

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
tese será disponibilizado
somente a partir de 06/02/2027.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

TESE DE DOUTORADO

**APLICAÇÃO DOS ISÓTOPOS ESTÁVEIS NA DIETA DO
CAMARÃO –ROSA (*Farfantepenaeus brasiliensis*):
DESENVOLVIMENTO DAS GÔNADAS E QUALIDADE DA
CARNE**

RHANI DUCATTI

Orientador: Prof. Dr. Antonio Leão Castilho

Coorientador: Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa

**APLICAÇÃO DOS ISÓTOPOS ESTÁVEIS NA DIETA DO CAMARÃO –ROSA
(*Farfantepenaeus brasiliensis*): DESENVOLVIMENTO DAS GÔNADAS E
QUALIDADE DA CARNE**

RHANI DUCATTI

Orientador: Prof. Dr. Antonio Leão Castilho

Coorientador: Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa

**Tese apresentada ao curso de Pós-
Graduação em Ciências Biológicas
(Zoologia) – Instituto de Biociências da
Universidade Estadual Paulista - Unesp –
Campus de Botucatu, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Doutor em Ciências Biológicas (Zoologia)**

BOTUCATU – SP

2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: MARIA CAROLINA ANDRADE CRUZ E SANTOS-CRB 8/10188

Ducatti, Rhani.

Aplicação dos isótopos estáveis na dieta do camarão-rosa (*Farfantepenaeus brasiliensis*) : desenvolvimento das gônadas e qualidade da carne / Rhani Ducatti. - Botucatu, 2023

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu
Orientador: Antonio Leão Castilho
Coorientador: Vladimir Eliodoro Costa
Capes: 20402007

1. Isótopos Estáveis. 2. Carbono. 3. Histologia.
4. Nitrogênio. 5. Carne - Qualidade.

Palavras-chave: Assinatura isotópica; Carbono; Histologia; Nitrogênio; Qualidade da carne.



Foi com um pedido à Santo Agostinho, Santo este reconhecido como Doutor pela Igreja, que essa trajetória se iniciou. Em uma manhã ensolarada, olhei para o céu e em meio a pensamentos conflituosos, pedi um sinal de que estaria indo pelo caminho correto. E quando não mais achava que o doutorado daria certo, uma de suas mais célebres frases fez total sentido para mim: “Ter fé é acreditar naquilo que você não vê; a recompensa por essa fé é ver aquilo em que você acredita”. Obrigada por ter plantado essa certeza dentro de mim!

E então, primeiramente, gostaria de agradecer toda a rede de apoio acadêmico que tive. Aos amigos do LabIAqua, Ana, Alexandre, Geslaine, João, Milena, Pedro, Rafaela e Renan. Em especial, Gabriel, Giovana, Isabela e Mariana, por me ajudarem a desenvolver as ideias e colocá-las no papel. “Quem caminha na companhia de um bom amigo, certamente consegue ir mais longe”.

Aos acadêmicos, Bruno e Carol, e aos professores, Roça e Pricila, por abraçarem todos os desafios e acreditarem que juntos conseguiríamos desenvolver as análises com amostras desconhecidas até então! Obrigada por todo o respaldo que me deram em todas as etapas do projeto!

Aos funcionários do Centro de Isótopos (Cibele, Edson, Evandro, Juliana, Mari e Nádia) e professores, Paulo e Joel. Sei que muitas foram as dificuldades, por isso, reconheço aqui todo o mérito que tiveram em superá-las. Obrigada! “Sonho que se sonha só, é só um sonho que se sonha só. Sonho que se sonha junto, é realidade.”

Gostaria também de agradecer à Keila e ao prof. Felisbino, por me auxiliarem com as análises histológicas. Obrigada pelo espaço cedido e por relevarem as adversidades em trabalhar com amostras nunca trabalhadas no laboratório, os ovários de camarão.

O meu muito obrigado, ao professor Zara, que gentilmente me instruiu sobre os cortes histológicos e sem hesitar, me passou todo o conhecimento sobre o assunto. Seus saberes enriqueceram sobremaneira os resultados obtidos.

Ao meu orientador, Antonio Leão Castilho, que mesmo sem conhecer o meu histórico acadêmico, abriu as portas do seu laboratório e me acolheu em um dos momentos mais delicados desses quatro anos pelos quais eu passei. Obrigada por me estender a mão e me permitir obter este título.

Ao meu coorientador, Vladimir Eliodoro Costa, que sempre elucidou os assuntos isotópicos desta tese e me incentivou profissionalmente desde o começo desta jornada. Obrigada por todo empenho que vem fazendo para manter o CIE produzindo trabalhos em nível de excelência e principalmente, por não deixar que um ideal de vida se acabe frente a tantos obstáculos enfrentados.

Aos pescadores: Juninho, Manoel, Michel e Passarinho. Obrigada! Com vocês aprendi o que não está escrito em nenhum livro ou artigo publicado em revistas com alto fator de impacto. Como dizia Francis Bacon: “Não se aprende bem a não ser pela experiência”.

A toda a equipe da Larvi, em especial à Jaqueline, Nathália e Érica. Mulheres decididas que não temeram os desafios e comandaram o seu próprio destino! Obrigada por me inspirarem tanto e serem exemplos de que vale a pena lutar por suas convicções e ideologias de vida.

Ao meu marido, Daniel de Aguilar Galli, por nunca me deixar desistir nos anos de muitas incertezas que ocorreram durante a pandemia. Por ficar ao meu lado em meio a crises de gastrite, ansiedade e insegurança. Obrigada por sempre me incentivar e confiar no meu potencial!

A minha mãe, Cleire H. Ducatti. Sem o teu amor e apoio financeiro me dados durante à desvalorização do ensino pelo governo, eu não teria conseguido! Obrigada por sempre iluminar o meu caminho, independente qual eu tenha escolhido trilhar.

Ao meu pai (*In memoriam*), Carlos Ducatti, meu maior exemplo de amor à ciência e dedicação acadêmica. Não posso deixar de agradecer todas as vezes que esqueceu de me buscar na escola para idealizar e construir o laboratório de isótopos estáveis. Sua paixão era tanta, que seus últimos minutos de vida foram ali. Obrigada! Sem ele, não estaria colhendo os teus frutos agora. Espero estar retribuindo o mínimo e honrando um pouco o legado que deixou com tanto esforço, resiliência e carinho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), órgão de fomento que financiou esta pesquisa (Código de Financiamento 001).

Agradeço também a todos que acreditaram e enalteceram a ciência em tempos de descaso com o ensino superior no país. Que esta pesquisa possa gerar resultados que vocês também deles possam usufruir. Obrigada por me permitirem aproximar a sociedade e o meio acadêmico. Esse diálogo foi essencial para gerar conhecimento e valorizar o saber como fruto do meu trabalho!

E para finalizar, gostaria de citar que aprendi muito a ser grata com a filosofia havaiana, o ho’oponopono. Nela, diz-se que a gratidão é sinônimo de fechamento de ciclos. Portanto: “Sou grata” por ter chegado até aqui!

RESUMO

Os camarões apresentam diferentes necessidades nutricionais ao longo de seu ciclo de vida e a análise dos isótopos estáveis tem sido amplamente utilizada para ajudar a entender qual item alimentar é mais importante para o crescimento de peneídeos. Com isso, objetivou-se verificar a contribuição relativa dos componentes das dietas em vida livre em função do desempenho reprodutivo do *Farfantepenaeus brasiliensis*, avaliando-se a qualidade da carne durante as diferentes fases da maturação ovariana. Além disso, com a finalidade de padronizar uma escala de cores dos estágios de desenvolvimento dos ovários do camarão-rosa, objetivou-se também classificar macro e microscopicamente as diferentes fases de maturidade gonadal da espécie. Foram coletadas 123 fêmeas (51 rudimentar, 24 em desenvolvimento, 24 intermediário e 24 desenvolvido) na baía de Ubatuba, com o auxílio de um barco camaroeiro equipado com redes de arrasto *double-rig*. Com base na cor e no grau de turgidez do ovário, foram identificados quatro estágios de maturação gonadal: rudimentar, em desenvolvimento, intermediário e desenvolvido. As análises histológicas classificaram o desenvolvimento dos ovócitos em 4 estágios: ovócitos pré-vitelogênicos, ovócitos em vitelogênese primária, ovócitos em vitelogênese secundária e ovócitos maduros. Desta forma, foi possível definir uma escala de cores padronizada para classificar a maturação ovariana do camarão-rosa. Também pode-se concluir que as fêmeas rudimentares apresentaram maiores porcentagens de lipídios em seu tecido muscular e que a proporção de itens alimentares muda nas diferentes fases do ciclo reprodutivo do *F. brasiliensis*. Os resultados fornecidos deverão orientar a formulação de uma ração mais específica para o camarão-rosa, otimizando o manejo alimentar da carcinicultura e comercializando desse modo, uma proteína com melhor valor nutricional e baixo custo para o consumidor final.

Palavras-Chave: assinatura isotópica, carbono, nitrogênio, qualidade da carne, histologia

SUMÁRIO

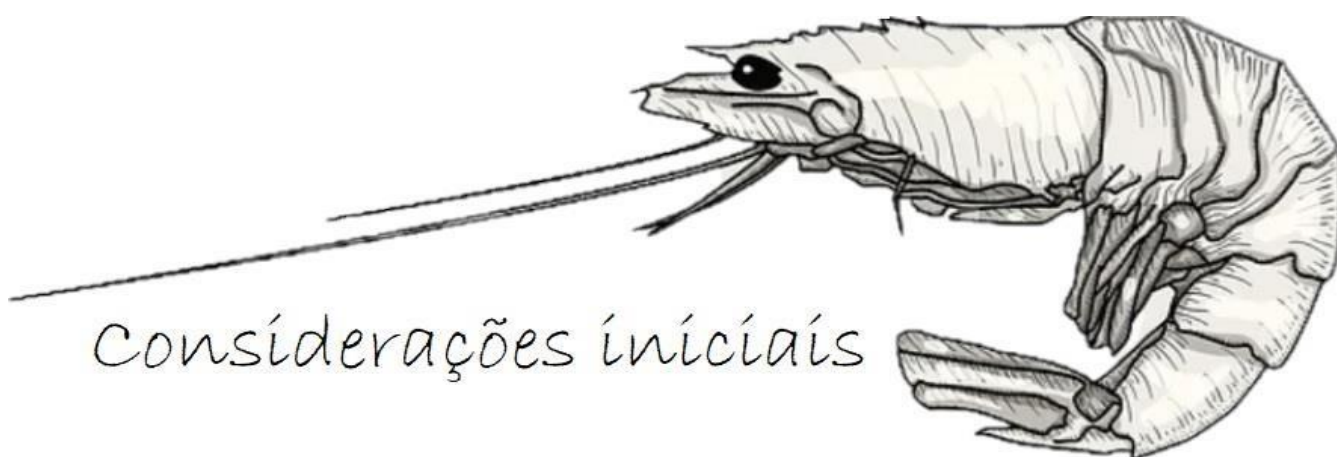
Considerações iniciais.....	8
1. Introdução geral.....	9
1.1 <i>Farfantepenaeus brasiliensis</i>	9
1.2 Ciclo de vida.....	10
1.3 Maturação dos ovários.....	11
1.4 Hábito alimentar.....	12
2. Referências.....	14
Objetivos e Hipótese.....	21
1. Objetivo geral da tese.....	22
1.1 Objetivos específicos.....	22
2. Hipótese.....	22
Capítulo 01.....	24
Standardization of a colorimetric scale for ovarian maturation of the pink shrimp <i>Farfantepenaeus brasiliensis</i> (Latreille, 1817) (Crustacea, Penaeidea).....	25
1. Abstract.....	25
2. Introduction.....	25
3. Material and Methods.....	29
4. Results.....	30
5. Discussion.....	38
6. References.....	46
Capítulo 02.....	57
Ovarian maturation influences the fatty acid profile and chemical composition of pink shrimp meat.....	58
1. Abstract.....	58
2. Introduction.....	58
3. Material and Methods.....	60
4. Results.....	63
5. Discussion.....	65
6. References.....	70
Capítulo 03.....	81
Analysis of food contribution to the ovarian maturation pink shrimp <i>Farfantepenaeus brasiliensis</i> according to the stable isotopes technique.....	82
1. Abstract.....	82
2. Introduction.....	82
3. Material and Methods.....	86
4. Results.....	89
5. Discussion.....	99
6. Conclusions.....	106
7. References.....	107
Considerações finais.....	120
1. Conclusões.....	121

*O importante é não parar de questionar. A curiosidade
tem sua própria razão de existir.*

Albert Einstein

*Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas
como uma oportunidade invejável para aprender a
conhecer a beleza libertadora do intelecto para seu
próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à
qual seu futuro trabalho pertencer.*

Albert Einstein



1. Introdução Geral

1.1 *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817)

A espécie *Farfantepenaeus brasiliensis* pertence à família Penaeidae e ordem Decapoda, onde estão reunidas as subordens Pleocyemata e Dendrobranchiata (Williams, 1984). A subordem Dendrobranchiata inclui camarões que desempenham um importante papel nos estuários e ecossistemas marinhos (Tavares e Martin, 2010), além de apresentarem alto valor econômico (Anger, 2001).

A família Penaeoidea agrupa as principais espécies alvo da atividade pesqueira comercial (Pérez-Castañeda e Defeo, 2001) e o camarão rosa, *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817), é uma dessas espécies, o qual apresenta forte demanda local (Valentini et al., 1991) e alto valor de comercialização (Neto e Dias, 2015) no sul e sudeste do país. A espécie pode ser encontrada desde o Cabo Hatteras, Carolina do Norte (USA) (Buckup e Bond-Buckup, 1999) até o Uruguai (Spivak et al., 2019).

No Brasil, a maior parte dos estoques de peneídeos enfrenta taxas de exploração muito intensas, próximas do rendimento máximo sustentável ou encontram-se até mesmo sobreexploradas (Isaac et al., 1992). As medidas de ordenamento e monitoramento para o exercício da pesca no sul e sudeste - Portaria SAP/MAPA nº 656, de 30 de março de 2022 (Brasil, 2022) – foram revisadas e o defeso alterado para o período entre 28 de janeiro a 30 de abril a partir de 2023. Embora os resultados indiquem que o defeso tem proporcionado resultados razoáveis, a captura ainda está longe de seu estado de equilíbrio sustentável, correndo sério risco de colapsar (D’Incao et al., 2002).

A pesca de arrasto no litoral norte de São Paulo vem impactando negativamente a desova dos camarões no local, levando ao esgotamento das suas reservas, uma vez que o nível do número de recrutas produzidos é insuficiente para manter a população na região (Teodoro et al., 2015).

Em razão da grande importância econômica da pesca do camarão-rosa no Brasil e da visível diminuição do seu estoque, ressalta-se que sejam implementados esforços no sentido de aumentar o conhecimento da biologia deste recurso. Desta forma, criam-se fundamentos para futuras análises das medidas de controle e ordenamento da pesca, os quais poderão embasar significativas revisões na legislação vigente atual.

7. References

- Abdel Rahman, S.H., Abdel Razek, F.A., Goda, A.M.S., Ghobashy, A.F.A., Taha, S.M., Khafagy, A.R., 2010. Partial substitution of dietary fish meal with soybean meal for speckled shrimp, *Metapenaeus monoceros* (Fabricius, 1798) (Decapoda: Penaeidae) juvenile. *Aquaculture* 41, e299-e306 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02530.x>
- Aquacop. 1979. Penaeid reared broodstock: Closing the cycle of *Penaeus monodon*, *P. stylirostris* and *P. vannamei*. *Proc. World Maricul. Soc.* 10, 445-452.
- Bardach, E.J., Ryther, H.J., Melarny, O.W., 1972. The farming and husbandry of freshwater and marine organisms. *Aquaculture*. Wiley-Intersciences. New York, London.
- Ben-David, M., Hanley, T.A., Klein, D.R., Schell, D.M., 1997. Seasonal changes in diets of coastal and riverine mink: the role of spawning Pacific salmon. *Can. J. Zool.* 75, 803-811 <https://doi.org/10.1139/z97-102>
- Bharadwaj, A.S., Brignon, W.R., Gould, N.L., Brown, P.B., Wu, Y.V., 2002. Evaluation of meat and bone meal in practical diets fed to juvenile hybrid striped bass *Morone chrysops*×*M. saxatilis*. *J. World Aquacult. Soc.* 33, 448-457 <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00024.x>
- Bray, W.A., Lawrence, A.L., Lester, L.J., 1990. Reproduction of eyestalk-ablated *Penaeus stylirostris* fed various levels of total dietary. *J. World Aquacul. Soc.* 21, 41-52 <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1990.tb00952.x>
- Bray, W.A., Lawrence, A.L., 1992. Reproduction of *Penaeus* species in captivity. In: Fast, A., Lester, L.J. (Eds.), *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*. Elsevier Science Publishers, The Netherlands, pp. 93-170.
- Buckup, L., Bond-Buckup, G., 1999. The crustaceans of Rio Grande do Sul. Ed. Universidade/UFRGS, Porto Alegre, Brazil. ISBN 8570255020, 9788570255020

Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2004. The Contribution of Flocculated Material to Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a High-Intensity. *Aquaculture* 232, 525–537. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00541-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00541-6)

Cahu, C.L., Cuzan, G., Quazuguel, P., 1995. Effect of highly unsaturated fatty acids, alpha-tocopherol and ascorbic acid in broodstock diet on egg composition and development of *Penaeus indicus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 112, 417–424. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(95\)02009-8](https://doi.org/10.1016/0300-9629(95)02009-8)

Cahu, C.L., Guillaume, J.C., Stéphan, G., Chim, L., 1994. Influence of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on spawning rate and egg tissue composition in *Penaeus vannamei* fed semi-purified diets. *Aquaculture* 126, 159–170. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90257-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90257-7)

Cardona, E., Lorgeoux, B., Geffroy, C., Richard, P., Saulnier, D., Gueguen, Y., Guillou, G., Chim, L., 2015. Relative contribution of natural productivity and compound feed to tissue growth in blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) reared in biofloc: Assessment by C and N stable isotope ratios and effect on key digestive enzymes. *Aquaculture* 448, 288–297. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.035>

Chen, Y.L.L., Chen, H.Y., 1992. Juvenile *Penaeus monodon* as effective zooplankton predators. *Aquaculture* 103, 35–44. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90276-Q](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90276-Q)

Civera, R., Villarreal, H., Vega-Villasante, F., Nolasco, H., Rocha, S., Goytortúa, E., González, M., Camarillo, T., 1994. Digestive enzyme activity and growth of *Penaeus californiensis* fed diets containing red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal as a protein source. *Abstracts, World Aquaculture* 94.

Coman, F.E., Connolly, R.M., Bunn, S.E., Preston, N.P., 2006. Food sources of the sergestid crustacean, *Acetes sibogae*, in shrimp ponds. *Aquaculture* 259, 222–253. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.038>

- Coman, G.J., Arnold, S.J., Callaghan, T.R., Preston, N.P., 2007. Effect of two maturation diet combinations on reproductive performance of domesticated *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 263, 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.016>
- Costa, R.C., Lopes, M., Castilho, A.L., Fransozo, A., Simões, S.M., 2008. Abundance and distribution of juvenile pink shrimps *Farfantepenaeus* spp. in a mangrove estuary and adjacent bay on the northern shore of São Paulo State, southeastern Brazil. *Invertebr. Reprod. Dev.* 52, 51-58. <https://doi.org/10.1080/07924259.2008.9652272>
- Crocos, P.J., Coman, G.J., 1997. Seasonal and age variability in the reproductive performance of *Penaeus semisulcatus* broodstock: optimising broodstock selection. *Aquaculture* 155, 55–67. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00109-9)
- Cruz-Ricque, L.E., Guillaume, J., Cuzon, G., Aquacop., 1987. Squid protein effect on growth of four peneid shrimp. *J. World Aquacult. Sot.* 18, 209-217. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1987.tb01030.x>
- Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Martínez-Vega, J.A., Wesche- Ebeling, P., 1993. Evaluation of two shrimp by-product meals protein sources in diets for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 115, 53–62. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90358-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90358-6)
- Cruz-Suárez, L.E., Tapia Salazar, M., Nieto López, M.G., Ricque, D., 2008. A Review of the Effects of Macroalgae in Shrimp Feeds and in Co-Culture, pp. 304-333.
- Cuzon, G., Guillaume, J.C., 1999. Nutrition et alimentation des crevettes en élevages intensif et extensif. In: Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailier, R. (Eds.), *Nutrition et Alimentation des Poissons et Crustacés*. INRA Editions, Paris, pp. 325–349.
- D’Incao, F., 1991. Fisheries and Biology of *Penaeus paulensis* in Lagoa dos Patos, RS. *Atlântica* 13, 159–169. dincao_1991_-_biologia_e_pesca_do_camarao-with-cover-page-v2.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net)

D’Incao, F., Valentini, H., Rodrigues, L.F., 2002. Evaluation of shrimp fisheries in southeastern and southern Brazil. *Atlântica* 24, 103-116. <http://repositorio.furg.br/handle/1/5716>

Dall, W., Smith, D.M., Moore, L.E., 1991. Biochemical composition of some prey species of *Penaeus esculentus* Haswell (Penaeidae: Decapoda). *Aquaculture* 96, 151-166. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90146-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90146-X)

DeNiro, M., Epstein, S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 42, 495-506. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90199-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90199-0)

El-Saidy, D.M.S.D., Gaber, M.M.A., 2002, Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation for the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *J. World Aquac. Soc.* 33, 297–306. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00506.x>

Emerson, W.D., Hayes, D.P., Ngonyame, M., 1983. Growth and Maturation of *Penaeus indicus* under blue and green light. *S. Africa J. Zool.* 18, 71-75. <https://doi.org/10.1080/02541858.1983.11447818>

Epp, M.A., 2002. Stable isotopes in shrimp aquaculture. *World Aquac.* 33, 18–19.

FAO. 2006. State of World Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper 500. IWAS/FRD, FAO Fisheries Department, Rome, Italy, p. 134.

Forster, I.P., Dominy, W., Obaldo, L., Tacon, A.G.J., 2003. Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931). *Aquaculture* 219, 655–670. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00457-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00457-X)

Freire, J., Gonzalez-Gurriaran, E., 1995. Feeding ecology of the velvet swimming crab *Necora puber* in mussel raft areas of the Ria de Arousa Galicia, NW Spain. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 119, 139–154. doi:10.3354/meps119139

Fry, B., 2006. Stable Isotope Ecology. New York: Springer, p.308.

Gannes, L.Z., O'Brien, D.M., Martinez Del Rio, C., 1997. Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments. *Ecology* 78, 1271-1276. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[1271:SIIAEA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1271:SIIAEA]2.0.CO;2)

Gerking, S.D., 1994. Feeding ecology of fish. Academic Press, San Diego, p. 416.

Gleason, D.F., Wellington, G.M., 1988. Food resources of postlarval brown shrimp (*Penaeus aztecus*) in a Texas salt marsh. *Mar. Biol.* 97, 329–337. <https://doi.org/10.1007/BF00397763>

Goytortúa-Bores, E., Civera-Cerecedo, R., Rocha-Meza, S., Green-Yee, A., 2006. 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* 256,414-422. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.035>

Harpaz, S., 1997. Enhancement of growth in juvenile freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii*, through the use of a chemo attractant. *Aquaculture* 156, 221–227. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00093-8)

Harrison, K.E., 1990. The role of nutrition in maturation, reproduction and embryonic development of decapod crustaceans: a review. *J. Shellfish Res.* 9, 1–28. CRID 1573950399659386496

Hertrampf, J.W., Piedad-Pascual, F., 2000. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 314-321.

Hughes, E.H., Sherr, E.B., 1983. Subtidal food webs in a Georgia estuary: $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 67, 227-242. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(83\)90041-2](https://doi.org/10.1016/0022-0981(83)90041-2)

Issac, V., Dias Neto, J., Damasceno, F.G., 1992. North Coast Pink Shrimp. Biology, dynamics and fisheries management. IBAMA, Fisheries Studies Series, Brasília, pp. 1-187.

Kline, T.C.Jr., Goering, J.J., Mathisen, O.A., Poe, P.H., 1993. Recycling of elements transported upstream by runs of Pacific salmon: II $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ evidence in the Kvichak River, Bristol Bay, Southwestern Alaska. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50, 2350-2365. <https://doi.org/10.1139/f93-259>

Lee, P.G., Lawrence, A.L., 1997. Digestibility. In: D'Abramo, L.R., Conklin, D.E., Akiyama, D.M. (Eds.), Crustacean Nutrition. Adv. World Aquacult. Baton Rouge, LA, USA, pp. 194–260.

Lee, P.G., Meyers, S., 1997. Chemoattraction and feeding stimulation. In: D'Abramo, L.R., Conklin, D.E., Akiyama, D.M. (Eds.), Crustacean Nutrition. Adv. World Aquacult. Baton Rouge, LA, USA, pp. 292–352.

Lim, C.E., 1998. Feeding penaeid shrimp. In: Nutrition and Feeding of Fish. Springer, Boston, MA, pp. 227-248.

Luis, O.J., Ponte, A.C., 1993. Control of reproduction of the shrimp *Penaeus kerathurus* held in captivity. J. World Aquacult. Soc. 24, 31-39. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00147.x>

Marsden, G.E., McGuren, J.J., Hansford, S.W., Burke, M.J., 1997. A moist artificial diet for prawn broodstock: its effect on the variable reproductive performance of wild caught *Penaeus monodon*. Aquaculture 149, 145–156. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01430-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01430-5)

Martinelli, L.A., Victoria, R.L., Matsui, E., Forsberg, B.R., 1988. Use of natural variations of $\delta^{13}\text{C}$ in the study of food chains in aquatic environments: principles and perspectives. Acta Limnol. Bras. 1, 859-882.

Martinez Del Rio, C., Wolf, N., Carleton, A.S., Gannes, L.Z., 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biol. Rev.* 84, 91-111. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2008.00064.x>

McLean, C.H., Bulling, K.R., 2005. Differences in lipid profile of New Zealand marine species over four seasons. *J. Food Lipids.* 12, 313–326. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2005.00026.x>

Mendoza, R., Revol, A., Fauvel, C., Patrois, J., Guillaume, J-C., 1997. Influence of squid extracts on the triggering of secondary vitellogenesis in *Penaeus vannamei*. *Aquacult. Nutr.* 3, 55–63. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.1997.00075.x>

Merican, Z.O., Shim, K.F., 1995. Apparent digestibility of lipid and fatty acids in residual lipids of meals by adult *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 133, 275–286. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00019-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00019-X)

Meunpol, O., Dangjai, E., Yoonpum, R., Piyatiratitivorakul, S., 2010. Detection of prostaglandin E2 in polychaete *Perinereis* sp. and its effect on *Penaeus monodon* oocyte development in vitro. *Fish. Sci.* 76, 281-286. <https://doi.org/10.1007/s12562-009-0208-8>

Meunpol, O., Iam-Pai, S., Suthikrai, W., Piyatiratitivorakul, S., 2007. Identification of progesterone and 17 α hydroxyprogesterone in polychaetes (*Perinereis* sp.) and the effects of hormone extracts on penaeid oocyte development in vitro. *Aquaculture* 270, 485-492. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.031>

Moraes, C.R.F.D., Henry-Silva, G.G., 2018. Mixing models and stable isotopes as tools for research on feeding aquatic organisms. *Ciência Rural* 48. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160101>

Moss, S.M., Crocos, P.J., 2001. Global shrimp OP: 2001 — preliminary report-maturation. *Glob. Aquacult. Advocate.* 4, 28–29.

Naessens, E., Lavens, P., Gomez, L., Browdy, C.L., McGovern-Hopkins, K., Spencer, A.W., Kawahigashi, D., Sorgeloos, P., 1997. Maturation performance of (Lito)*Penaeus vannamei* co-fed *Artemia* biomass preparations. *Aquaculture* 155, 87 – 101. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00111-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00111-7)

Nakagawa, H., Kasahara, S., Sugiyama, T., Wada, I., 1984. Usefulness of *Ulva* meal as feed supplement in cultured black sea bream. *Suisan Zoshoku*. 32, 20-27. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.32.20>

Neto, J.D., Dias, J.F.O., 2015. The use of aquatic biodiversity in Brazil: An assessment focused on fisheries. IBAMA, Brasília, pp. 287.

Newell, R.I.E., Marshall, N., Sasekumar, A., Chong, V.C., 1995. Relative importance of benthic microalgae, phytoplankton, and mangroves as sources of nutrition for penaeid prawns and others coastal invertebrate from Malaysia. *Mar. Biol.* 123, 595-606. <https://doi.org/10.1007/BF00349238>

Nunes, A.J.P., Gesteira, T.C.V., Goddard, S., 1997. Food consumption and assimilation by the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil. *Aquaculture* 149, 121–136. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01433-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01433-0)

Palmer, P.J., Wang, S., Houlihan, A., Brock, I., 2014. Nutritional status of a nereidid polychaete cultured in sand filters of mariculture wastewater. *Aquacult. Nutr.* 20, 675-691. <https://doi.org/10.1111/anu.12129>

Peterson, B.J., Fry, B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18, 293–320. <https://www.jstor.org/stable/2097134>

Phillips, D.L., Gregg, J.W., 2003. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia* 136, 261– 269. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1218-3>

Phillips, D.L., Kroch, P.L., 2002. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models. *Oecologia* 130, 114-125. <https://doi.org/10.1007/s004420100786>

Phillips, D.L., 2001. Mixing models in analysis of diet using multiple stable isotopes: a critique. *Oecologia* 127, 166-170. doi: 10.1007/S004420000571

Phillips, D.L., Gregg, J.W., 2001. Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. *Oecologia* 127, 171-179. <https://doi.org/10.1007/s004420000578>

Pihl, L., Rosenberg, R., 1984. Food selection and consumption of the shrimp *Crangon crangon* in some shallow areas in western Sweden. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 15, 159–168. <https://www.jstor.org/stable/24815932>

Porchas Cornejo, M., Martinez Cordova, L., Magallon Barajas, F., Portillo Clark, G., 1999. Efecto de la macrolaga *Caulerpa sertularioides* en el desarrollo del camarón café *Penaeus californiensis* (decapoda: Peneidae). *Ver. Biol. Tropi.* 47, 437-442. doi: 10.15517/RBT.V47I3.19182

Preston, N.P., Crocos, P.J., Keys, S.J., Coma, G.J., Koenig, R., 2004. Comparative growth of selected and non-selected Kuruma shrimp *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus* in commercial farm ponds. *Aquaculture* 231, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.039>

Ravid, T., Tietz, A., Khayat, M., Boehm, E., Michelis, R., Lubzens, E., 1999. Lipid accumulation in the ovaries of a marine shrimp *Penaeus semisulcatus* (De Haan). *J. Exp. Biol.* 202, 1819–1829. doi: 10.1242/jeb.202.13.1819

Reymond, H., Lagardere, J.P., 1990. Feeding rhythms and food of *Penaeus japonicus* Bate Crustacea, Penaeidae in saltwater ponds: role of halophilic entomofauna. *Aquaculture* 81, 125–143. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90343-L](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90343-L)

Rothlisberg, P.C., 1998. Aspects of penaeid biology and ecology of relevance to aquaculture; a review. *Aquaculture* 16, 49–65. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00176-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00176-8)

Roubach, R., Correia, E.S., Zaiden, S., Martino, R.C., Cavalli, R.O., 2003. Aquaculture in Brazil. *J. World Aquacult. Soc.* 34, 28-35.

Samocha, T., Davis, D.A., Saoud, I.P., DeBault, K., 2004. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 231, 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.08.023>

Severino-Rodrigues, E., Pita, J.B., Graça-Lopes, R., Coelho, J.A.P., Puzzi, A., 1992. A study on biology and fishery of the sea-bob-shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) caught by artisanal fisheries on the coast of São Paulo State. *Bol. Inst. Pesca.* 19, 67-81. https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/19_01_unico_67-81

Shigueno, K., 1975. Shrimp culture in Japan. Association for International Technical Promotion, Tokyo, Japan.

Shigueno, K., 1984. Intensive culture and feed development in *Penaeus japonicus*. Proceedings of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps, Iloilo City, Philippines, pp. 115-122. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.

Shimoda, K., Aramaki, Y., Nasuda, J., Yokoyama, H., Ishihi, Y., Tamaki, A., 2007. Food sources for three species of *Nihonotrypaea* (Decapoda: Thalassinidea: Callinassidae) from western Kyushu, Japan, as determined by carbon and nitrogen stable isotope analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 342, 292-312. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.11.003>

Sittikankaew, K., Pootakham, W., Sonthirod, C., Sangsrakru, D., Yoocha, T., Khudet, J., Nookaew, I., Uawisetwathana, U., Rungrassamee, W., Karoonuthaisiri, N., 2020. Transcriptome analyses reveal the synergistic effects of feeding and eyestalk ablation on ovarian maturation in black tiger shrimp. *Scientific Reports* 10, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60192-2>

Stoner, A.W., Zimmerman, R.J., 1988. Food pathways associated with penaeid shrimps in a mangrove-fringed estuary. *Fish. Bull.* 86, 543-552.

Sudaryono, A., Tsventnenko, E., Evans, L.H., 1996. Digestibility studies on fisheries by product based diets for *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 143, 331–340. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(96\)01288-4](https://doi.org/10.1016/0044-8486(96)01288-4)

Suita, S.M., Braga, A., Ballester, E., Cardoso, A.P., Abreu, P.C., Wasieleski, W., 2016. Contribution of bioflocs to the culture of *Litopenaeus vannamei* post-larvae determined using stable isotope. *Aquacult. Int.* 24, 1473–1487. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0006-0>

Sullivan, M.J., Moncreiff, C.A., 1990. Edaphic algae are an important component of salt marsh food-webs: evidence from stable isotope analyses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 62, 149–159. <https://www.jstor.org/stable/24842502>

Suring, E., Wing, S.R., 2005. Isotopic turnover rate and fractionation in multiple tissues of red rock lobster (*Jasus edwardsii*) and blue cod (*Parapercis colias*): consequences for ecological studies. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 370, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.11.014>

Tacon, A.G.J., Conklin, D.E., Pruder, G.D., 1999. Shrimp feeds and feeding: at the crossroads of a cultural revolution. *Controlled and Biosecure Production Systems: Evolution and Integration of Shrimp and Chicken Models. Proceedings of a Special Session of the World Aquaculture Society, Sydney, Australia*, pp. 55–66.

Taylor, A.G., Savage, C., 2006. Fatty acid composition of New Zealand green-lipped mussels, *Perna canaliculus*: Implications for harvesting for n-3 extracts. *Aquaculture* 261, 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.024>

Teshima, S., Kanazawa, A., Koshio, S., Horinouchi, K., 1988. Lipid metabolism in destalked prawn *Penaeus japonicus*: induced maturation and transfer of lipid reserves to the ovaries. *Nippon Suisan Gakkaishi* 54, 1115–1122. <https://doi.org/10.2331/suisan.54.1115>

Thomas, W., Ray, A.J., 2018. Comparing biofloc, clear-water, and hybrid nursery systems (part I): Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production, water quality, and stable isotope dynamics. *Aquac. Eng.* 82, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.06.002>

Tieszen, L.L., Boutton, T.W., Tesdahl, K.G., Slade, N.A., 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia* 57, 32-7. <https://doi.org/10.1007/BF00379558>

Vasquez-Boucard, G. C., J. E. Patrois, and J. H. Ceccaldi. 2004. Exhaustion of lipid reserves in the hepatopancreas of *Fenneropenaeus indicus* broodstock in relation to successive spawnings. *Aquaculture* 236: 523-537. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.048>

Villarreal, H., Hernandez-Llamas, A., Rivera, M.C., Millan, A., Rocha, S., 2004. Effect of substitution of shrimp meal, fish meal and soy meal with red crab *Pleuroncodes planipes* (Stimpson) meal in pelleted diets for postlarvae and juvenile *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes). *Aquac. Res.* 35, 178–183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01000.x>

Wen, X.B., Chen, L.Q., Zhou, Z.L., Ai, C.X., Deng, G.Y., 2002. Reproduction response of chinese mitten-handed crab (*Eriocheir sinensis*) fed different sources of dietary lipid. *Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr.* 131, 675–681. doi: 10.1016/s1095-6433(01)00515-3

Wootton, R.J., 1995. Ecology of teleost fishes, second ed. London, Chapman and Hall.

Worsmann, T.U., 1976. Étude histologique de L’ovaire de *Penaeus paulensis* Pérez-Farfante (1967). *Bol. Inst Oceanogr.* 25, 43-54. <https://doi.org/10.1590/S0373-55241976000100003>

Wouters, R., Lavens, P., Nieto, J., Sorgeloos, P., 2001. Penaeid shrimp broodstock nutrition: an updated review on research and development. *Aquaculture* 202, 1-21. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00570-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00570-1)

Wu, X., Cheng, Y., Sui, L., Zeng, C., Southgate, P.C., Yang, X., 2007. Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), female broodstock. *Aquaculture* 273, 602–613. DOI:10.1016/j.aquaculture.2007.09.030

Xu, X.L., Ji, W.L., Castell, J.D., O'Do, R.K., 1994. Influence of dietary lipid sources on fecundity, egg hatchability and fatty acid composition of Chinese prawn (*Penaeus chinensis*) broodstock. *Aquaculture* 199, 359–370. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90300-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90300-X)

Yokoyama, H., Tamaki, A., Harada, K., Shimoda, K., Koyama, K., Ishihi, Y., 2005. Variability of diet-tissue isotopic fractionation in estuarine macrobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 296, 115–128. doi:10.3354/meps296115.

Yone, Y., Furuichi, M., Urano, K., 1986. Effects of dietary wakame *Undaria pinnatiida* and *Ascophyllum nodosum* supplements on growth, feed efficiency, and proximate compositions of liver and muscle of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 52, 1465–1488. <https://doi.org/10.2331/suisan.52.1465>

