

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 24/02/2024.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Composição isotópica e contribuição relativa de fontes alimentares em monocultivo de lambari-dorabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e em cultivo integrado com camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*)**

**MSc. Andre Zuffo Boaratti**

**Jaboticabal, SP**

**2022**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**  
**CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP**

**Composição isotópica e contribuição relativa de fontes alimentares em monocultivo de lambari-dorabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e em cultivo integrado com camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*)**

**MSc. Andre Zuffo Boaratti**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Patricia Maria Contente Moraes Valenti**

**Coorientador: Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa**

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

Jaboticabal, SP

2022

B662c Boaratti, Andre Zuffo  
Composição isotópica e contribuição relativa de fontes alimentares em monocultivo de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e em cultivo integrado com camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) e curimatã (*Prochilodus lineatus*) / Andre Zuffo Boaratti. -- Jaboticabal, 2022  
98 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2022  
Orientadora: Patricia Maria Contente Moraes Valenti  
Coorientador: Vladimir Eliodoro Costa  
Banca examinadora: Eduardo Luis Cupertino Ballester, Gustavo Henrique Gonzaga da Silva, Joel Mesa Hormaza, Marcello Villar Boock  
Bibliografia

1. Isótopos estáveis. 2. Fontes de alimento. 3. Sistema integrado de cultivo. 4. Fator de discriminação. 5. Lambari. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 636.3.043



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



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA TESE:** Composição isotópica e contribuição relativa de fontes alimentares em monocultivo de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*) e em cultivo integrado com camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*)

**AUTOR:** ANDRE ZUFFO BOARATTI

**ORIENTADORA:** PATRICIA MARIA CONTENTE MORAES VALENTI

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

Profa. Dra. PATRICIA MARIA CONTENTE MORAES VALENTI (Participação Virtual)  
/ Centro de Aqüicultura da UNESP, CAUNESP, Jaboticabal-SP

Prof. Dr. JOEL MESA HORMAZA (Participação Virtual)  
Depto. de Biofísica e Farmacologia / IBB - UNESP

Pesquisador Científico MARCELLO VILLAR BOOCK (Participação Virtual)  
Unidade de P&D de Pirassununga / Agência Paulista de tecnologia dos  
agronegócios – APTA, Pirassununga-SP

Prof. Dr. EDUARDO LUIS CUPERTINO BALLESTER (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia, Laboratório de Carcinicultura / Universidade Federal do Paraná, UFPR,  
Palotina-PR

Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE GONZAGA DA SILVA (Participação Virtual)  
Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água - LIMNOAQUA, Departamento de Biociências /  
Universidade Federal Rural do Semi-árido, UFRSA, Mossoró-RN

Jaboticabal, 24 de fevereiro de 2022

## DEDICATÓRIA

*“Senhor, ensina-nos a receber as bênçãos do serviço! Ainda não sabemos, Amado Jesus, compreender a extensão do trabalho que nos confiaste! Permite, Senhor, possamos formar em nossa alma a convicção de que a Obra do Mundo te pertence, a fim de que a vaidade não se insinue em nossos corações com as aparências do bem!*

*Dá-nos, Mestre, o espírito de consagração aos nossos deveres e desapego aos resultados que pertencem ao teu amor.*

*Ensina-nos a agir sem as algemas das paixões, para que reconheçamos os teus santos objetivos!*

*Senhor Amorável, ajuda-nos a ser teus leais servidores,*

*Mestre Amoroso, concede-nos, ainda, as tuas lições,*

*Juíz Reto, conduze-nos aos caminhos diretos,*

*Médico Sublime, restaura-nos a saúde,*

*Pastor Compassivo, guia-nos à frente das águas vivas,*

*Engenheiro Sábio, dá-nos teu roteiro,*

*Administrador Generoso, inspira-nos a tarefa,*

*Semeador do Bem, ensina-nos a cultivar o campo de nossas almas,*

*Carpinteiro Divino, auxilia-nos a construir nossa casa eterna,*

*Oleiro Cuidadoso, corrige-nos o vaso do coração,*

*Amigo Desvelado, sê indulgente, ainda, para com as nossas fraquezas,*

*Príncipe da Paz, compadece-te de nosso espírito frágil, abre nossos olhos e mostra-nos a estrada de teu Reino!”*

*Prece de Aniceto em “Os Mensageiros” de André Luiz*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, Jesus Cristo e aos amigos espirituais.

À minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Patricia Maria Contente Moraes Valenti, pelo apoio e orientação ao longo deste período de doutorado.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa, pelas orientações e parceria nas análises de Isótopos Estáveis.

Ao Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti, pela oportunidade de fazer parte do seu grupo de pesquisa, e por todos os ensinamentos passados.

À banca examinadora de qualificação e defesa, Prof. Dr. Eduardo Luis Cupertino Ballester, Prof.<sup>a</sup> Dra. Gelcirene de Albuquerque Costa, Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga Da Silva, Prof. Dr. Joel Mesa Hormaza, Prof. Dr. Marcelo Villar Boock, pela contribuição para a melhoria desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Joel Mesa Hormaza, por ter disponibilizado tempo e dedicação para ensinar a utilizar os modelos de mistura.

Ao Centro de Aquicultura da Unesp, alunos, professores e funcionários.

A todos do Setor de Carcinicultura do CAUNESP pelo apoio, ajuda no experimento e amizade, em especial ao Roberto Polachini e aos colegas que trabalharam junto do projeto ao qual este trabalho fez parte, Aline, Dalton, Julia e Paulo.

À toda equipe do Centro de Isótopos Estáveis – CIE, Botucatu, onde foram realizadas as análises de isótopos estáveis.

À minha esposa Leticia Ap. Revolti Praxedes Zuffo, pela lealdade, paciência e muito amor.

À minha família de sangue e espiritual.

À FAPESP e CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Obrigado!

## **APOIO FINANCEIRO E PARCERIAS**

CNPQ, bolsa de doutorado de 01/03/2018 a 31/01/2019 (140910/2018).



FAPESP, bolsa de doutorado de 01/02/2019 a 28/02/2022 (2018/15702-4).



Ao Sr. Jomar Delafrate, proprietário da Piscicultura comercial Sítio Sobradinho, Município de Buritizal - SP, Brasil (doação dos alevinos de lambaris).

À Sra. Suely Rodrigues, proprietária da Piscicultura comercial Projeto Peixes, Município de Sales Oliveira – SP, Brasil (doação dos alevinos de curimatás).

## RESUMO GERAL

Este trabalho teve como principal objetivo determinar a composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  e a contribuição qualitativa e quantitativa das principais fontes de alimento do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*), camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*), cultivados em viveiros de fundo natural, em sistemas de monocultivo de *A. lacustris* (LM), cultivo integrado de *A. lacustris* e *M. amazonicum* (LP) e cultivo integrado com as três espécies, sendo *A. lacustris*, *M. amazonicum* e *P. lineatus* (LPC). Primeiramente, foi realizado um ensaio para obtenção dos fatores de discriminação isotópica ( $\Delta$ ) entre os consumidores e a fonte padrão de alimento (ração comercial). Esses valores são importantes para corrigir o sinal isotópico das fontes de alimento, visando aplicação dos modelos de misturas. Foram realizados ensaios individuais para as três espécies. Nestes foram utilizadas uma ração comercial de teor proteico 36%, sendo esta a mesma ração usada no experimento de engorda. A seguir, foram coletados tecidos da musculatura dos animais para análise de isótopos estáveis. Após a estabilização do sinal isotópico da musculatura em relação a ração comercial, o  $\Delta$  foi calculado. Os resultados para *A. lacustris* foram  $\Delta^{13}\text{C}$  de 2,0 ‰ e  $\Delta^{15}\text{N}$  de 2,9 ‰; para *M. amazonicum*  $\Delta^{13}\text{C}$  de 2,3 ‰ e  $\Delta^{15}\text{N}$  de 3,0 ‰; e para *P. lineatus*  $\Delta^{13}\text{C}$  de 1,8 ‰ e  $\Delta^{15}\text{N}$  de 3,1 ‰. Após a obtenção dos fatores de discriminação isotópica, foi realizado um experimento de engorda, para determinar quais são as fontes de alimento realmente incorporadas na biomassa das três espécies. Esse experimento teve três tratamentos com quatro réplicas. Os tratamentos foram Lambari Monocultivo (LM), Lambari e Camarão (LP) e Lambari, Camarão e Curimatá (LPC), todos em viveiros de fundo natural. O manejo dos viveiros ocorreu de acordo com o mesmo usado pelos produtores, utilizando uma ração comercial. Foram obtidos os sinais isotópicos da musculatura dos três consumidores e de todas as possíveis fontes de alimentos disponíveis nos sistemas de cultivos. A seguir, foi aplicada a análise de isótopos estáveis por meio de modelos de misturas Bayesianos, com validação por teste de diagnóstico, para a determinação das fontes de alimentos que foram incorporadas na musculatura dos consumidores. Observou-se que a ração foi a principal fonte de alimento para o *A. lacustris* (51 a

75%), enquanto que as demais fontes de alimento apresentaram participação individual reduzida. No entanto, as fontes autóctones somadas alcançaram de 25 a 49% do alimento incorporado. *M. amazonicum* apresentou baixa incorporação de ração comercial, e os demais alimentos apresentaram contribuições heterogêneas sem que alguma fonte de alimento se destacasse. Os resultados sugerem que *P. lineatus* pode apresentar seletividade de absorção e incorporação de recursos do sedimento. A ração foi a principal fonte de alimento incorporada quando disponível para consumo, mas na ausência desta, o *P. lineatus* pode se desenvolver com os recursos autóctones.

**Palavras-chave:** Isótopos estáveis, fontes de alimento, sistema integrado de cultivo, fator de discriminação, lambari-do-rabo-amarelo, camarão-da-amazônia, curimatá.

## GENERAL ABSTRACT

The main objective of this work was to determine the isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  and the qualitative and quantitative contribution of the main food sources of the yellow-tail lambari (*Astyanax lacustris*), Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) and curimbata (*Prochilodus lineatus*), reared in monoculture system of *A. lacustris* (LM), integrated system of *A. lacustris* with *M. amazonicum* (LP) and integrated system with the three species *A. lacustris*, *M. amazonicum* and *P. lineatus* (LPC), reared in earthen ponds. First of all, an trial was carried out to obtain the isotopic discrimination factors ( $\Delta$ ) between consumers and the standard food source (commercial feed). These values are important to correct the isotopic signal of food sources for applying mixing models. Individual trials were carried out for the three species, in which a commercial feed of 36% protein content was used. It was the same commercial feed used in the grow-out phase of the experiment. Next, tissues from the animal's musculature were collected for stable isotope analysis. After stabilizing the isotopic signal of the musculature in relation to the commercial feed, the  $\Delta$  was calculated. The results for *A. lacustris* were  $\Delta^{13}\text{C}$  of 2.0 ‰ and  $\Delta^{15}\text{N}$  of 2.9 ‰; for *M. amazonicum*  $\Delta^{13}\text{C}$  of 2.3 ‰ and  $\Delta^{15}\text{N}$  of 3.0 ‰; and for *P. lineatus*  $\Delta^{13}\text{C}$  of 1.8 ‰ and  $\Delta^{15}\text{N}$  of 3.1 ‰. After obtaining the isotopic discrimination factors, a grow-out experiment was carried out to determine which food sources were actually incorporated into the biomass of the three species. This experiment had three treatments with four replicates. The treatments were Lambari Monoculture (LM), Lambari and Prawn (LP) and Lambari, Prawn and Curimbatá (LPC), all in earth ponds. The management of the culture was done according to commercial production and using a commercial feed. Isotopic signals were obtained from the muscle tissue of the three consumers and all possible food sources available in the culture systems. Then, the analysis of stable isotopes was applied through Bayesian mixture models, with validation by diagnostic test to determine the food sources that were incorporated into the muscles of consumers. The commercial feed was the primary food source for *A. lacustris* (51 to 75%), while the other food sources had reduced individual participation, but the autochthonous sources added together reached from 25 to 49% of the incorporated food. *M. amazonicum*

presented low incorporation of commercial feed, and the other foods presented heterogeneous contributions without any food source standing out. The results suggested that *P. lineatus* may present selectivity of absorption and incorporation of sediment resources. Commercial feed was the main source of food incorporated when available for consumption, but in its absence, *P. lineatus* can develop with autochthonous resources.

**Keywords:** Stable isotopes, food sources, integrated cultivation system, discrimination factor, yellow tail lambari, Amazon river prawn, curimbata.

# **Capítulo 1**

## **Introdução Geral**

## 1. INTRODUÇÃO

A Aquicultura no Brasil e no mundo está baseada principalmente em sistemas de monocultivo intensivamente arraçoados (Valenti et al., 2021). Essa é uma prática pouco eficiente, pois menos de 20% da dieta fornecida aos animais é realmente transformada em biomassa e mais de 80% da dieta é perdida no efluente não promovendo retorno à produção (Valenti et al., 2011; Boyd et al., 2020). Assim, boa parte da alimentação fornecida é transformada em resíduos poluidores nos efluentes e em forma de gases. Outra parte é incorporada em organismos como fitoplâncton e zooplâncton, que embora possam vir a ser uma fonte de alimento, não têm valor comercial direto (Henry-Silva & Camargo 2018; Flickinger et al., 2019a; Flickinger et al., 2019b), reduzindo a sustentabilidade do ponto de vista ambiental e econômico. Dessa forma, a implementação de sistemas integrados que aperfeiçoem o uso das instalações e da mão-de-obra, mas principalmente a utilização dos insumos e recursos naturais pode ser uma alternativa para melhorar a sustentabilidade da aquicultura (Valenti, 2008; Boyd et al., 2020; Valenti et al., 2021).

Aquicultura multitrófica integrada (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture - IMTA*) é o cultivo de espécies de diferentes níveis tróficos com funções complementares no ecossistema, de forma que permita alimentação das espécies com resíduos, nutrientes e/ou subprodutos da espécie principal, aproveitando a complementariedade das funções ecossistêmicas das espécies cultivadas (Chopin, 2013; Chopin et al., 2013; Boyd et al., 2020). Os cultivos em IMTA podem ser desenvolvidos tanto em sistemas marinhos como de água doce, incluindo várias combinações de espécies. Essas combinações podem envolver a criação de organismos aquáticos na mesma unidade de área, ocupando níveis tróficos diferentes como espécies de mariscos, camarões e peixes; camarões e algas; peixes e moluscos entre outros (Boyd et al., 2020). Sistemas integrados também podem ser realizados em cultivo consorciado de arroz com peixe (rizipiscicultura) ou arroz com camarão (rizicarcinicultura) (Marques et al., 2016).

Algumas espécies de camarões de água doce são procuradas para compor os sistemas integrados de aquicultura. Estas apresentam boa adaptação a uma variedade de peixes e crustáceos, grande valor comercial e potencial de mercado, tornando a

produção muito mais rentável (New et al., 2010; Marques et al., 2016). Além disso, podem colaborar na melhoria da qualidade de água dos viveiros (Flickinger et al., 2019a; Flickinger et al., 2019b). No Brasil, cultivos integrados em água doce vêm sendo realizados com espécies como camarão-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*), e tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) (Santos & Valenti, 2002; Uddin et al., 2007; Rodrigues et al., 2019a; Rodrigues et al., 2019b). Contudo, por se tratarem de espécies exóticas, o perigo da liberação acidental na natureza poderá ocasionar impactos, uma vez que estas espécies podem causar alterações na estrutura dos ecossistemas aquáticos.

Os rios brasileiros possuem uma grande biodiversidade aquática. Nesses ambientes, são encontradas várias espécies de camarões de água doce, bem como, diferentes espécies de peixes. Entre essas espécies, destacam-se o lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax lacustris*, Lütken, 1875), o camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*, Heller, 1862) e o curimatá (*Prochilodus lineatus*, Valenciennes 1837), sendo todas espécies nativas com grande potencial para o cultivo.

O camarão da espécie *M. amazonicum* pertence à Ordem Decapoda, da família Palaemonidae. Em seu ambiente natural, é considerada espécie onívora e oportunista durante as fases juvenil e adulta (Odinetz-Collart, 1988; Valenti, 1996; Maciel & Valenti, 2009; Moraes-Valenti & Valenti, 2010; Marques et al., 2016). Por serem onívoros, os camarões de água doce de cultivo, podem aceitar alimentos tanto de origens autóctone quanto alóctone, podendo se alimentar de invertebrados bentônicos, oligoquetos, larvas de insetos e ração com alto teor de proteína animal (Valenti, 1996). O *M. amazonicum* é comercialmente explorado pela pesca artesanal nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil (Odinetz-Collart, 1993; Moraes-Riodades & Valenti, 2001). Apresenta tecnologia de cultivo desenvolvida para todo seu processo de produção (Moraes-Valenti & Valenti, 2010). Podendo ser realizada tanto para consumo humano quanto para produção de iscas que podem ser comercializadas no uso na pesca esportiva (Rodrigues et al., 2019a; Valenti et al., 2021).

Outra espécie nativa que vem sendo estudada e já bastante cultivada é o *A. lacustris* (antigo *Astyanax bimaculatus*; Lucena & Soares, 2016). Essa espécie é encontrada na região sudeste do Brasil. Possui hábito alimentar onívoro-oportunista,

consumindo algas, insetos, microcrustáceos, partículas de macrófitas e folhas, frutas, sementes e escamas (Esteves, 1996; Cassemiro et al., 2002; Gomiero & Braga, 2008; Garutti, 2003; Silva et al., 2012; Andrian et al., 2013; Fonseca et al., 2017; Valladão et al., 2018). O cultivo do *A. lacustris* vem crescendo no estado de São Paulo em grandes fazendas, pois apresenta elevado valor comercial na forma de isca viva para pesca esportiva e para consumo humano, apresentando altos valores comerciais em várias regiões. Por ser um peixe de pequeno porte, pode ser consumido com os ossos e até mesmo a cabeça e vísceras. Sua biomassa é constituída de partes muito ricas em vitaminas, minerais e outros nutrientes, favorecendo a segurança alimentar principalmente de populações vulneráveis (Fonseca et al., 2017). Estudos apontam o uso de espécies de lambaris como *Deuterodon iguape* (lambari-da-mata-atlântica) e do *A. lacustris* como substituto da sardinha na pesca de atum (Gonçalves et al., 2015). Além disso, o *A. lacustris* tem um bom potencial de mercado na forma de peixe enlatado (Porto-Foresti et al., 2005). Sendo essas práticas estabelecidas, logo haverá um aumento na demanda de mercado, e conseqüentemente na produção dessa espécie, podendo alcançar um crescimento exponencial em um espaço curto de tempo.

O *P. lineatus* é um peixe muito consumido, principalmente por populações de pescadores próximas de grandes rios da América do Sul. Apresenta hábito alimentar detritívoro, seguido pelo consumo de algas, sendo considerado como pertencente aos grupos tróficos inferiores (Resende et al., 1995; Sampaio et al., 2010; Freire et al., 2012; Valenti et al., 2021). A espécie apresentou potencial no cultivo integrado com tambaqui (*Colossoma macropomum*) e *M. amazonicum*, aumentando a produtividade do sistema e sendo uma alternativa para uma aquicultura mais sustentável (Franchini et al., 2020). Seu potencial é tão significativo que a espécie já foi introduzida na aquicultura da China e Vietnam (Kalous et al., 2012). O *P. lineatus* é produzido em todos os estados do Brasil, sendo considerada a quinta espécie nativa, mais produzida para o consumo humano. Em paralelo, existe também a criação, em grande escala, de juvenis para a liberação em bacias impactadas por hidrelétricas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil (Valenti et al., 2021).

Porém, não basta apenas a escolha das espécies de acordo com seu potencial de cultivo ou de mercado. Para se obter um bom aproveitamento da exploração de um sistema aquático, é necessário compreender os processos ecológicos inerentes a esse sistema. Dentro desses processos, são incluídas as relações alimentares entre organismos e ambiente, e estas podem ser limitadas e regidas pelas mesmas leis básicas dos sistemas vivos e controladas pelo fluxo de energia (Odum, 1988). No entanto, a relação dos alimentos e seus processos dentro dos ecossistemas ainda não é muito conhecida. O processo básico na dinâmica trófica é a transferência de energia de uma parte do ecossistema para outro. A vida dentro do ecossistema depende na utilização de uma fonte de energia externa, radiação solar e uma porção desta energia incidente. Estas serão transformadas pelo processo de fotossíntese dentro da estrutura dos organismos vivos (Chapin et al., 2011). Em ambientes aquáticos, os sistemas produtivos são complexos, pois, suportam alta diversidade e um mosaico de habitats terrestres e aquáticos. Esta alta complexidade física e biológica tem motivado pesquisas a fim de compreender de forma abrangente processos ecológicos desses sistemas (Johnson et al., 1995; Thorp et al., 2006). Por isso, estudos de ecologia trófica têm revelado considerável versatilidade alimentar para a maioria dos teleósteos (Agostinho & Júlio Jr., 1999; Wootton, 1999; Abelha et al., 2001).

Para tentar compreender os sistemas de produção, a composição alimentar dos animais tem sido estudada por meio de dois procedimentos: análise de conteúdo estomacal (ACE) e análise dos isótopos estáveis (AIE) (Beaudoin et al., 1999; Oliveira et al., 2006; Silva et al., 2012; Bastos et al., 2017). A ACE é um dos métodos mais utilizados para validar a posição trófica, estratégia de alimentação e composição alimentar de um consumidor (Hyslop, 1980; Oliveira et al., 2006; Silva et al., 2012; Bastos et al., 2017). Entretanto, ACE reflete apenas o alimento ingerido pelo animal e não o que foi efetivamente aproveitado e incorporada aos tecidos, sendo assim, difícil inferir com exatidão quais e quanto das fontes alimentares estão influenciando o desenvolvimento da espécie. Além disso, a ACE representa um resultado momentâneo do consumo do indivíduo (Coman et al., 2006; Oliveira et al., 2006; Suita et al., 2016; Bastos et al., 2017). Já a AIE permite estudar relações tróficas e quanto e quais alimentos foram incorporados e aproveitados pelo consumidor ao longo de um

período de tempo de alimentação. Esta análise é considerada importante ferramenta para fisiologistas, ecólogos, zoólogos e outros pesquisadores que estudam os ciclos dos elementos e matéria no ambiente (Pereira & Benedito, 2007; Bastos et al., 2017).

A palavra isótopo é originária do grego ISO (mesmo ou igual) e TOPOS (lugar) e podem ser definidos como átomos com o mesmo número de prótons e elétrons, mas com diferente número de nêutrons no núcleo. O termo estável significa que não emite radiação, permanecendo indefinidamente sem variações no número de prótons e nêutrons ao longo do tempo (Boutton, 1991; Ducatti, 2007; Sulzman, 2007; Martínez del Rio et al., 2009). A diferença no número de nêutrons de um elemento químico estável não afeta os processos biológicos e ecológicos. No entanto, o sinal isotópico resultante desta diferença de nêutrons, torna possível distinguir e mapear um tecido ou composto em processos ecológicos e biológicos. O princípio básico da AIE, é que o sinal isotópico de um tecido animal está relacionado com sua dieta, sendo ajustado por fatores de discriminação específicos (Martínez del Rio et al., 2009).

Os isótopos estáveis (IE) dos elementos carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre (CHONS) ocorrem naturalmente e apresentam interesse biológico. Eles são os principais elementos dos ciclos hidrológico, geológico e biológico (Sulzman, 2007). O carbono-13 ( $^{13}\text{C}$ ) e o nitrogênio-15 ( $^{15}\text{N}$ ) são os IE mais utilizados e que apresentam grande importância nos estudos de ecologia trófica, nutrição animal (Martinelli et al., 1988; Forsberg et al., 1993; Wolf et al., 2009; Carter et al., 2019) e na aquicultura (Mahmood et al., 2016; Heldt et al., 2019; Moraes et al., 2020; Gamboa-Delgado, 2021). O carbono (C) tem como isótopo estável leve dominante o  $^{12}\text{C}$  com seis nêutrons e o  $^{13}\text{C}$  com sete nêutrons no núcleo, este sendo o isótopo pesado de carbono mais comum. O  $\delta^{13}\text{C}$  pode ser utilizado como indicadores para o metabolismo de carboidratos, transferência de lipídios e na contribuição estrutural (Gamboa-Delgado, 2021). O nitrogênio (N), isótopo leve  $^{14}\text{N}$  e pesado  $^{15}\text{N}$ , tem o  $\delta^{15}\text{N}$  predominantemente utilizado em estudos ecológicos devido ao seu comportamento bioacumulativo no tecido. Portanto, o  $\delta^{15}\text{N}$  é mais positivo nos tecidos do que na dieta e material excretado (Martínez del Rio & Wolf, 2005; Martínez del Rio et al., 2009).

A utilização dos dois isótopos em conjunto vem sendo muito utilizada pelos pesquisadores. Esse recurso somado a utilização de modelos de misturas isotópicas,

tornam-se ferramentas muito eficientes para definição do consumo e alimentação das fontes de alimentos para espécies em sistemas naturais e controlados (Gamboa-Delgado, 2021). Uma das condições básicas do uso da AIE, como metodologia de estudos alimentares é que as fontes que compõem a dieta do animal tenham valores isotópicos distintos (Boutton, 1991). O valor isotópico de um tecido animal reflete a dieta assimilada ao longo do tempo (Tykot, 2004; Xu et al., 2008). Também é importante considerar o fator de discriminação isotópica ( $\Delta$ ) que ocorre devido ao acúmulo de átomos dos isótopos mais pesados nos tecidos do organismo consumidor (Fry, 2006).

## 4. REFERÊNCIAS

- Abilhoa, V. (2007). Aspectos da história natural de *Astyanax scabripinnis* Jenyns (Teleostei, Characidae) em um riacho de floresta com araucária no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24(4), 997-1005.
- APHA (American Public Health Association), (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed.; APHA: Washington, DC, USA.
- Bayol, V., & de Yuan Cordiviola, E. (1996). Food assimilation of a neotropical riverine detritivorous fish, *Prochilodus lineatus*, studied by fatty acid composition (Pisces, Curimatidae). *Hydrobiologia*, 330(2), 81-88. DOI: 10.1007/BF00019997.
- Boyd, C.E, (2019). Water Quality: An Introduction; Springer Nature: Alburn, AL, USA.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. Doi: 10.1111/jwas.12714.
- Brand, W. A., & Coplen, T. B. (2012). Stable isotope deltas: tiny, yet robust signatures in nature. *Isotopes in environmental and health studies*, 48(3), 393-409. DOI: 10.1080/10256016.2012.666977.
- Brand, W. A., Coplen, T. B., Vogl, J., Rosner, M., & Prohaska, T. (2014). Assessment of international reference materials for isotope-ratio analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 86(3), 425-467. DOI: 10.1515/pac-2013-1023.
- Brooks, S. P., & Gelman, A. (1998). General methods for monitoring convergence of iterative simulations. *Journal of computational and graphical statistics*, 7(4), 434-455. DOI: 10.1080/10618600.1998.10474787.
- Brown, T., & Simpson, J. (2001). Managing phosphorus inputs to urban lakes: I. Determining the trophic state of your lake. *Watershed Protection Techniques*, 3(4), 771.
- Carter, W. A., Bauchinger, U., & McWilliams, S. R. (2019). The importance of isotopic turnover for understanding key aspects of animal ecology and nutrition. *Diversity*, 11(5), 84. DOI: 10.3390/d11050084.
- Cassemiro, F. A. S., Hahn, N. S., & Fugi, R. (2002). Avaliação da dieta de *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski, 2000 (Osteichthyes, Tetragonopterinae) antes e após a formação do reservatório de Salto Caxias, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 24, 419-425. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v24i0.2314.
- Coplen, T. B. (2011). Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope-ratio and gas-ratio measurement results. *Rapid communications in mass spectrometry*, 25(17), 2538-2560. DOI: 10.1002/rcm.5129.

- Costa, G. A. (2017). Determinação das fontes de alimentos no cultivo do camarão-da-amazônia e tambaqui, utilizando isótopos estáveis. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, p. 139.
- Dantas, D. P., Flickinger, D. L., Costa, G. A., Batlouni, S. R., Moraes-Valenti, P., & Valenti, W. C. (2020). Technical feasibility of integrating Amazon river prawn culture during the first phase of tambaqui grow-out in stagnant ponds, using nutrient-rich water. *Aquaculture*, 516, 734611. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734611.
- Flickinger, D. L., Costa, G. A., Dantas, D. P., Proença, D. C., David, F. S., Durborow, R. M., Moraes-Valenti, P. & Valenti, W. C. (2020). The budget of carbon in the farming of the Amazon river prawn and tambaqui fish in earthen pond monoculture and integrated multitrophic systems. *Aquaculture Reports*, 17, 100340. DOI: 10.1016/j.aqrep.2020.100340
- Fonseca, T., Costa-Pierce, B. A., & Valenti, W. C. (2017). Lambari aquaculture as a means for the sustainable development of rural communities in Brazil. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25(4), 316-330. DOI: 10.1080/23308249.2017.1320647.
- Forsberg, B. R., Araújo-Lima, C. A. R. M., Martinelli, L. A., Victória, R. L., & Bonassi, J. A. (1993). Autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon. *Ecology*, 74(3), 643-652. DOI: 10.2307/1940793.
- Franchini, A. C., Costa, G. A., Pereira, S. A., Valenti, W. C., & Moraes-Valenti, P. (2020). Improving production and diet assimilation in fish-prawn integrated aquaculture, using iliophagus species. *Aquaculture*, 521, 735048. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735048.
- Fugi, R., Hahn, N. S., & Agostinho, A. A. (1996). Feeding styles of five species of bottom-feeding fishes of the high Paraná River. *Environmental Biology of fishes*, 46(3), 297-307. DOI: 10.1007/BF00005006.
- Gamboa-Delgado, J. (2021). Isotopic techniques in aquaculture nutrition: State of the art and future perspectives. *Reviews in Aquaculture* DOI: 10.1111/raq.12609.
- Garutti, V. (2003). Piscicultura ecológica. São Paulo: Ed. UNESP.
- Heldt, A., Suita, S., Dutra, F. M., Pereira, A. L., & Ballester, E. (2019). Stable isotopes as a method for analysis of the contribution of different dietary sources in the production of *Macrobrachium amazonicum*. *Latin american journal of aquatic research*, 47(2), 282-291. DOI: 10.3856/vol47-issue2-fulltext-8.
- Holden, M. J. & Raitt, D. F. S. (1975). Manual of Fisheries science. Part 2-Methods of Resource Investigation and their Application. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, Italy.
- Kalous, L., Bui, A. T., Petrýl, M., Bohlen, J., & Chaloupková, P. (2012). The South American freshwater fish *Prochilodus lineatus* (Actinopterygii: characiformes: Prochilodontidae): new species in Vietnamese aquaculture. *Aquaculture Research*, 43(6), 955-958. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02895.x.

- Kimpara, J. M., Tito Rosa, F. R., de Lima Preto, B., & Valenti, W. C. (2011). Limnology of *Macrobrachium amazonicum* grow-out ponds subject to high inflow of nutrient-rich water and different stocking and harvest management. *Aquaculture Research*, 42(9), 1289-1297. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2010.02717.x.
- Kuhlmann, M. L., Johnscher-Fornasaro, G., Ogura, L. L., & Imbimbo, H. R. V. (2012). Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo. São Paulo: CETESB.
- Lobón-Cerviá, J., & Bennemann, S. (2000). Temporal trophic shifts and feeding diversity in two sympatric, neotropical, omnivorous fishes: *Astyanax bimaculatus* and *Pimelodus maculatus* in Rio Tibagi (Paraná, Southern Brazil). *Archiv für Hydrobiologie*, 149 (2), 285-306. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/149/2000/285.
- Lopes, C. A., Benedito - Cecilio, E., & Martinelli, L. A. (2007). Variability in the carbon isotope signature of *Prochilodus lineatus* (Prochilodontidae, Characiformes) a bottom-feeding fish of the Neotropical region. *Journal of Fish Biology*, 70(6), 1649-1659. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2007.01388.x.
- Maciel, C. R., & Valenti, W. C. (2009). Biology, fisheries, and aquaculture of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*: a review. *Nauplius*, 17(2), 61-79.
- Mahmood, T., Fang, J., Jiang, Z., & Zhang, J. (2016). Carbon and nitrogen flow, and trophic relationships, among the cultured species in an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) bay. *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 207-219. DOI: 10.3354/aei00152.
- Marques, H. L., New, M. B., Boock, M. V., Barros, H. P., Mallasen, M., & Valenti, W. C. (2016). Integrated freshwater prawn farming: state-of-the-art and future potential. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(3), 264-293. DOI: 10.1080/23308249.2016.1169245.
- Marques, A. M., Boaratti, A. Z., Belmudes, D., Ferreira, J. R., Mantoan, P. V., Moraes-Valenti, P., & Valenti, W. C. (2021). Improving the efficiency of lambari production and diet assimilation using integrated aquaculture with benthic species. *Sustainability*, 13(18), 10196. DOI: 10.3390/su131810196.
- Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Matsui, E., Forsberg, B. R., & Mozeto, A. A. (1988). Utilização das variações naturais de  $\delta^{13}\text{C}$  no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: princípios e perspectivas. *Acta Limnol Bras*, 1, 859-882.
- Martínez del Rio, C., & Wolf, B. O. (2005). Mass balance models for animal isotopic ecology. *Physiological and Ecological Adaptations to Feeding in Vertebrates* (eds. M. A. Starck & T. Wang), pp. 141–174.
- Martínez del Rio, C., Wolf, N., Carleton, S. A., & Gannes, L. Z. (2009). Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*, 84(1), 91-111. doi:10.1111/j.1469-185X.2008.00064.x

- Moraes, C. R. F., de Attayde, J. L., & Henry-Silva, G. G. (2020). Stable isotopes of C and N as dietary indicators of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in net cages in a tropical reservoir. *Aquaculture Reports*, 18, 100458. DOI: 10.1016/j.aqrep.2020.100458.
- Moraes-Riodades, P.M.C. & Valenti, W.C. (2002). Crescimento relativo do camarão canela *Macrobrachium amazonicum* (Heller) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) em viveiros. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19(4), 1169-1176.
- Moraes-Valenti, P. M., & Valenti, W. C. (2007). Effect of intensification on grow out of the Amazon River prawn, *Macrobrachium amazonicum*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(4), 516-526. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2007.00125.x.
- Moraes-Valenti, P. & Valenti, W. C. (2010). Culture of the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum*. p. 485-501. In: M. B. New; W. C. Valenti; J. H. Tidwell; L. R. D'Abramo, and M. N. Kutty, (eds). *Freshwater prawns: biology and farming*. Oxford, Wiley-Blackwell.
- Parnell, A. C., Inger, R., Bearhop, S., & Jackson, A. L. (2010). Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. *PLoS ONE*, 5(3), e9672. DOI: 10.1371/journal.pone.0009672.
- Parnell, A. C., Phillips, D. L., Bearhop, S., Semmens, B. X., Ward, E. J., Moore, J. W., Jackson, A. L., Grey, J., Kelly, D. J., & Inger, R. (2013). Bayesian stable isotope mixing models. *Environmetrics*, 24(6), 387-399. DOI: 10.1002/env.2221.
- Phillips, D. L. (2001). Mixing models in analyses of diet using multiple stable isotopes: a critique. *Oecologia*, 127(2), 166-170. DOI: 10.1007/s004420000571.
- Resende, E. K., Catella, A. D., Nascimento, F. L., Palmeira, S. D. S., Pereira, R. A. C., Lima, M. D. S., & de Almeida, V. L. L. (1995). Biologia do Curimatá (*Prochilodus lineatus*), Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e Cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na bacia hidrográfica do Rio Miranda, Pantanal do Mato Grosso do Sul, Brasil. *Embrapa Pantanal-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* (INFOTECA-E). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/789558>.
- Rodrigues, C. G., Garcia, B. F., Verdegem, M., Santos, M. R., Amorim, R. V., & Valenti, W. C. (2019). Integrated culture of Nile tilapia and Amazon river prawn in stagnant ponds, using nutrient-rich water and substrates. *Aquaculture*, 503, 111-117. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.12.073.
- Sacramento, P. A., Manetta, G. I., & Benedito, E. (2016). Diet-tissue discrimination factors ( $\Delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta^{15}\text{N}$ ) and turnover rate in somatic tissues of a neotropical detritivorous fish on C3 and C4 diets. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 213-219. DOI: 10.1111/jfb.12859.
- Silva, D. A., Pessoa, E. K. R., da Costa, S. A. G. L., Chellappa, N. T., & Chellappa, S. (2012). Ecologia alimentar de *Astyanax lacustris* (Osteichthyes: Characidae) na Lagoa do Piató, Assú, Rio Grande do Norte, Brasil. *Biota Amazônia*, 2(1), 74-82. DOI: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v2n1p74-82.

- Sipaúba-Tavares, L.H. (2013). Uso Racional da água em Aquicultura. *Jaboticabal: Funep*. 189p.
- Valenti, W. C. (1996). Criação de camarões em águas interiores. FUNEP, Jaboticabal.
- Valenti, W. C., Barros, H. P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G. W., & Cavalli, R. O. (2021). Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, 19, 100611. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100611
- Valladão, G. M. R., Gallani, S. U., & Pilarski, F. (2018). South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 10(2), 351-369.
- Wolf, N., Carleton, S. A., & Martínez del Rio, C. (2009). Ten years of experimental animal isotopic ecology. *Functional Ecology*, 23(1), 17-26. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2009.01529.x.