Brasil).
Composição (g kg⁻¹): vitamina A 2.400.000 IU; vitamina D₃ 600.000 IU; vitamina E 30.000 IU; vitamina K 3.000 mg; vitamina B₂, 4.000 mg; ácido pantotênico 10.000 mg; niacina 20.000 mg; vitamina B₁₂ 8.000 µg; cloridato de colina 100.000 mg; biotina 200 mg; vitamina B₁ 4.000 mg; vitamina B₆ 3.500 mg; inositol 25.000 mg; vitamina C 60.000 mg; sulfato de cobre 3.500 mg; iodado de cálcio 160 mg; sulfato de ferro 20.000 mg; sulfato de manganês 10.000 mg; sulfato de zinco 24.000 mg; selênio 100 mg; cobalto 80 mg; BHT 5.000 mg; excipiente q.s.p. 1.000 g.

Tabela 2.2: Composição centesimal e perfil de aminoácidos essenciais analisados da dieta referência, dieta teste e do ingrediente teste (farinha de larva de *Tenebrio molitor*, TM).

Composição (g kg ⁻¹ base seca)	Dieta referência	Dieta teste	Ingrediente teste (TM)
Matéria seca ^a	913,6	913,6	962,8
Proteína	297,1	332,2	558,2
Lípídeo	50,0	120,5	346,4
Cinzas	136,0	119,0	30,3
Fibra bruta	2,90	11,8	46,5
ELN	514	416,5	18,6
Energia (kcal g ⁻¹)	4390	4914	7744
<i>Aminoácidos essenciais (g kg⁻¹)</i>			
Arginina	13,1	15,7	34,5
Histidina	6,1	7,8	20,1
Isoleucina	11,1	12,4	23,6
Leucina	21,9	24,3	38,0
Lisina	20,3	22,7	33,6
Metionina	7,0	7,3	7,6
Fenilalanina	13,0	14,4	23,0
Treonina	11,3	13,0	35,6
Valina	15,3	17,8	32,9

^a g kg⁻¹ base úmida.

ELN = Extrato livre de nitrogênio = 100% - (% umidade + % proteína + % lípídeo + % cinzas + % fibra bruta)

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da matéria seca, proteína, energia e aminoácidos de cada dieta foram determinados de acordo com a seguinte equação (CHO; SLINGER, 1979):

$$\%CDA_n = 100 - \left[100 \times \left(\frac{\%Cromo_{dieta}}{\%Cromo_{fezes}} \right) \times \left(\frac{\%Nutriente\ ou\ energia_{fezes}}{\%Nutriente\ ou\ energia_{dieta}} \right) \right]$$

Os coeficientes de digestibilidade aparente (ADCs) para matéria seca, proteína, energia e aminoácidos do ingrediente teste (TM) foram determinados de acordo com a seguinte equação (BUREAU; HUA, 2006):

$$\%ADC_{TM} = ADC_{dieta-teste} + [(ADC_{dieta-teste} - ADC_{dieta\ ref.}) \times \frac{0,85 * N_{ref}}{0,15 * N_{ing}}]$$

Onde: $ADC_{\text{dieta-teste}}$ e $ADC_{\text{dieta ref.}}$ são coeficientes de digestibilidade aparente calculados na Eq. 1; N_{ref} e N_{ing} são as concentrações (%) do nutriente (matéria seca, proteína bruta e aminoácido) ou energia na dieta de referência e do ingrediente teste, respectivamente.

2.4 Ensaio de desempenho zootécnico

Cinco dietas experimentais foram formuladas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por TM (0, 25, 50, 75 e 100 %) (Tabela 2.3). As dietas foram formuladas com o auxílio do *software* Optimal Fórmula 2000, com base nas recomendações e exigências nutricionais do camarão *L. vannamei*, conforme citado no item 2.3. A porcentagem de substituição da farinha de peixe pela TM foi balanceada para manter a mesma quantidade de proteína digestível (300 g kg^{-1}) entre as dietas. Contudo, como a farinha de larva de *T. molitor* (TM) possui menor teor de proteína (55,82 %) e menor coeficiente de digestibilidade aparente para o *L. vannamei* (76,1 %) do que a farinha de peixe (78 % de proteína e 89,7 % de digestibilidade - dados não mostrados), a quantidade de TM adicionada foi aproximadamente 50 % maior do que a quantidade de farinha de peixe substituída. Na formulação das dietas buscou-se balancear a quantidade de gordura para que se mantivessem constantes os ácidos graxos da série n-6, por meio da inclusão de óleo de soja, assim como os ácidos graxos da série n-3, especialmente EPA e DHA, por meio da inclusão de óleo de fígado de bacalhau. A metionina foi adicionada de maneira gradual conforme o aumento da substituição da farinha de peixe pela TM para suprir a exigência deste aminoácido pelo camarão *L. vannamei*, uma vez que este aminoácido mostrou ser limitante na TM. As cinco dietas foram extrusadas no Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI, UFSC, Florianópolis, SC) conforme descrito no ensaio anterior (item 2.3).

O cultivo foi realizado em uma sala equipada com sistema de distribuição de água salgada (proveniente da praia da Barra da Lagoa, Florianópolis, SC, Brasil), sistema de aeração ($O_2 > 5 \text{ mg L}^{-1}$) e termostatos e tomadas para aquecedores ($28 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$). O delineamento foi inteiramente casualizado, com três réplicas, num total de 15 unidades experimentais. As unidades experimentais foram tanques circulares de polietileno azul com fundo plano e capacidade para 400 L. Cada unidade experimental foi povoada com 30 camarões de peso médio de $4,42 \pm 0,02 \text{ g}$. Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia (07:00, 11:00, 13:30 e 17:00 h) com uma quantidade equivalente a 6 %

da biomassa de acordo com a tabela de van Wick (1999). O alimento foi colocado em bandejas de alimentação com área de $0,03\text{m}^2$ para posterior checagem do consumo (1,5 h após a oferta do alimento). Uma vez por semana no período da manhã foi realizada a biometria, onde todos os animais de cada tanque foram contados e pesados. Uma vez por dia foi realizada a limpeza dos tanques através de sifonamento para remoção de fezes, de sobra de ração e mudas dos camarões e 30 % da água foi renovada. Os parâmetros da qualidade da água como temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH foram medidos uma vez ao dia utilizando um analisador multiparâmetro (YSI 55) e os teores de amônia e nitrito foram medidos uma vez por semana utilizando o método colorimétrico de acordo com o procedimento descrito por Strickland e Parsons (1972). Ao longo do experimento as médias do oxigênio dissolvido ($6,23 \pm 0,03$ mg), da temperatura ($28,3 \pm 0,07^\circ\text{C}$), da salinidade ($32,44 \pm 0,16$), pH ($8,13 \pm 0,02$), da amônia ($0,47 \pm 0,05$ mg L^{-1}) e do nitrito ($0,02 \pm 0,02$ mg L^{-1}) mantiveram-se dentro das condições ideais para o cultivo do *L. vannamei* (BOYD; GAUTIER, 2000).

Após 42 dias de experimento, os camarões foram coletados, pesados e refrigerados e congelados para posterior análise (conforme Capítulo 3). Os dados coletados nas biometrias foram utilizados para determinação das seguintes variáveis de desempenho: ganho de peso (= peso final (g) – peso inicial (g)), taxa de crescimento específico (TCE% = Log_e peso corporal final - Log_e peso corporal inicial / número de dias $\times 100$), ingestão alimentar (ID% = $100 \times [(\text{consumo total de alimento seco por camarão}) / (\text{peso final do camarão} + \text{peso inicial do camarão})^{0,5}] / \text{número de dias alimentados}$), conversão alimentar (CA = alimento consumido / peso final – peso inicial), taxa de retenção de proteína (TRP = $[(\text{Peso final (g)} \times \text{proteína corporal final (\%)}) - (\text{peso inicial (g)} \times \text{proteína corporal inicial (\%)})] / \text{consumo total de proteína (g, base seca)}$), e taxa de sobrevivência (TS% = número final de camarões coletados / número inicial de camarões estocados $\times 100$).

Tabela 2.3: Formulação e composição das dietas experimentais utilizadas para alimentar o camarão *Litopenaeus vannamei* contendo diferentes níveis de substituição da farinha de peixe pela farinha de larva de *Tenebrio molitor*.

Ingredientes (g kg ⁻¹ base seca)	Substituição da farinha de peixe (%)				
	0	25	50	75	100
Farinha de peixe ¹	206,0	154,5	103,0	51,5	0,0
Farinha de larva de <i>T. molitor</i> ²	0,0	76,3	152,5	228,8	305,0
Concentrado proteico de soja ³	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
Farinha de trigo ⁴	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
Óleo de fígado de bacalhau ⁵	2,5	2,5	2,5	2,5	9,8
Óleo de soja ⁶	50,9	30,3	9,7	0,0	0,0
Lecitina de soja ⁷	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3
Colesterol ⁸	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Carboximetilcelulose ⁹	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Caulim ¹⁰	139,9	135,2	130,6	113,0	80,5
Premix vitamínico ¹¹	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Premix mineral ¹²	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Cloreto de sódio ⁹	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Vitamina C ¹³	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fosfato bicálcico ⁹	4,5	4,5	4,5	6,5	6,5
DL-Metionina ¹⁴	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Composição centesimal (g kg ⁻¹ base seca)					
Matéria seca ^a	891,7	897,2	901,8	906,5	908,2
Proteína	367,2	371,6	377,0	381,9	385,2
Proteína digestível	300	300	300	300	300
Lípideo	101,9	99,7	98,5	111,4	143,3
Cinzas	220,7	211,4	203,9	187,5	158,4
ELN	310,2	317,3	320,6	319,2	313,1
Energia (kcal kg ⁻¹)	3972	4028	4084	4230	4525
Energia digestível (kcal kg ⁻¹)	3044	3028	3011	3086	3301

¹ Farinha de resíduo de Salmão - Tectron Imp. e Exp. de Prod. Veterinários LTDA (Toledo, PR, Brasil).

² Nutrinsecta Ind. Com. LTDA (Betim, MG, Brasil).

³ IMCOPA - Importação, Exportação e Indústria de Óleos S.A. (Araucária, PR, Brasil);

⁴ Nordeste Com. de Alimentos LTDA (Antônio Prado, RS, Brasil).

⁵ Delaware Ltda (Porto Alegre, RS, Brasil).

⁶ Cocamar Cooperativa Agroindustrial (Maringá, PR, Brasil).

⁷ Quimidrol Com. Ind. Imp. Ltda (Joinville, SC, Brasil).

⁸ Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

⁹ VETEC Química Fina LTDA (Duque de Caxias, RJ, Brasil).

¹⁰ Vita Essência Farmácia de Manipulação e Homeopatia LTDA (Florianópolis, SC, Brasil).

¹¹ InVivo mix (Paulínia, SP, Brasil) – Premix vitamínico: vitamina A 3.000.000 IU; vitamina D₃ 1.000.000 IU; vitamina E 70.000 IU; vitamina K₃, 14 g; vitamina B₁ 30 g; vitamina B₂ 20 g; vitamina B₆ 33 g; vitamina B₁₂ 50.000 mcg; ácido pantotênico 40 g; biotina 750 mg; ácido nicotínico 70 g; ácido fólico 3.000 mg; excipiente q.s.p., 1.000 g.

¹² InVivo mix (Paulínia, SP, Brasil) – Premix mineral: potássio 6.100 mg; cobre 23.330 mg; zinco 10.000 mg; manganês 20.000 mg; selênio 125 mg; iodo 1000 mg; cobalto 50 mg; excipiente q.s.p. 1.000 g.

¹³ DSM Produtos Nutricionais (São Paulo, SP, Brasil).

¹⁴ Evonik Degussa Brasil LTDA (Guarulhos, SP, Brasil).

^a g kg⁻¹ base úmida.

ELN = Extrato livre de nitrogênio = 100% - (% umidade + % proteína + % lipídeo + % cinzas + % fibra bruta)

2.5 Análises químicas

A composição química da farinha de larva de *T. molitor* (TM), das dietas, das amostras fecais e dos camarões inteiros foi realizada no Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI, UFSC, Florianópolis, SC) de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2005). A umidade foi determinada pelo método gravimétrico a 105 °C até peso constante (método 950.01); as cinzas por incineração a 550 °C por 5 horas (método 942.05); o conteúdo de proteína por meio de seu conteúdo de nitrogênio pelo método de Kjeldahl, utilizando um fator de conversão de 6,25 (método 945.01); a fração lipídica pelo método de Soxhlet (método 920.39C). A determinação de fibra bruta foi determinada pelo método 962.09 (CBO Análises Laboratoriais, Campinas, SP, Brasil). O extrato livre de nitrogênio foi determinado pela soma dos números correspondentes às percentagens das cinco determinações precedentes, diminuídas de 100 (AOAC, 2005). A energia bruta das amostras foi realizada em bomba calorimétrica adiabática (CBO Análises Laboratoriais, Campinas, SP, Brasil). O teor de óxido de cromo das dietas e fezes foi determinado pelo método espectrofotométrico proposto por Bremer Neto et al. (2003). Os aminoácidos essenciais foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (CBO Análises Laboratoriais, Campinas, SP, Brasil). A composição química foi realizada em triplicata para umidade e cinzas; e para a fração lipídica e proteína foi realizada em duplicata.

2.6 Análise Estatística

Os dados foram tratados utilizando o *software* STATISTICA 12.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA). Foram realizados testes para verificação da normalidade e homocedasticidade dos dados (teste de Levene). A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para determinar a existência de diferença ($p < 0,05$) entre os resultados da qualidade de água e o teste de Tukey foi aplicado como teste de comparação de médias. Os dados de desempenho zootécnico e de composição corporal foram submetidos à análise de regressão com nível de significância de 5 %.

3. RESULTADOS

3.1 Ensaio de digestibilidade

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da TM para o *L. vannamei* estão ilustrados na Tabela 2.4. O CDA da matéria seca e o CDA da energia apresentaram valores baixos, enquanto que o CDA da proteína apresentou um valor de $76,10 \pm 6,9$ %. Os valores dos CDAs dos aminoácidos essenciais da TM variaram de 72,86 a 86,41 %. Com base nos valores dos CDAs foram calculados a partir da composição nutricional da TM (Tabela 2.2), os valores dos nutrientes e da energia aparentemente digeridos pelo *L. vannamei*. A partir destes valores estimou-se os percentuais mínimos de inclusão da TM de modo a atender às exigências nutricionais do *L. vannamei* com uma dieta contendo 300 g kg^{-1} de proteína digestível (Tabela 2.4). A metionina foi o aminoácido limitante da TM para o *L. vannamei*.

3.2 Ensaio do desempenho zootécnico e análise centesimal do camarão inteiro

Os parâmetros de crescimento avaliados neste trabalho não foram afetados pela substituição da farinha de peixe por TM ($p > 0,05$) (Tabela 2.5). O teor proteico do corpo de camarão não apresentou diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos. No entanto, o teor de umidade apresentou uma tendência linear decrescente (2,15 %) com aumento do nível de substituição da farinha de peixe. Enquanto que o teor de lipídeo aumentou significativamente de 1,13 para 1,88% quando utilizou-se quantidades maiores da TM (Tabela 2.5).

Tabela 2.4: Coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da farinha de larva de *Tenebrio molitor* (TM), nutrientes e energia digestíveis da TM pelo camarão *Litopenaeus vannamei* e suas exigências nutricionais.

Frações	CDA (%)	TM digestível (g kg ⁻¹)	Exigências nutricionais <i>L. vannamei</i> (g kg ⁻¹)	Inclusão da TM ¹ (%)
Matéria seca	45,9 ± 22,0	442	-	
Proteína	76,1 ± 6,9	423	300	71
Energia (kcal kg ⁻¹)	66,5	5150	3000	58
<i>Aminoácidos essenciais</i>				
Arginina	86,05	29,7	14,3	48
Histidina	72,86	14,7	7,1	48
Isoleucina	77,88	18,4	8,8	48
Leucina	76,76	29,2	15	51
Lisina	86,41	29,1	15,4	53
Metionina	76,74	5,8	6,2	106
Fenilalanina	74,59	17,6	12,4	71
Treonina	84,89	30,3	10,5	35
Valina	75,41	24,8	11,1	45
Aminoácido Limitante			Metionina	

¹ Simulação do percentual de inclusão da TM para atender as exigências nutricionais do *L. vannamei* e o respectivo aminoácido limitante.

Tabela 2.5: Efeito da substituição de farinha de peixe pela farinha de larva de *Tenebrio molitor* na dieta do camarão *Litopenaeus vannamei* sobre as variáveis de desempenho zootécnico e composição corporal do camarão.

Variáveis	<i>Substituição da farinha de peixe (%)</i>					Valor p* Regressão
	0	25	50	75	100	
Peso final ¹ (g)	9,28 ± 0,16	8,96 ± 0,30	9,19 ± 0,58	9,50 ± 0,46	9,21 ± 0,07	0,57
Ganho peso (g)	4,86 ± 0,16	4,54 ± 0,27	4,76 ± 0,57	5,10 ± 0,42	4,78 ± 0,07	0,56
TCE ²	1,76 ± 0,04	1,68 ± 0,07	1,73 ± 0,15	1,83 ± 0,09	1,64 ± 0,21	0,55
ID ³	4,49 ± 0,13	4,43 ± 0,43	4,65 ± 0,23	4,29 ± 0,25	4,98 ± 0,37	0,20
CA ⁴	2,65 ± 0,09	2,75 ± 0,25	2,82 ± 0,29	2,46 ± 0,29	2,99 ± 0,25	0,46
TRP ⁵	17,62 ± 2,09	16,18 ± 3,75	16,79 ± 2,95	18,79 ± 3,46	16,24 ± 1,94	0,98
Sobrevivência %	89 ± 9	90 ± 10	88 ± 9	96 ± 2	81 ± 10	0,55
<i>Composição corporal (g 100g⁻¹ base úmida)</i>						
Umidade	79,01 ± 1,08	78,43 ± 1,20	77,75 ± 0,91	77,56 ± 0,52	76,76 ± 0,52	0,003
Proteína	15,77 ± 0,70	15,77 ± 1,18	16,39 ± 0,55	16,12 ± 0,76	16,88 ± 0,33	0,07
Lípídeo	1,17 ± 0,04	1,13 ± 0,12	1,2 ± 0,08	1,26 ± 0,03	1,88 ± 0,13	0,001

* Umidade, $y = -0,0215x + 78,977$ ($R^2 = 0,51$); Lípídeo, $y = 0,0062x + 1,0185$ ($R^2 = 0,57$).

¹ Peso médio inicial = $4,42 \pm 0,02$ g.

² TCE = Taxa de crescimento específico (%).

³ Ingestão diária alimentar (base seca, g camarão⁻¹).

⁴ Conversão alimentar

⁵ TRP = Taxa de retenção proteica (%).

4. DISCUSSÃO

O valor da proteína da TM observado neste trabalho (Tabela 2.2) foi semelhante ao encontrado por Bernard e Allen (1997) e ligeiramente maior do que o valor reportado por Siemianowska et al. (2013). De acordo com Aniebo e Owen (2010), estas variações podem estar relacionadas ao estágio de desenvolvimento em que as larvas foram coletadas e também ao método de processamento. O resultado do perfil de aminoácidos essenciais da TM observado neste estudo é semelhante ao reportado por outros autores (FINKE, 2015; GHALY; ALKOAİK, 2009; MAKKAR et al., 2014). Barroso et al. (2014) relataram que o perfil de aminoácidos é independente da composição da dieta e está mais relacionado à taxonomia do inseto. Valores elevados de lipídeos em TM também têm sido relatados por outros autores, que observaram índices que variam de 30,1 a 42,48 % (AGUILAR-MIRANDA et al., 2002; BERNARD; ALLEN, 1997; RAMOS-ELORDUY et al., 2002; SIEMIANOWSKA et al., 2013). Os fatores que influenciam a grande variação no teor de lipídeos podem estar relacionados ao estágio de desenvolvimento, período de coleta e aos diferentes tipos de dietas utilizadas na criação do inseto. No estágio final de crescimento larval, as reservas de lipídeos são normalmente mais elevadas para que sejam utilizadas como fonte de energia na fase precedente à metamorfose (BARROSO et al., 2014; FINKE; OONINCX, 2014; ROFFEIS et al., 2015; VAN BROEKHOVEN et al., 2015). O teor de fibra bruta no TM observado neste estudo, que é representado pela quitina (um polímero linear de unidades β -(1-4)-N-acetil-D-glucosamina, estruturalmente semelhante à celulose) ((FINKE, 2007), foi semelhante aos resultados encontrados por outros autores (BARROSO et al., 2014, RAMOS-ELORDUY et al., 2002).

O método indireto (óxido de cromo) utilizado para determinar a digestibilidade dos nutrientes e da energia da TM neste trabalho já foi demonstrado como eficaz em vários outros estudos para camarão (BRUNSON; ROMAIRE; REIGH, 1997; GOYTORTÚA-BORES et al., 2006; MOLIDA-POVEDA; CÁRDENAS; JOVER, 2015; YANG et al., 2009). Na avaliação da digestibilidade das dietas, os resultados podem variar de acordo com a fabricação das rações, as condições experimentais, o manejo alimentar e a abordagem metodológica utilizada (LIU et al., 2013). No entanto, para minimizar o impacto das condições experimentais, foi importante remover as sobras de alimentos e os resíduos por sifonagem após cada alimentação. Desta maneira, o período durante o qual estes materiais permaneceram imersos na água

foi reduzido, evitando a ocorrência de perdas por lixiviação dos nutrientes (AKIYAMA et al., 1989). Além disso, para a maioria dos crustáceos, incluindo o camarão *L. vannamei*, o material fecal ao passar pelo trato digestório é totalmente envolto por uma membrana peritrófica e permanece intacto por algumas horas, reduzindo assim a lixiviação de nutrientes das fezes (CÓRDOVA-MURUETA; GARCÍA-CARRENÑO; NAVARRETE-DEL-TORO, 2003).

Informações sobre a digestibilidade da TM em dietas de camarão peneídeo ainda não estão disponíveis na literatura. No presente estudo, o baixo valor encontrado para o CDA da matéria seca da TM (Tabela 2.4) foi semelhante ao observado para ingredientes consumidos pelas espécies *Penaeus setiferus* e *L. vannamei*, que contém quitina na composição, tal como farinha de camarão, farinha de resíduo de camarão e farinha de caranguejo (BRUNSON; ROMAIRE; REIGH, 1997; GOYTORTÚA-BORES et al., 2006; YANG et al., 2009). Finke (2007) sugeriu que a presença de quitina na fibra bruta, no extrato livre de nitrogênio e também ligada a aminoácidos, poderia reduzir o CDA da matéria seca dos insetos. Yang et al. (2009) observaram que a digestibilidade da matéria seca de ingredientes consumidos por camarões tende a diminuir à medida que o teor de quitina destes ingredientes aumenta.

O CDA da energia da TM também apresentou um valor baixo (Tabela 2.4) e este resultado ocorreu provavelmente devido ao elevado teor de lipídeos e a composição dos ácidos graxos da TM. Siemianowska et al. (2013) relataram que o ácido graxo mais prevalente na TM é o ácido oleico (C18:1n9), seguido do ácido palmitoleico (C16:0) e do ácido linoleico (C18: 2n6), que constituíam 50, 23 e 10,97 % do total de lipídeos, respectivamente. Já Sánchez-Muros et al. (2016) observaram níveis ligeiramente menores para C18:1n9 (43,55 %) e C16:0 (16,6 %), enquanto para C18:2n6, o valor detectado foi de 30,35 %. Gasco et al. (2016) também relataram que os principais ácidos graxos da TM foram, em ordem decrescente, o ácido oleico, ácido liolênico e o ácido palmitoleico. Glencross et al. (2002) observaram que para o camarão *Penaeus monodon* os maiores níveis de digestibilidade em ingredientes convencionais ocorreram para ácidos graxos com ligações insaturadas, incluindo o ácido graxo monoinsaturado, ácido oleico (18:1n9). Entretanto, os ácidos graxos saturados de cadeia longa foram os menos digeríveis, sendo que a digestibilidade diminuiu à medida que o comprimento da cadeia dos ácidos graxos aumentou. Estes mesmos autores, concluíram que a quantidade de lípidios e também a composição dos ácidos graxos da dieta influenciam tanto a

digestibilidade dos lipídeos como também pode afetar a digestibilidade da energia.

O CDA da proteína da TM foi ligeiramente menor do que outras fontes de proteína consumidas pelo *L. vannamei*, como a farinha de caranguejo e a farinha de resíduo de camarão (GOYTORTÚA-BORES et al., 2006; YANG et al., 2009). Marono et al. (2015) sugeriram que a presença de quitina em insetos pode contribuir para diminuir a digestibilidade da proteína através da redução do tempo da passagem do alimento durante a digestão ao longo do intestino e também por conferir proteção a proteína contra a degradação enzimática. Além disso, a quitina também pode afetar o CDA dos aminoácidos em função do grau de esclerização das proteínas e do teor de aminoácidos cuticulares ligados à quitina (FINKE, 2007).

O percentual estimado de inclusão da TM para satisfazer as exigências de aminoácidos do *L. vannamei* com base em uma dieta de 300 g kg⁻¹ de proteína digestível (Tabela 2.4) mostrou que a metionina é um aminoácido limitante da TM para o *L. vannamei*. Finke e Oonincx (2014) observaram que os aminoácidos sulfurados são limitantes para a maioria dos animais alimentados com insetos. Por isso, a metionina sintética foi adicionada como suplemento nas dietas de substituição da farinha de peixe por TM para o *L. vannamei* no experimento de crescimento realizado neste trabalho.

Os parâmetros de desempenho zootécnico avaliados neste trabalho apresentaram resultados satisfatórios em relação a substituição da farinha de peixe por TM na dieta do *L. vannamei*. A análise de regressão mostrou que a substituição de até 100 % da farinha de peixe por TM, não apresentou nenhum efeito negativo nos parâmetros avaliados (Tabela 2.5). Um estudo com alevinos de bagre africano, alimentados com dietas isonitrogenadas (40 % de proteína bruta) e isoenergéticas (3500 kcal kg⁻¹), em que a farinha de peixe foi substituída em 0, 20, 40, 60, 80 e 100 % pela TM, sem adição de metionina, mostrou que a substituição em até 40 % não interferiu significativamente no crescimento e na eficiência alimentar do bagre africano (NG et al., 2001). Porém, o bagre africano alimentado exclusivamente com larvas vivas de *T. molitor* apresentou uma ligeira depressão no crescimento (NG et al., 2001). Estes autores sugeriram que a quitina presente na TM pode ter contribuído para a queda das taxas de crescimento desta espécie. Sánchez-Muros et al. (2016) observaram que a substituição de até 500 g kg⁻¹ da farinha de peixe por TM em dietas para tilápia juvenil não afetou a ingestão alimentar, embora esta quantidade de TM tenha reduzido o crescimento. Outro estudo com

robalo europeu juvenil alimentado com dietas com 25 % de inclusão de TM (450 g kg⁻¹ de farinha de peixe + 250 g kg⁻¹ de TM) não produziu efeitos adversos no crescimento, porém quando a inclusão foi de 50 % (200 g kg⁻¹ de farinha de peixe + 500 g kg⁻¹ de TM), o crescimento foi afetado negativamente (GASCO et al. , 2016).

À medida que a substituição de farinha de peixe nas dietas aumentou, observou-se um aumento do teor de gordura corporal do camarão (Tabela 2.5). Um comportamento semelhante foi observado por Ng et al. (2001) para o bagre africano alimentado com dietas à base de TM. González-Félix et al. (2002) observaram que o aumento dos níveis de lipídeos na dieta tem um efeito sobre a composição de lipídeos corporal do camarão, aumentando a deposição lipídica no hepatopâncreas e no tecido muscular. Martínez-Córdova et al. (2013) verificaram que 75 e 100 % de rações comerciais substituídas por insetos vivos (*Trichocorixa* sp.), durante a criação intensiva de *L. vannamei* aumentaram o conteúdo lipídico no corpo de camarão, sugerindo que isso possa ser parcialmente atribuído ao elevado teor lipídico dos insetos quando comparados às rações comerciais.

A análise de custo da dieta utilizando a TM para a produção de camarões não foi realizada neste estudo, mas a princípio, os produtos de insetos são mais caros do que os insumos regularmente utilizados para alimentar os camarões na atualidade. De acordo com a FAO (2013), será necessário aumentar as unidades de produção de insetos, a mecanização, a automação, o processamento e a logística para reduzir os custos de produção comparado a outras fontes de alimento. Entretanto, levando em consideração que a produção de insetos é mais estável e que o aumento da sua produção não implicará na sobreexploração de recursos naturais, nos próximos anos os custos tendem a diminuir.

5. CONCLUSÃO

O desempenho zootécnico do camarão *L. vannamei* não foi afetado a partir da substituição da farinha de peixe pela farinha de larva de *T. molitor* nas dietas suplementadas com metionina utilizadas neste trabalho. A substituição em até 100 % da farinha de peixe pela TM não influenciou o teor de proteína do corpo do camarão, porém aumentou o teor de lipídeos. Estes resultados indicam que a farinha de larva de *T. molitor* é uma fonte promissora de proteica alternativa à farinha de peixe para o camarão *L. vannamei*.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR-MIRANDA, E.D. et al. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 192–195, 2002.
- AKIYAMA, D. M. et al. Apparent digestibility of feedstuffs by the marine shrimp *Penaeus vannamei* Boone. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v. 55, p. 91-98, 1989.
- ANIEBO, A.O.; OWEN, O.J. Effects of Age and Method of Drying on the Proximate Composition of Housefly Larvae (*Musca domestica* Linnaeus) Meal (HFLM). **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 9, p. 485-487, 2010.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists**. 18. ed. Maryland, EUA: 2005.
- BARROSO, F.G. et al. The potential of various insect species for use as food for fish. **Aquaculture**, v. 422–423, p. 193–201, 2014.
- BAUER, W. et al. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 342–343, p. 112–116, 2012.
- BELFORTI, M. et al. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, p. 670-676, 2015.
- BERNARD, J.B.; ALLEN, M.E.. Feeding captive insectivorous animals: nutritional aspects of insects as food. Nutrition advisory group handbook. **Scientific Advisory Group to the American Zoo and Aquarium Association**, p. 1-7, 1997.
- BOVERA, F. et al. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 639-647, 2016.

BOYD, C.E.; GAUTIER, D. Effluent composition and water quality standards. **Global Aquaculture Advocate**, V. 3, P. 61-66, 2000.

BREMER NETO, H. et al. Diminuição do teor óxido crômio (III) usado como marcador externo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 249-255, 2003.

BRUNSON, J.F.; ROMAIRE, R.P.; REIGH, R.C. Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. **Aquaculture Nutrition**, v. 3, p. 9-16, 1997.

BUREAU, D.P.; HUA, K. Letter to the editor of Aquaculture. **Aquaculture**, v. 252, p. 103-105, 2006.

CHO, C.Y.; SLINGER, S.J. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: HALVER, I.J.; TIEWS, K. **Proceedings of the World Symposium on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology**. Heenemann, Berlim, v. 2, p. 239-247, 1979.

CÓRDOVA-MURUETA, J.H.; GARCÍA-CARREÑO, F.L.; NAVARRETE-DEL-TORO, M.A. Digestive enzymes present in crustacean feces as a tool for biochemical, physiological, and ecological studies. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 297, p. 43-56, 2003.

DE MARCO, M. et al. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, p. 211-218, 2015.

FAO - Food Agriculture Organization of the Unit Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2011**. Roma, Itália, 2012. 231p.

FAO - Food Agriculture Organization of the Unit Nations. **Edible Insects Future Prospects for Food and Feed Security**. Roma, Itália, 2013. 201p.

FAO - Food Agriculture Organization of the United Nations. **Fisheries and Aquaculture Department**. Global Production Statistics. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en> Acesso: 08 fevereiro 2017.

FINKE, M.D. Estimate of Chitin in Raw Whole Insects. **Zoo Biology**, v. 26, p. 105-115, 2007.

FINKE, M.D. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. **Zoo Biology**, v. 34, p. 554-564, 2015.

FINKE, M.D.; OONINCX, D. Insects as food for insectivores. In: MORALES-RAMOS, J.A.; ROJAS, M.G.; SHAPIRO-ILAN, D.I. **Mass Production of Beneficial Organisms Invertebrates and Entomopathogens**. 1ª edição. Waltham, Massachusetts: Academic Press, 2014. p. 583-616.

GASCO, L., et al. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. **Animal Feed Science and Technology**, v. 220, p. 34-45, 2016.

GHALY, A.E.; ALKOAİK, F.N. The yellow mealworm as a novel source of protein. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 4, p. 319-331, 2009.

GLENCROSS, B.D. et al. The effects of dietary lipid amount and fatty-acid composition on the digestibility of lipids by the prawn, *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, v. 205, p. 157-169, 2002.

GONZÁLEZ-FÉLIX, M.L. et al. Effect of various dietary lipid levels on quantitative essential fatty acid requirements of juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 33, p. 330-340, 2002.

GOYTORTÚA-BORES, E. et al. Partial replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility. **Aquaculture**, v.256, p. 414-422, 2006.

LIU, X.H. et al. Apparent digestibility of 12 protein-origin ingredients for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **North American Journal of Aquaculture**, v. 75, p. 90-98, 2013.

MAKKAR, H.P.S. et al. State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 1–33, 2014.

MARONO, S. et al. *In vitro* crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, p. 338-343, 2015.

MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L.R. et al. Evaluation of partial and total replacement of formulated feed by live insects, *Trichocorixa* sp. (Heteroptera: Corixidae) on the productive and nutritional response, and postharvest quality of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931). **Aquaculture Nutrition**, v. 19, p. 218–226, 2013.

MOLINA-POVEDA, C., CÁRDENAS, R., JOVER, M. Evaluation of amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) protein sources as partial substitutes for fish meal in *Litopenaeus vannamei* grow-out diets. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 822-835, 2017.

NG, W.K. et al. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. **Aquaculture Research**, v. 32, p. 273-280, 2001.

NRC (National Research Council). **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2011, p. 376.

OONINCX, D.G. A. B. et al. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. **PLoS One**, v. 5, p. 1–7, 2010.

OONINCX, D.G. A. B., DE BOER, I.J.M. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans – a life cycle assessment. **PLoS One**, v. 7, p. 1-5, 2012.

- OUIFARD, A. et al. Growth and apparent digestibility of nutrients, fatty acids and amino acids in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed diets with rice protein concentrate as total and partial replacement of fish meal. **Aquaculture**, v. 342-343, p. 56–61, 2012.
- RAMOS-ELORDUY, J. et al. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 95, p. 214–220, 2002.
- ROFFEIS, M. et al. Pig manure treatment with housefly (*Musca domestica*) rearing – an environmental life cycle assessment. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, p. 195–214, 2015.
- RONCARATI, A. et al. Growth performance of common catchfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, p. 233-240, 2015.
- SAMOCHA, T.M. et al. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 231, p. 197-203, 2004.
- SÁNCHEZ-MUROS, M.J., et al. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 943-955, 2016.
- SHELOMI, M. Why we still don't eat insects: Assessing entomophagy promotion through a diffusion of innovations framework. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, p. 311–318, 2015.
- SIEMIANOWSKA, E. et al. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. **Agricultural Sciences**, v. 4, p. 287-291, 2013.
- STRICKLAND, J.D.H., PARSONS, T.R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. 2. ed. Ottawa: Queen's Printer, 1972.
- VAN BROEKHOVEN, S. et al. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. **Journal of Insect Physiology**, v. 73, p. 1-10, 2015.

VAN HUIS, A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 563–583, 2013.

VAN WYK, P. Nutrition and Feeding of *Litopenaeus vannamei* in Intensive Culture Systems In: VAN WYK, P. et al. **Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems**. Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, Florida, p. 133, 1999.

VELDKAMP, T. et al. 2012. **Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study**. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Livestock Research, 2012. 48p.

WORLD BANK. **Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture**. Agriculture and environmental services discussion paper no. 3. Washington DC: World Bank Group. 2013. 77p.

XIE, F. et al. Dietary lysine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 358-359, p. 116-121, 2012.

YANG, Q. et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 78-86, 2009.

ZHOU, Q. et al. Dietary arginine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 364-365, p. 252-258, 2012.

ZHOU, Q. et al. Dietary threonine requirements of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v.392–395, p. 142-147, 2013.

CAPÍTULO 3 – QUALIDADE PÓS-DESPESCA DO CAMARÃO BRANCO DO PACÍFICO ALIMENTADO COM FARINHA DE LARVA DO INSETO *Tenebrio molitor*

RESUMO

Este trabalho investigou a qualidade do camarão *Litopenaeus vannamei*, alimentado com dietas contendo diferentes níveis de substituição (0, 25, 50, 75 e 100 %) de farinha de peixe pela farinha de larva de *Tenebrio molitor* (TM). Após seis semanas de cultivo em água clara, avaliou-se a composição centesimal, perfil de ácidos graxos, cor e textura dos camarões. O teor de umidade, proteína e cinzas do músculo do camarão não foi influenciado ($p > 0,05$) pelos diferentes tratamentos. No entanto, a substituição da farinha de peixe por TM aumentou linearmente o teor lipídico ($P < 0,05$). O perfil de ácidos graxos das dietas experimentais refletiu diretamente no perfil de ácidos graxos do músculo do camarão. Os ácidos graxos essenciais EPA e DHA diminuíram linearmente com o aumento dos níveis de substituição da farinha de peixe por TM. Cor e firmeza permaneceram inalteradas entre os tratamentos. Os resultados sugerem que a utilização da farinha de larva de *T. molitor* tem um grande potencial como um ingrediente alternativo à farinha de peixe na dieta do camarão *L. vannamei*. Contudo, sugere-se melhorar o perfil de ácidos graxos da larva de *T. molitor*, por meio da inclusão de fontes de ácidos graxos poli-insaturados na dieta do inseto.

Palavras-chave: Camarão branco do Pacífico; farinha de inseto; proteínas; perfil de ácidos graxos; cor; firmeza.

Postharvest quality of the shrimp *Litopenaeus vannamei* fed on a diet containing mealworms (Coleoptera: *Tenebrio molitor*)

ABSTRACT

This study investigated the use of mealworms (MW) as a fishmeal substitute in the diet of the shrimp *Litopenaeus vannamei*, especially the possible influence on postharvest quality. After six weeks of culture under clear water, using five diets containing different levels of fishmeal substituted by MW (0, 25, 50, 75 and 100 %), the proximate composition, fatty acid profile, colour and texture of the shrimps were evaluated. Moisture, protein, and ash content of shrimp muscle were not significantly ($p > 0.05$) influenced when fishmeal was replaced by MW. However, the replacement resulted in a linear increase in lipid content (31.7%). The fatty acid composition of the experimental diets directly mirrored the fatty acid composition of shrimp muscle. The absence of long-chain polyunsaturated fatty acids in MW composition resulted in a linearly decrease in EPA and DHA fatty acids in shrimp muscle with increasing levels of MW in the diet. Colour and firmness were unchanged between the treatments. The results suggested that mealworm is a suitable feed ingredient to replace fishmeal in diets for *L. vannamei*. It is also important to optimize the fatty acid profile of MW, since it reflects in the shrimp's fatty acid profile, possibly by addition of polyunsaturated fatty acid sources in the insect diet.

Keywords: Pacific white shrimp; insect meal; protein; fatty acid profile; colour; firmness.

1. INTRODUÇÃO

O camarão da espécie *Litopenaeus vannamei*, também conhecido como camarão branco do Pacífico, é um dos camarões de criação mais consumidos no mundo (FAO, 2017). Um dos principais fatores responsáveis pela sua aceitabilidade é o valor nutricional e as características sensoriais. Os camarões são uma grande fonte de proteínas, minerais e vitaminas, especialmente em aminoácidos essenciais, cálcio, ferro, zinco e vitamina B12 (PUGA-LOPÉZ et al., 2013). Além disso, os camarões contêm níveis elevados de ácidos graxos poli-insaturados de alto valor biológico, considerados essenciais para a saúde humana, como o ácido eicosapentaenóico (C20:5n3, EPA) e o ácido docosahexaenóico (C22:6n3, DHA) (HARLIOĞLU et al.,

2015). Um outro atributo importante para a aceitabilidade do camarão pelos consumidores é a sua coloração vermelho-alaranjada e a sua textura firme, que são associadas ao frescor e a boa qualidade do produto (NIAMNUY; DEVAHASTIN; SOPONRONNARIT, 2008; PARISENTI et al., 2011b).

O valor nutricional e as características sensoriais dos camarões podem ser afetados pelas condições de criação, como temperatura, salinidade, manejo alimentar e principalmente pelos nutrientes da dieta (BRAUER et al., 2003; RIVAS-VEGA et al., 2001). Em geral, o principal insumo empregado como fonte proteica em dietas para o camarão de criação é a farinha de peixe (SAMOCHA et al., 2004). No entanto, a produção de farinha de peixe permanece inalterada nas últimas décadas e estima-se que a produção mundial de camarão aumente em mais de 10 % nas próximas décadas (FAO, 2012). Assim, a crescente demanda por farinha de peixe está direcionando novas pesquisas com o objetivo de encontrar novos ingredientes proteicos que possam substituí-la (MOLINA-POVEDA et al., 2017).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) tem recomendado insetos como um alimento sustentável e de alto valor proteico (FAO, 2013). Geralmente, dependendo da espécie, do estágio de desenvolvimento (larva, pupa, ninfa ou adulto) e da dieta, os insetos são uma boa fonte de proteínas, lipídeos, minerais, vitaminas e energia (NOWAK et al., 2016). O inseto *Tenebrio molitor*, também conhecido como “bicho da farinha” em sua fase larval, é um besouro criado para utilização em dietas para animais de estimação (FINKE; OONINCX, 2014). Além disso, já foi testado para substituir a farinha de peixe em dietas para o bagre africano (*Clarias gariepinus*) (NG et al., 2001), dourada (*Sparus aurata*) (PICCOLO et al., 2017), truta (*Oncorhynchus mykiss*) (BELFORTI et al., 2015) e robalo (*Dicentrarchus labrax*) (GASCO et al., 2016). O *T. molitor* contém altos teores de proteínas (47 a 60 %, em base seca) e de lípidios (31 a 43 %, em base seca), e um baixo teor de cinzas (< 5 %) (MAKKAR et al., 2014). As larvas frescas contêm cerca de 60 % de água, além de serem uma boa fonte de vitaminas e minerais. A composição de ácidos graxos é rica em ômega 6 (NOWAK et al., 2016; SIEMIANOWSKA et al., 2013).

Em geral, o valor de um ingrediente alternativo para a substituição de farinha de peixe na dieta do camarão *L. vannamei* não pode ser simplesmente definido pela sua capacidade de manter o crescimento, mas também pela capacidade de manter a qualidade nutricional e sensorial do camarão, que está relacionada com a aceitação

do consumidor. Brauer et al. (2003) observaram que a qualidade pós-colheita do camarão pode ser modificada pela composição química do alimento ingerido. No entanto, informações sobre este assunto são escassas, porque a maioria dos experimentos acaba assim que se dá a despesca. Desta forma, este trabalho teve como objetivo investigar a influência das dietas contendo farinha de larva de *T. molitor* em substituição a farinha de peixe na qualidade do músculo do camarão *L. vannamei*, analisando a composição centesimal, perfil de ácidos graxos, cor e firmeza.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dietas e condições experimentais

Camarões da espécie *L. vannamei* (peso médio de $4,42 \pm 0,02$ g) foram alimentados e cultivados conforme descrito no Capítulo 2 desta tese (item 2.4, p. 65). As dietas continham diferentes níveis de substituição de farinha de peixe pela farinha de larva de *T. molitor* (0, 25, 50, 75 e 100%) e foram formuladas para manter a mesma quantidade de proteína digestível (300 g kg^{-1}) entre as dietas (Capítulo 2, Tabela 2.3, p. 67). Contudo, como a farinha de larva de *T. molitor* (TM) possui menor teor proteico (55,82 %) e menor coeficiente de digestibilidade aparente para o camarão *L. vannamei* (76,1 %) do que a farinha de peixe (78 % de proteína e 89,7 % de digestibilidade), a quantidade de TM adicionada foi aproximadamente 50 % maior do que a quantidade de farinha de peixe substituída. Na formulação das dietas buscou-se balancear a quantidade de gordura para que se mantivessem constantes os ácidos graxos da série n-6, por meio da inclusão de óleo de soja, assim como os ácidos graxos da série n-3, especialmente EPA e DHA, por meio da inclusão de óleo de fígado de bacalhau. A metionina foi adicionada de maneira gradual, conforme o aumento da substituição da farinha de peixe, para suprir a exigência deste aminoácido pelo camarão *L. vannamei*, uma vez que este aminoácido mostrou ser limitante na TM (Capítulo 2, item 3.1, p. 69).

Após seis semanas, os camarões foram despescados e transportados em gelo para o Laboratório de Compostos Bioativos (UFSC, Florianópolis, SC, Brasil). No laboratório, os camarões foram lavados e divididos em dois grupos. Um grupo (10 camarões de cada tanque) foi descascado e armazenado a -20 ± 2 °C até a determinação da composição do músculo (umidade, proteína, lipídeo, cinzas e perfil de ácidos graxos). Para o perfil de ácidos graxos os camarões foram

liofilizados. Outro grupo (seis camarões de cada tanque) foi mantido em gelo por no máximo 24 h para as análises de cor e textura instrumental.

2.2 Análises químicas

A composição química das dietas e do músculo do camarão foi determinada de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2005). A umidade foi determinada pelo método gravimétrico a 105 °C até peso constante (método 950.01); as cinzas pelo método de incineração a 550 °C por 5 h (método 942.05); o conteúdo de proteína total pelo método de Kjeldahl, utilizando um fator de conversão de 6,25 (método 945.01); a fração extrato etéreo pelo método de Soxhlet (método 920.39C); e a determinação de fibra bruta pelo método 962.09. O extrato livre de nitrogênio (ELN) foi determinado pela soma dos números correspondentes às percentagens das cinco determinações precedentes, diminuídas de 100 (AOAC, 2005).

2.3 Perfil de ácidos graxos

Os lipídeos totais foram extraídos e quantificados pelo método de Folch et al. (1957). Os lipídeos extraídos foram submetidos ao método de metilação conforme descrito por O'Fallon et al. (2007) e separados por um cromatógrafo gasoso GC-2014 (Shimadzu, Kioto, Japão) equipado com coluna capilar RTX 2330 (105 m x 0,25 mm x 0,20 µm; Restek, Bellefont, EUA). O gás de arraste foi nitrogênio e os gases de *make up* foram o nitrogênio e hidrogênio. Os parâmetros de operação do cromatógrafo foram: fluxo da coluna de 1 mL min⁻¹, temperatura do injetor 250 °C com *split ratio* 1:40; detector de ionização de chama (FID) a 260 °C e com a seguinte rampa de aquecimento da coluna: inicialmente a 130 °C por 5 min, seguido de 130 a 180 °C a 3 °C min⁻¹, 180 °C por 10 min, 180 a 240 °C a 3 °C min⁻¹ e 240 °C por 13 min; volume injetado: 1,0 µL. Para a identificação dos tempos de retenção, os ácidos graxos foram comparados com dois padrões externos (PUFA Mix 37 e PUFA No. 3 - Menhaden oil, Supelco, Bellefont, EUA) e para a quantificação foi adicionado o padrão interno ácido tricosanóico - C23 (Sigma, Saint Louis, EUA). As áreas de pico foram corrigidas para os fatores de respostas adequados para o detector FID (VISENTAINER; FRANCO, 2006). A análise das dietas e do músculo do camarão liofilizado foi realizada em duplicata. Para cada amostra de camarão os resultados foram expressos como média de três medidas.

2.4 Análise de cor

A análise de cor das amostras de camarão inteiro (fresco e cozido em 100 mL de água fervente por 1 min) foi realizada utilizando um colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-400, Konica Minolta, Osaka, Japão) ajustado para operar com iluminante D65 e ângulo de observação de 10° e previamente calibrado. As medições foram realizadas em duas partes do corpo do camarão, próximo da cabeça e na parte mediana. A escala CIELab foi empregada para calcular os valores dos parâmetros L*, a* e b*, onde o parâmetro L* representa a luminosidade que varia de preto (0) para branco (100), a* representa a variação da coloração da amostra de vermelho (+) para verde (-) e o b* representa a variação da coloração de amarelo (+) para azul (-). A diferença total de cor (ΔE) entre as amostras foi calculada segundo a fórmula descrita por Cruz-Romero, Kelly e Kerry (2007):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Onde: ΔL^* , Δa^* e Δb^* são as diferenças entre os parâmetros L*, a* e b* da amostra de camarão alimentado com a dieta de 0 % de substituição de farinha de peixe por TM e cada uma das outras amostras de camarão alimentado com os diferentes níveis de substituição (25, 50, 75 e 100 %). A diferença total de cor (ΔE) entre as amostras somente é perceptível aos olhos humanos se ΔE for maior que 3 (MARTÍNEZ-CERVERA et al., 2011). Para cada amostra de camarão os resultados foram expressos como média de seis medidas.

2.5 Análise instrumental de textura

A determinação do parâmetro firmeza foi realizada por meio da compressão do 2° segmento do músculo do camarão descascado (Figura 3.1) fresco e cozido (em 100 mL de água fervente por 1 min) utilizando um texturômetro modelo TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) equipado com célula de carga de 25 kg, seguindo a metodologia descrita por Niamnuy, Devahastin e Soponronnarit (2008). A firmeza foi relatada em termos de valores de kPa, que resultaram da força (N) máxima de compressão dividida pela área de contato entre o camarão e a célula de carga. Para cada amostra de camarão os resultados foram expressos como média de três medidas.

Figura 3.1: Posição do segmento do músculo do camarão *Litopenaeus vannamei*.



Fonte: Autora.

2.6 Análise estatística

Os dados foram tratados utilizando o *software* STATISTICA 12.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA). Foram realizados testes para verificação da normalidade e homocedasticidade dos dados (teste de Levene). Os dados da composição centesimal, perfil de ácidos graxos, cor e textura dos camarões foram submetidos à análise de regressão com nível de significância de 5 %.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises químicas

A composição centesimal do músculo do *L. vannamei* está ilustrada na Tabela 3.1. Os teores de umidade, proteína e cinzas não foram influenciados pela substituição da farinha de peixe por TM ($p > 0,05$), enquanto que o teor lipídico aumentou linearmente com a substituição ($p < 0,05$). Os valores de umidade e proteína estão de acordo com a literatura, que relata valores entre 70 e 79 % para umidade e para proteína em torno de 20 % (MARTIN et al., 2000; PUGA-LÓPEZ et al., 2013). Martínez-Córdova et al. (2013) avaliaram a qualidade pós-despesca do *L. vannamei*, que foi alimentado com insetos vivos (*Trichocorixa* sp.) como substituto de dietas formuladas e obtiveram resultados de composição centesimal do camarão semelhantes

ao presente trabalho, porém com um menor teor proteico (14,56 a 15,88 g 100 g⁻¹) e um maior teor lipídico (1,36 a 1,53 g 100 g⁻¹). Além disso, esses autores observaram que os camarões alimentados com uma quantidade maior de insetos vivos do que de dieta formulada, resultou em uma maior deposição lipídica no músculo do camarão e este efeito os autores atribuíram ao alto conteúdo lipídico dos insetos. González-Félix et al. (2002a) relataram que o aumento do nível lipídico na dieta do camarão afeta a composição de lipídeos total, aumentando a deposição lipídica no hepatopâncreas e no tecido muscular. A TM não é apenas uma fonte de proteína, mas também contém uma grande quantidade de lipídeos (Capítulo 2, Tabela 2.2, p. 64), consequentemente, o conteúdo lipídico das dietas experimentais aumentou com a substituição de 75 e 100 % da farinha de peixe. Assim, o aumento do teor lipídico das dietas influenciou diretamente no aumento da deposição lipídica no músculo camarão. Estudos com a utilização da TM para a substituição da farinha de peixe em dietas para o bagre africano e a tilápia observaram o mesmo padrão na composição lipídica corporal dessas duas espécies (NG et al., 2001; SÁNCHEZ-MUROS et al., 2016). Apesar disso, o conteúdo lipídico no músculo do camarão ainda é baixo. Bragagnolo e Rodriguez-Amaya (2001) relataram que o conteúdo total de lipídeos em camarões extraídos da natureza, dependendo da estação do ano, varia de 0,9 a 1,1 g 100 g⁻¹,

Tabela 3.1: Composição centesimal (g 100g⁻¹ base úmida) do músculo do camarão *Litopenaeus vannamei* alimentado com dietas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por farinha de larva de *Tenebrio molitor*.

Análise	Substituição da farinha de peixe (%)					Valor p ¹ regressão
	0	25	50	75	100	
Umidade	75,82 ± 0,58	76,25 ± 0,26	76,78 ± 0,64	75,59 ± 0,69	76,16 ± 0,40	0,50
Proteína	20,26 ± 0,14	20,33 ± 0,04	20,10 ± 0,42	19,44 ± 0,72	20,30 ± 0,77	0,62
Lipídeo	0,41 ± 0,02	0,47 ± 0,04	0,48 ± 0,04	0,52 ± 0,02	0,54 ± 0,01	0,00008
Cinzas	1,48 ± 0,12	1,18 ± 0,17	1,22 ± 0,02	1,42 ± 0,02	1,37 ± 0,04	0,91

¹ Lipídeo, $y = 0,0012x + 0,4257$ ($R^2 = 0,71$)

3.2 Perfil de ácidos graxos

Os ácidos graxos representam a maior parte do peso molecular dos lipídeos e são classificados principalmente pela presença ou ausência de duplas ligações, como saturados (SFA, sem duplas ligações), monoinsaturados (MUFA, com uma dupla ligação) e ácidos graxos poli-insaturados (PUFA, com duas ou mais duplas ligações) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008). Além disso, de acordo com a configuração das duplas ligações podem ser classificados como *cis* ou *trans* e dependendo da posição da primeira dupla ligação a partir do grupamento metila final os PUFAs podem ser classificados como n-3 ou n-6 (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008). Os PUFAs desempenham um papel vital na manutenção da saúde dos seres humanos, minimizando o risco de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, artrite, diabetes e certos tipos de câncer (ORSAVOVA et al., 2015). É nesta classe que se encontram os ácidos graxos essenciais linoleico (LA, C18:2n6) e linolênico (LnA, C18:3n3) (WIJENDRAN; HAYES, 2004), que necessitam ser adquiridos através da dieta, uma vez que o corpo humano é incapaz de sintetizá-los (TIMILSENA et al., 2017). A partir da ingestão dos ácidos linoleico e linolênico, estes são utilizados simultaneamente como substrato do sistema enzimático da ácido graxo-sintetase, o LA para a síntese do ácido araquidônico (ARA, 20:4n6) e o LnA para a síntese do ácido eicosapentaenóico (EPA, 20:5n3), que em seguida, por meio do mesmo sistema enzimático, é transformado no ácido docosahexaenóico (DHA, 22:6n3) (WIJENDRAN; HAYES, 2004). Em relação aos camarões, os PUFAs também desempenham importantes funções nos processos fisiológicos e bioquímicos, em particular na síntese celular, no desenvolvimento neural, na função metabólica e controle endócrino, na regulação iônica, na função imune e na reprodução (GLENCROSS, 2009) e também precisam ser adquiridos por meio da dieta (GONZÁLEZ-FÉLIX et al., 2002b).

Na TM os ácidos graxos mais abundantes encontrados foram o ácido oleico (C18:1n9), seguido do ácido palmítico (C16:0) e do ácido linoleico (C18:2n6), que constituíram 47,17, 17,78 e 15,80 % do total de lipídeos, respectivamente (Tabela 3.2). O ácido linolênico foi detectado em pequena quantidade (2,7 mg g⁻¹ de lipídeos), enquanto os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, como o EPA e o DHA não foram detectados. Siemianowska et al. (2013) investigando os ácidos graxos da larva do *T. molitor* observaram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, porém estes autores relataram a presença do

EPA. Van Broekhoven et al. (2015) observaram que níveis elevados de ácidos graxos poli-insaturados nas dietas geralmente levam a uma maior deposição destes mesmos ácidos graxos no tecido dos insetos e uma menor deposição de ácidos graxos monoinsaturados. Barroso et al. (2014) sugerem que as variações na composição dos ácidos graxos da TM podem estar relacionadas ao tipo de dieta consumida durante a fase de desenvolvimento do inseto, além do método de processamento.

O perfil de ácidos graxos das dietas experimentais mostrou ser um reflexo do perfil de ácidos graxos dos insumos utilizados na formulação (Tabela 3.2). As dietas com as maiores percentagens de TM resultaram em um alto teor de ácidos graxos monoinsaturados, principalmente do ácido oleico (C18:1n9), enquanto que as dietas com maior quantidade de farinha de peixe e óleo de fígado de bacalhau apresentaram alto teor de ácidos graxos de cadeia longa, incluindo o EPA e o DHA.

O perfil de ácidos graxos do músculo do camarão *L. vannamei* está ilustrado na Tabela 3.3. Os principais ácidos graxos observados no músculo dos camarões alimentados com até 25 % de substituição de farinha de peixe por TM foram, em ordem decrescente, linoleico (LA, C18:2n6), palmítico (PAL, C16:0), oleico (OLE, C18:1n9), esteárico (C18:0), eicosapentaenóico (EPA, C20:5n3) e docosahexaenóico (DHA, C22:6n3). Contudo, a partir de 50 % de substituição da farinha de peixe por TM, esta ordem alterou e o ácido oleico tornou-se o principal ácido graxo. A composição dos ácidos graxos das dietas experimentais refletiu em grande parte na composição dos ácidos graxos do músculo do camarão. Diversas pesquisas demonstraram este mesmo comportamento, no qual a composição dos ácidos graxos da dieta influencia no perfil de ácidos graxos do músculo do camarão (GONZÁLEZ-FÉLIX et al., 2002b; OURAJI et al., 2009; SÁNCHEZ-MUROS et al., 2016). Como reflexo das dietas fornecidas aos camarões, a quantidade de ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) aumentou linearmente no músculo com os níveis crescentes de substituição de farinha de peixe por TM, particularmente devido ao ácido oléico proveniente da TM. Por outro lado, a quantidade de ácidos graxos saturados (SFA) e poli-insaturados (PUFAs) n6 e n3 não seguiu a mesma tendência, diminuiu linearmente com o aumento da TM nas dietas (Figura 3.2). Um comportamento semelhante foi observado por Sánchez-Muros et al. (2016) em tilápias alimentadas com dietas contendo TM, em que o aumento da quantidade de TM na dieta provocou uma diminuição significativa dos PUFAs n-3 no músculo dos peixes, pela ausência destes ácidos graxos na TM.

Tabela 3.2: Perfil de ácidos graxos (mg g^{-1} de lipídeos) da farinha de larva de *Tenebrio molitor* (TM) e das dietas experimentais contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por TM.

Ácidos graxos	TM	Substituição de farinha de peixe (%)				
		0	25	50	75	100
<i>Ácidos graxos saturados (SFA)</i>						
8:0	2,02	nd	nd	0,82	0,93	1,14
10:0	15,83	9,77	9,90	12,89	8,40	8,29
12:0	3,42	nd	nd	nd	nd	nd
14:0	35,67	3,77	0,79	1,67	1,98	2,10
16:0 (PAL)	162,10	85,29	94,34	112,08	125,24	118,49
18:0	28,27	26,76	9,47	17,89	21,65	23,29
24:0	3,73	1,68	1,86	1,81	2,47	nd
<i>Ácidos graxos monoinsaturados (MUFA)</i>						
14:1n5	2,46	0,9	nd	nd	0,61	1,02
16:1n7	16,76	5,73	7,54	11,11	11,72	13,84
18:1n7	2,36	11,42	9,19	7,13	5,10	4,64
18:1n9 (OLE)	430,07	154,67	194,05	248,88	290,53	272,31
20:1n11	1,22	4,63	4,35	3,71	2,89	4,66
24:1n9	2,32	nd	nd	nd	0,49	0,65
<i>Ácidos graxos poli-insaturados (PUFA)</i>						
16:2n4	1,72	nd	nd	nd	0,74	0,80
18:2n6 (LA)	144,00	273,27	227,57	183,80	148,37	118,69
20:2n6	6,09	0,97	nd	nd	nd	nd
16:3n4	1,67	nd	nd	nd	0,98	0,92
18:3n3 (LnA)	2,77	29,29	23,33	15,43	9,47	6,38
18:3n6	1,16	2,10	1,70	1,49	1,14	0,98
20:3n3	nd	1,60	1,54	1,51	1,21	2,60
20:3n6	nd	2,44	1,89	1,21	0,74	nd
20:4n6 (ARA)	nd	1,57	1,40	1,20	0,62	0,74
20:5n3 (EPA)	nd	5,03	4,92	3,71	2,19	3,27
22:5n3	nd	2,01	1,80	1,36	0,79	0,72
22:6n3 (DHA)	nd	7,87	7,25	5,83	2,94	3,18
Total	861,28	635,21	602,89	633,53	641,20	588,71
$\sum SFA^2$	251,04	129,44	116,36	147,16	160,67	153,31
$\sum MUFA^3$	455,19	177,35	215,13	270,83	311,34	297,12
$\sum PUFA^4$	157,41	328,42	271,40	215,54	169,19	138,28
$\sum PUFA\ n6$	151,25	280,35	232,56	187,7	150,87	120,41
$\sum PUFA\ n3$	2,77	46,66	38,84	27,84	16,6	16,15
<i>n-3/n-6</i>	0,02	0,17	0,17	0,15	0,11	0,13

PAL, Ácido palmítico; OLE, Ácido oleico; LA, Ácido linoleico; LnA, Ácido linolênico; ARA, Ácido araquidônico; EPA, Ácido eicosapentaenóico; DHA, Ácido docosahexaenóico; nd, não detectado (<0,05%), considerado como “zero”.

A concentração do ácido araquidônico (ARA) no músculo dos camarões de cada tratamento foi superior a do ARA presente nas dietas correspondentes, o que demonstra que os camarões foram capazes de utilizar o LA (C18:2n6) para sintetizar o ARA (C20:4n6) por meio do alongamento (adição de dois carbonos) e dessaturação (adição de duas duplas ligações) do sistema enzimático ácido graxo-sintetase. As concentrações de EPA e DHA no músculo do camarão também foram superiores às concentrações da dieta, o que sugere que os camarões podem ter realizado uma retenção seletiva desses PUFAs. Além disso, a quantidade de LnA detectada no músculo do camarão foi menor do que a quantidade deste ácido graxo presente na dieta de cada tratamento, o que sugere que o LnA (C18:3n3) foi utilizado como substrato para a síntese do EPA (C20:5n3), que em seguida foi transformado em DHA (C22:6n3). Este efeito foi observado em outros estudos (GONZÁLEZ-FÉLIZ et al., 2002b; OURAJI et al., 2009), onde os ácidos graxos ARA, EPA e DHA, presentes em pequenas quantidades na dieta, foram detectados em quantidades superiores no tecido do *L. vannamei* juvenil, sugerindo que estes ácidos graxos foram ativamente sintetizados e/ou retidos pelo camarão.

A relação n-3/n-6 nos camarões alimentados com as dietas experimentais, variou de 0,50 a 0,67. Ouraji et al. (2009) observaram valores entre 0,5 a 1,5 para a relação n3/n6 no camarão branco da Índia (*Fenneropenaeus indicus*) alimentado com dietas contendo diferentes fontes lipídicas. No músculo da tilápia, Sánchez-Muros et al. (2016) relataram o valor de 0,74 para a relação n-3/n-6 quando o peixe foi alimentado com uma dieta em que 50 % da farinha de peixe foi substituída por TM. Em uma perspectiva nutricional humana, alimentos com alta relação de n-3/n-6 são considerados como uma indicação de alto valor nutricional e a concentração ótima para ingestão humana é uma relação de n-3/n-6 com valores entre 0,25 e 1,0 (SIMOPOULOS, 2002). Em 2008, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendou que um adulto saudável deve consumir de 20 a 35 % do valor energético total diário em fontes de gordura. Sendo que dentro deste valor, até 10 % seja oriundo de ácidos graxos saturados e de 6 a 11 % de poli-insaturados (sendo de 0,5 a 2 % de ácidos graxos da série n-3 e de 2,5 a 9 % de ácidos graxos da série n-6).

Tabela 3.3: Perfil de ácidos graxos (mg g^{-1} de lipídeo, base seca) do músculo do camarão *Litopenaeus vannamei* alimentado com dietas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por farinha de larva de *Tenebrio molitor*.

Ácidos graxos	Substituição de farinha de peixe (%)					Valor p ¹ Regressão
	0	25	50	75	100	
<i>Ácidos graxos saturados (SFA)</i>						
10:0	50,89 ±6,75	46,40 ±3,99	32,52 ±2,46	35,98 ±1,66	38,03 ±9,52	< 0,05
14:0	0,61±0,16	1,05 ±0,16	1,24 ±0,08	1,33 ±0,22	1,52 ±0,20	< 0,05
16:0 (PAL)	136,78 ±6,29	121,08 ±3,52	117,03 ±5,36	104,19 ±1,58	108,65 ±2,99	< 0,05
18:0	78,04 ±4,27	67,40 ±2,32	72,81±3,32	51,24 ±3,16	51,88 ±2,82	< 0,05
<i>Ácidos graxos monoinsaturados (MUFA)</i>						
16:1n7	1,17 ±0,11	1,33 ±0,03	1,16 ±0,46	1,02 ±0,29	1,23 ±0,22	0,69
18:1n7	15,63 ±1,25	12,54 ±0,54	10,57 ±2,32	9,20 ±0,32	10,42 ±0,91	< 0,05
18:1n9 (OLE)	108,29 ±7,66	115,61±3,32	164,04 ±1,26	148,74 ±4,61	167,28 ±8,42	< 0,05
20:1n11	3,86 ±0,22	3,72 ±0,30	3,78 ±0,54	3,86 ±0,11	5,00 ±0,17	< 0,05
<i>Ácidos graxos poli-insaturados (PUFA)</i>						
18:2n6 (LOA)	175,76 ±10,62	143,78 ±6,71	162,78 ±3,31	119,27 ±7,74	117,36 ±5,57	< 0,05
20:2n6	17,79 ±0,51	13,46 ±1,10	14,09 ±0,93	8,93 ±0,98	8,39 ±0,16	< 0,05
18:3n3 (LnA)	10,56 ±0,61	8,79 ±0,27	8,52 ±0,97	5,80 ±0,41	4,74 ±0,25	< 0,05
20:3n3	2,58 ±0,29	2,14 ±0,47	1,88 ±0,29	1,09 ±0,28	1,42 ±0,05	< 0,05
20:4n6 (ARA)	19,98 ±0,83	18,34 ±1,55	14,93 ±0,72	11,94 ±0,80	11,80 ±1,52	< 0,05
20:5n3 (EPA)	62,10 ±1,96	52,08 ±3,01	38,97 ±0,89	31,45 ±1,06	36,15 ±2,04	< 0,05
22:5n3	6,48 ±0,29	5,41±0,30	4,88 ±0,42	3,11 ±0,22	2,93 ±0,24	< 0,05
22:6n3 (DHA)	61,45 ±1,71	51,57 ±4,14	41,93 ±0,83	32,01 ±0,48	36,14 ±1,60	< 0,05

Outros ²	80,12 ±0,69	64,50 ±0,75	55,60 ±0,74	50,54 ±0,67	43,89 ±3,90	-
Total	832,09 ±27,65	729,20 ±20,93	746,73 ±4,00	619,70±13,52	646,84 ±6,22	< 0,05
∑SFA	274,73 ±4,37	243,06 ±7,49	229,23 ±3,60	199,07 ± 4,75	211,02±10,76	< 0,05
∑MUFA	146,97 ±8,73	148,06 ±3,91	191,13 ±2,26	169,31 ±3,82	193,16 ±8,50	< 0,05
∑PUFA	410,38 ±14,76	338,08 ±13,45	326,36 ±2,65	251,33 ±9,28	242,66 ±7,00	< 0,05
∑PUFA n6	217,70 ±12,20	179,16 ±6,56	193,17 ± 3,04	142,89 ±8,00	140,50 ±4,79	< 0,05
∑PUFA n3	143,43 ±4,82	119,98 ±6,36	96,19 ±1,20	74,06 ±1,91	82,16 ±3,66	< 0,05
n-3/n-6	0,66	0,67	0,50	0,52	0,58	< 0,05

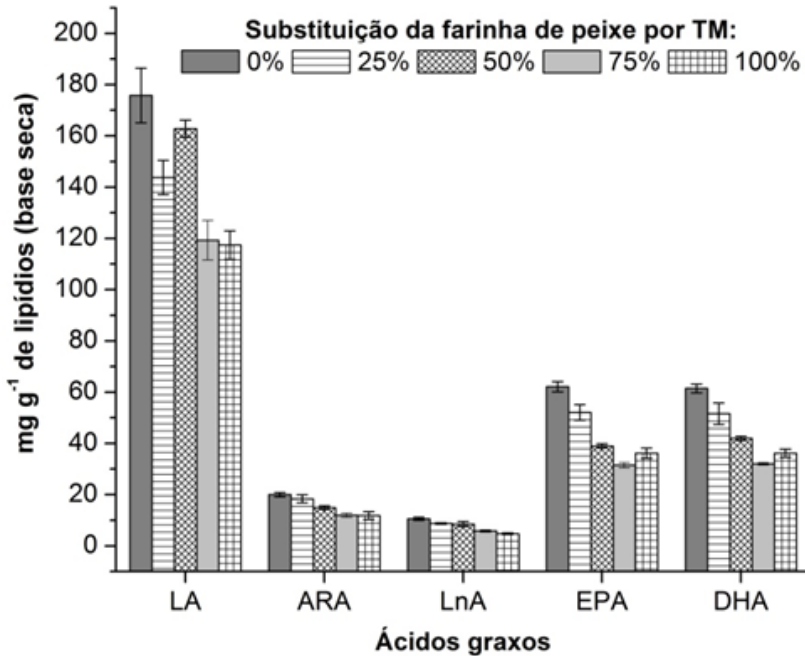
Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=3).

PAL = Ácido palmítico; OLE = Ácido oléico; LA = Ácido linoléico; LnA = Ácido linolênico; ARA = Ácido araquidônico; EPA = Ácido eicosapentaenóico; DHA = Ácido docosahexaenóico.

¹ Equações: C10:0, $y = 0,0035x^2 - 0,4923x + 52,342$ ($R^2 = 0,58$); C14:0, $y = 0,0084x + 0,732$ ($R^2 = 0,77$); C16:0, $y = - 0,2926x + 132,18$ ($R^2 = 0,76$); C18:0, $y = - 0,2739x + 77,968$ ($R^2 = 0,74$); C18:1n7, $y = - 0,055x + 14,422$ ($R^2 = 0,62$); C18:1n9, $y = 0,6044x + 110,57$ ($R^2 = 0,74$); C20:1n11, $y = 0,0003x^2 - 0,02x + 3,9345$ ($R^2 = 0,72$); C18:2n6, $y = - 0,5652x + 172,05$ ($R^2 = 0,70$); C20:2n6, $y = - 0,934x + 17,201$ ($R^2 = 0,86$); C20:4n6, $y = - 0,0911x + 19,955$ ($R^2 = 0,88$); C18:3n3, $y = - 0,0585x + 10,61$ ($R^2 = 0,91$); C20:3n3, $y = -0,0135x + 2,4951$ ($R^2 = 0,67$); C20:5n3, $y = - 0,2901x + 58,652$ ($R^2 = 0,81$); C22:5n3, $y = - 0,0376x + 6,4418$ ($R^2 = 0,92$); C22:6n3, $y = - 0,2807x + 58,656$ ($R^2 = 0,84$); Total FA, $y = - 1,9202x + 810,93$ ($R^2 = 0,77$); ∑SFA, $y = - 0,6858x + 265,71$ ($R^2 = 0,81$); ∑MUFA, $y = 0,4545x + 147$ ($R^2 = 0,61$); ∑PUFA, $y = - 1,6888x + 398,2$ ($R^2 = 0,92$); ∑PUFA n6, $y = - 0,7626x + 212,81$ ($R^2 = 0,79$); ∑PUFA n3, $y = - 0,6739x + 136,86$ ($R^2 = 0,86$); n-3/n-6, $y = 0,00003x^2 - 0,0047x + 0,6893$ ($R^2 = 0,61$).

² Ácidos graxos detectados e totalizados, mas não exibidos: C15:0, C17:0, C22:0, C24:0, C14:1n5, C15:1n5, C17:1n7, C24:1n9, C16:2n4, C22:2n6, C18:3n6, C20:3n6, C22:3n3, C22:4n6.

Figura 3.2: Ácidos graxos poli-insaturados detectados no músculo do camarão *Litopenaeus vannamei* alimentados com dietas contendo diferentes níveis de substituição da farinha de peixe por farinha de larva de *Tenebrio molitor* (TM) (LA, Ácido linoleico; ARA, Ácido araquidônico; LnA, Ácido linolênico; EPA, Ácido eicosapentaenóico; DHA, Ácido docosahexaenóico).



3.3 Análise de cor

Um atributo importante para a aceitabilidade do camarão pelos consumidores é a sua pigmentação, que está associada ao frescor e à qualidade do produto. O pigmento mais efetivo na cor do camarão é a astaxantina (3,3'-dihidroxi- β , β -caroteno-4,4'-diona), tanto na forma livre como na forma esterificada (mono e diéster), presente nos tecidos externos do camarão, particularmente no exoesqueleto e na camada epidérmica entre o músculo abdominal e o exoesqueleto (BOONYARATPALIN et al., 2001; TUME et al., 2009). No camarão *in natura*, a astaxantina está ligada a um complexo caroteno-proteína, de coloração verde, azul ou púrpura em um comprimento de onda de 580 nm. Após o cozimento ocorre a dissociação do complexo e a astaxantina livre apresenta uma coloração amarela, laranja e/ou vermelha (470-472

nm) (CIANCI et al., 2002). A alteração no comprimento de onda, conhecida como efeito batocrômico, é biologicamente importante porque é responsável pelo mecanismo de camuflagem utilizado como uma estratégia de defesa do camarão contra predadores (CIANCI et al., 2002).

A Tabela 3.4 ilustra os valores dos parâmetros de cor para as amostras de camarão *in natura* e cozido. Os camarões *in natura* de todos os tratamentos apresentaram baixos valores de luminosidade (L^*) e valores negativos para os parâmetros a^* e b^* , indicando uma tendência para as colorações verde e azul, respectivamente. A coloração verde-azulada observada nos camarões deste trabalho é resultante da capacidade dos camarões em se submeter a camuflagem, em razão da coloração azul escura dos tanques nos quais eles foram alojados. Parisenti et al. (2011a) avaliaram o efeito da cor do tanque de cultivo sobre a coloração do camarão *L. vannamei* e observaram que a cor dos camarões *in natura* cultivados em tanques escuros foi mais esverdeada (a^* -2,42) e mais azulada (b^* -2,85) que os cultivados em tanques brancos (a^* -0,77, b^* 3,88).

Por outro lado, os camarões cozidos dos diferentes tratamentos apresentaram alta luminosidade (L^*) e valores positivos para os parâmetros a^* e b^* , indicando uma tendência para as colorações vermelha e amarela, respectivamente. O cozimento afeta a cor do camarão por meio de mudanças químicas do pigmento (BOONYARATPALIN et al., 2001; CIANCI et al., 2002; TUME et al., 2009) e mudanças físicas da carne como a agregação proteica, aumentando a opacidade, conseqüentemente fazendo com que o valor de luminosidade (L^*) aumente (LARSEN; QUEK; EYRES, 2011). Os valores de a^* e b^* para os camarões cozidos observados neste trabalho (Tabela 3.5) foram semelhantes aos valores relatados por Parisenti et al. (2011a) nos camarões cultivados em tanque escuro (a^* 21,68, b^* 33,22). Em outro estudo, Parisenti et al. (2011b) suplementaram a dieta do *L. vannamei* com fontes de carotenóides e os resultados para o parâmetro a^* foram semelhantes aos deste trabalho, porém os valores do parâmetro b^* foram menores. Esta diferença pode ser resultante do teor de carotenóides no corpo do camarão (TUME et al., 2009) ou do teor de lipídeos ofertado na dieta (LARSEN; QUEK; EYRES, 2011). A cor avermelhada do salmão (*Oncorhynchus tshawytscha*) foi melhorada com um elevado teor de lipídeos da dieta, porque há um maior índice de refração entre o músculo e o ar do que entre o músculo e o óleo, isso significa que ocorre uma menor dispersão da luz e a cor avermelhada torna-se mais forte (LARSEN; QUEK; EYRES, 2011).

A diferença total de cor (ΔE) dos camarões *in natura* e cozido foi inferior a 3, isto é, as amostras de camarão alimentado com a dieta de 0 % de substituição em relação as amostras contendo 25, 50, 75 e 100 % de substituição de farinha de peixe por TM, apresentaram uma ΔE imperceptível ao olho humano (MARTÍNEZ-CERVERA et al., 2011).

3.4 Análise instrumental de textura

As proteínas do músculo do camarão podem ser divididas em três principais grupos: miofibrilares (basicamente miosina e actina), sarcoplasmáticas e as do estroma (colágeno e elastina) (NIAMNUY; DEVAHASTIN; SOPONRONNARIT, 2008). A textura do músculo está relacionada principalmente com a integridade das proteínas miofibrilares e outras constituintes do tecido conjuntivo, que podem ser afetadas por fatores *pós-mortem*, como glicólise, rigor mortis levando à separação de segmentos musculares, temperatura de armazenamento e cozimento, pH e presença de NaCl (DUNAJSKI, 1979). Além disso, Rivas-Vega et al. (2001) verificaram alterações na textura do camarão azul *L. styrostris* devido a baixa concentração proteica ofertada na dieta. Martínez-Córdova et al. (2013) observaram baixa firmeza no músculo do *L. vannamei* alimentado com uma elevada quantidade de insetos *Trichocorixa* sp. e correlacionaram este resultado com o acúmulo de lipídeos no músculo do camarão.

No presente trabalho, a firmeza do músculo dos camarões *in natura* e cozido não foi afetada pela substituição da farinha de peixe por TM na dieta (Tabela 3.4). Contudo, foi observado um aumento da firmeza do músculo após o cozimento. Este comportamento foi observado por Niamnuy, Devahastin e Saponronnarit (2008) e foi relacionado com as mudanças na estrutura da carne ocorridas após a fervura, tais como a destruição das membranas celulares, o encolhimento das fibras musculares, a agregação das proteínas sarcoplasmáticas e o encolhimento e solubilização das proteínas do estroma.

Tabela 3.4: Parâmetros de cor e firmeza das amostras de músculo do camarão *Litopenaeus vannamei* alimentado com dietas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe por farinha de larva de *Tenebrio molitor*.

Camarão	Substituição da farinha de peixe (%)					Valor p ¹ Regressão	
	0	25	50	75	100		
<i>Parâmetros de cor</i>							
<i>In natura</i>	L*	38,68 ± 1,68	38,84 ± 1,35	39,33 ± 1,74	38,62 ± 1,41	38,56 ± 1,57	0,70
	a*	-4,05 ± 0,57	-3,75 ± 0,36	-3,97 ± 0,60	-3,98 ± 0,40	-4,39 ± 0,55	<0,05
	b*	-2,42 ± 2,90	-2,36 ± 1,30	-3,31 ± 1,57	-1,06 ± 1,37	-1,37 ± 2,18	<0,05
	ΔE	0	0,69	0,50	1,32	0,49	
Cozido	L*	70,15 ± 1,71	71,17 ± 1,00	71,22 ± 1,56	70,80 ± 1,74	71,16 ± 1,79	0,17
	a*	20,31 ± 2,36	19,76 ± 1,48	19,20 ± 1,40	19,66 ± 2,22	19,47 ± 1,90	0,21
	b*	34,61 ± 2,75	33,71 ± 1,90	35,48 ± 2,61	34,93 ± 3,06	36,07 ± 1,69	<0,05
	ΔE	0	0,74	0,78	0,31	2,53	
<i>Firmeza (kPa)</i>							
<i>In natura</i>		222,4 ± 46,0	241,6 ± 25,1	221,3 ± 28,6	225,5 ± 30,4	239,7 ± 46,6	0,60
Cozido		555,8 ± 53,4	536,0 ± 75,6	505,9 ± 40,7	528,0 ± 60,5	503,0 ± 30,4	0,10

¹ Equações: camarão *in natura*, a*, $y = -0,0001x^2 + 0,0105x - 4,0265$ ($R^2 = 0,13$) e b*, $y = 0,0003x^2 - 0,0144x - 2,437$ ($R^2 = 0,07$); camarão cozido, b*, $y = 0,0002x^2 - 0,003x + 34,392$ ($R^2 = 0,05$).

4. CONCLUSÃO

A qualidade pós-despesca do camarão *L. vannamei* não foi afetada com as dietas contendo diferentes níveis de substituição de farinha de peixe pela farinha de larva de *T. molitor*, ainda que, com o uso das dietas acima de 25 % de substituição, tenha ocorrido um aumento no teor lipídico e uma diminuição da quantidade de ácidos graxos poli-insaturados no músculo do camarão. Contudo, em uma perspectiva nutricional, a quantidade de lipídios no camarão é considerada baixa e a relação n-3/n-6 permaneceu dentro dos valores recomendados para a ingestão humana. Sugere-se melhorar o perfil de ácidos graxos da larva de *T. molitor*, por meio da inclusão de fontes de ácidos graxos poli-insaturados na dieta do inseto.

REFERÊNCIAS

- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists**. 18. ed. Maryland, EUA: 2005.
- BARROSO, F.G. et al. The potential of various insect species for use as food for fish. **Aquaculture**, v. 422–423, p. 193–201, 2014.
- BELFORTI, M. et al. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, p. 670–676, 2015.
- BOONYARATPALIN, M. et al. Effects of β -carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. **Aquaculture Research**, v. 32, p. 182–190, 2001.
- BRAGAGNOLO, N.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Total Lipid, Cholesterol, and Fatty Acids of Farmed Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and Wild Marine Shrimp (*Penaeus*

brasiliensis, *Penaeus schimitti*, *Xiphopenaeus kroyeri*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, p. 359-369, 2001.

BRAUER, J. M. E. et al. Effect of dietary protein on muscle collagen, collagenase and shear force of farmed white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **European Food Research and Technology**, v. 217, 277-280, 2003.

CIANCI, M. et al. The molecular basis of the coloration mechanism in lobster shell: β -Crustacyanin at 3.2-Å resolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, p. 9795-9800, 2002.

CRUZ-ROMERO, M.; KELLY, A. L.; KERRY, J. P. Effects of high-pressure and heat treatments on physical and biochemical characteristics of oysters (*Crassostrea gigas*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, p. 30-38, 2007.

DAMODARAM, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Fennema's Food Chemistry**. 4 ed. Nova York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. p. 156-164.

DUNAJSKI, E. Texture in fish muscle. **Journal of Textural Studies**, v. 10, p. 301-318, 1979.

FAO - Food Agriculture Organization of the Unit Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2011**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Itália, 2012. 231p.

FAO - Food Agriculture Organization of the Unit Nations. **Edible Insects Future Prospects for Food and Feed Security**. Roma, Itália, 2013. 201p.

FAO - Food Agriculture Organization of the Unit Nations. **Fisheries and Aquaculture Department**. Global Production Statistics. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en> Acesso: 08 fevereiro 2017.

FINKE, M.D.; OONINCX, D. Insects as food for insectivores. In: MORALES-RAMOS, J.A.; ROJAS, M.G.; SHAPIRO-ILAN, D.I. **Mass Production of Beneficial Organisms Invertebrates and Entomopathogens**. 1ª ed. Massachussetts: Acad. Press, 2014. p. 583-616.

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE, G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497-509, 1957.

FU, L. L.; CHEN, X.; WANG, Y. Quality evaluation of farmed whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, treated with different slaughter processing by infrared spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 151, 306-310, 2014.

GASCO, L. et al. *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 Science and Technology**, v. 220, p. 34–45, 2016.

GLENCROSS, B.D. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. **Reviews in Aquaculture**, V. 1, p. 71–124, 2009.

GONZÁLEZ-FÉLIX, M. L. et al. Effect of various dietary lipid levels on quantitative essential fatty acid requirements of juvenile Pacific white Shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 33, p. 330–340, 2002a.

GONZÁLEZ-FÉLIX, M. L. et al. Growth, survival and fatty acid composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* fed different oils in the presence and absence of phospholipids. **Aquaculture**, v. 205, p. 325-343, 2002b.

HARLIOĞLU, M. M. et al. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on the nutritional quality of abdomen meat and hepatopancreas in a freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 41, 144–150, 2015.

LARSEN, D.; QUEK, S.Y.; EYRES, L. Evaluating instrumental colour and texture of thermally treated New Zealand King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and their relation to sensory properties. **LWT - Food Science and Technology**, v.44, p. 1814-1820, 2011.

MAKKAR, H. P. S. et al. State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 1-33, 2014.

MARTIN, R. E. et al. **Marine and Freshwater Products Handbook**. Pensilvânia: Technomic Publishing Company, 2000. 965p.

MARTÍNEZ-CERVERA, S. et al. Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 729-736, 2011.

MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R. et al. Evaluation of partial and total replacement of formulated feed by live insects, *Trichocorixa* sp. (Heteroptera: Corixidae) on the productive and nutritional response, and postharvest quality of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931). **Aquaculture Nutrition**, v. 19, p. 218-226, 2013.

MOLINA-POVEDA, C.; CÁRDENAS, R.; JOVER, M. Evaluation of amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) protein sources as partial substitutes for fish meal in *Litopenaeus vannamei* grow-out diets. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 822-835, 2017.

NG, W.K. et al. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. **Aquaculture Research**, v. 32, p. 273-280, 2001.

NIAMNUY, C.; DEVAHASTIN, S.; SOPONRONNARIT, S. Changes in protein compositions and their effects on physical changes of shrimp during boiling in salt solution. **Food Chemistry**, v. 108, p. 165-175, 2008.

NOWAK, V., et al. Review of food composition data for edible insects. **Food Chemistry**, v. 193, p. 39-46, 2016.

NRC (National Research Council). **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2011, p. 376.

O'FALLON, J.V. et al. A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. **Journal of Animal Science**, v. 85, p. 1511-1521, 2007.

- OMS - Organização Mundial da Saúde. **Integrim Summary of Conclusions and Dietary Recommendations on Total Fat & Fatty Acids**. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agn/nutrition/docs/Fats%20and%20Fatty%20Acids%20Summary.pdf> Acesso em: 18 abril 2017
- ORSAVOVA, J. et al. Fatty acids composition of vegetable oils and its contribution to dietary energy intake and dependence of cardiovascular mortality on dietary intake of fatty acids. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, p. 12871-12890, 2015.
- OURAJI, H. et al. Total lipid, fatty acid composition and lipid oxidation of Indian white shrimp (*Fenneropenaeus indicus*) fed diets containing different lipid sources. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, p. 993-997, 2009.
- PARISENTI, J. et al. Effect of background color on shrimp pigmentation. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, p. 177-182, 2011a.
- PARISENTI, J. et al. Pigmentation and carotenoid content of shrimp fed with *Haematococcus pluvialis* and soy lecithin. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. 530-535, 2011b.
- PICCOLO, G. et al. Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 12–20, 2017.
- PUGA-LOPÉZ, D. et al. Physicochemical, proximate Composition, microbiological and sensory analysis of farmed and wild harvested white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) Tissues. **Current Research Journal of Biological Sciences**, v. 5, p. 130-135, 2013.
- RIVAS-VEGA, M. E. R. et al. Effects of feed protein levels on digestive proteolytic activity, texture, and thermal denaturation of muscle protein in reared blue shrimp. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 10, p. 25-38, 2001.
- SAMOCHA, T.M. et al. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 231, p. 197–203, 2004.

- SÁNCHEZ-MUROS, M.J., et al. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 943-955, 2016.
- SIEMIANOWSKA, E. et al. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. **Agricultural Sciences**, v. 4, p. 287-291, 2013.
- SIMOPOULOS, A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 56, p. 365-379, 2002.
- TIMILSENA, Y. P. et al. Advances in microencapsulation of polyunsaturated fatty acids (PUFAs)-rich plant oils using complex coacervation: a review. **Food Hydrocolloids**, v. 69, p. 369-381, 2017.
- TUME, R.K. et al. Effect of background colour on the distribution of astaxanthin in black tiger prawn (*Penaeus monodon*): effective method for improvement of cooked colour. **Aquaculture**, v. 296, p. 129-135, 2009.
- VAN BROEKHOVEN, S. et al. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. **Journal of Insect Physiology**, v. 73, p. 1–10, 2015.
- VISENTAINER, J.V.; FRANCO, M.R.B. **Ácidos Graxos em Óleos e Gorduras: Identificação e Quantificação**. São Paulo, SP: Varela, 2006. 120p.
- WIJENDRAN, V.; HAYES, K.C. Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. **Annual Review of Nutrition**, v. 24, p. 597–615, 2004.

CONCLUSÕES

- A composição química da farinha de larva de *T. molitor* mostrou que este ingrediente é uma boa fonte de nutrientes, pois é rico em proteínas e lipídeos, possui todos os aminoácidos essenciais e os ácidos graxos mais abundantes são o ácido oléico, ácido palmítico e ácido linoleico.
- Em relação a formulação de dietas, ao comparar os nutrientes da farinha de larva de *T. molitor* com as exigências nutricionais para o bom desempenho do camarão *L. vannamei*, observou-se que é necessária a adição do aminoácido metionina, assim como fontes de ácidos graxos de cadeia longa, como EPA e DHA.
- Os resultados dos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e dos aminoácidos da farinha de larva de *T. molitor* mostraram que o camarão *L. vannamei* conseguiu utilizar este ingrediente como uma fonte proteica.
- A substituição parcial e total da farinha de peixe por farinha de larva de *T. molitor* não alterou o desempenho zootécnico do camarão *L. vannamei*, o que mostra que este ingrediente é viável para substituição da farinha de peixe nas condições deste experimento.
- A substituição da farinha de peixe por farinha de larva de *T. molitor*, na dieta do camarão, não alterou a composição proteica do camarão e não influenciou na cor e na textura, porém houve um acúmulo de lipídeos e uma alteração da composição de ácidos graxos, com aumento dos monoinsaturados e diminuição dos poli-insaturados.
- Este trabalho permitiu aumentar o conhecimento sobre a viabilidade do uso da farinha de larva de *T. molitor* na dieta do camarão *L. vannamei*. Em particular, marcou um passo importante no sentido de difundir o potencial do uso dos insetos na alimentação animal, o que contribui de certa maneira para a segurança alimentar mundial.

ANEXOS

ANEXO A – ARTIGO “POTENTIAL USE OF MEALWORMS AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE FOR PACIFIC WHITE SHRIMP: DIGESTIBILITY AND PERFORMANCE” PUBLICADO NA “AQUACULTURE” (ISSN: 0044-8486)



Aquaculture

Volume 473, 20 April 2017, Pages 115–120



Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: Digestibility and performance

Roseane L. Panini^a, Luiz Eduardo Lima Freitas^b, Ariane M. Guimarães^c, Cristina Rios^d, Maria Fernanda O. da Silva^e, Felipe Nascimento Vieira^c, Débora M. Fracalossi^c, Richard Ian Samuels^e, Elane Schwinden Prudêncio^a, Carlos Peres Silva^a,  , Renata D.M.C. Amboni^a,  

^a Department of Food Science and Technology, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

^b Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Fisheries and Aquaculture, Palmas, TO, Brazil

^c Aquaculture Department, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

^d Biochemistry Department, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

^e Department of Entomology and Plant Pathology, State University of North Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil

Received 18 November 2016, Revised 1 February 2017, Accepted 4 February 2017, Available online 6 February 2017



 Show less

<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.008>


Get rights and content

Acesso do artigo em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484861631016X>

ANEXO B – TRABALHOS PUBLICADOS EM EVENTOS

	<p>XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos - CBCTA Alimentação: a árvore que sustenta a vida</p> <p>X CIGR Section VI International Technical Symposium Food: the tree that sustains life</p> <p><i>Certificado</i></p> <p>24 a 27 de outubro de 2016 • FAURG5 • GRAMADO/RS</p>
<p>Certificamos que o trabalho intitulado QUALIDADE PÓS-DESPESA DO CAMARÃO BRANCO DO PACÍFICO ALIMENTADO COM FARINHA DE LARVA DE INSETO TENEBRIO MOLITOR de autoria de ROSEANE LÚCIA PANINI; STEPHANIE SILVA PINTO; FLÁVIA ROBERTA BUSSA MARENDÁ; CARLOS PERES SILVA; ELANE SCHWINDEN PRUDÊNCIO; RENATA DIAS DE MELLO CASTANHO AMBONI foi apresentado no formato PÔSTER no XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos - CBCTA - Alimentação: a árvore que sustenta a vida e no X CIGR Section VI International Technical Symposium - Food: the tree that sustains life, no período de 24 a 27 de outubro de 2016, no Centro de Eventos da FAURG5, em Gramado/RS.</p> <p><i>Roberta Thys</i> Roberta Thys Presidente do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos</p> <p><i>Amauri Rosenthal</i> Amauri Rosenthal Presidente do X CIGR Section VI International Technical Symposium</p>	
<p>Patrocínio</p> 	




CERTIFICADO

XIX Encontro Nacional e V Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos

ENAAAL 2015 | 16 a 20 AGOSTO 2015

PRAIAMAR HOTEL - NATAL - RIO GRANDE DO NORTE - BRASIL




Certificamos que o trabalho **FARINHAS DE LARVA DE Tenebrio molitor E DE PUPA DE Musca domestica: UMA ALTERNATIVA PARA A ALIMENTAÇÃO ANIMAL**, de autoria de **PANINI RL, PODESTÁ R, BLOCK JM, SILVA CP, AMBONI RDMC**, foi apresentado, durante o **XIX ENCONTRO NACIONAL E V CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ANALISTAS DE ALIMENTOS**, realizado de 16 a 20 de agosto de 2015, no Praiaamar Natal Hotel & Convention, em Natal/RN.

Deise Ap. Pinatti Marsiglia
Deise Ap. Pinatti Marsiglia
 Presidente da SBAAL


M^{rs} Goretti Lins de Queiroz
Maria Goretti Lins de Queiroz
 Presidente dos Eventos

Patrocinador




SBAAL

Realização




LACEN

Realização




SESAP-RN

Co-realização



SUVISA

Co-realização



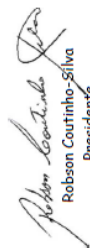
UFRN

Natal/RN, 20 de agosto de 2015.
 FO.212

Certificado

Certificamos que **Roseane Panini** participou como mediadora na oficina **Porque não comer insetos?** no evento **"Sábado da Ciência: Insetos, solos e grãos: a ciência alimentando o Brasil"**, realizado no dia 22 de Outubro de 2016, com carga horária de 15 horas.

Rio de Janeiro, 22 de Outubro de 2016.


Robson Coutinho-Silva
Presidente

Av. Heitor Beltrão, 321 - Tijuca
Tel: (21) 2204-0599



ANEXO C – PREMIAÇÃO PELO TRABALHO

