

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 27/02/2027.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Respostas metabólicas aos carboidratos e a
fibra solúvel em tambaquis (*Colossoma
macropomum*, Cuvier, 1818)**

Gabriela Castellani Carli

Jaboticabal, São Paulo

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Respostas metabólicas aos carboidratos e a
fibra solúvel em tambaquis (*Colossoma
macropomum*, Cuvier, 1818)**

Gabriela Castellani Carli

Orientador: Dr. Leonardo Susumu Takahashi

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, São Paulo

2025

C282r

Carli, Gabriela Castellani

Respostas metabólicas aos carboidratos e a fibra solúvel em tambaquis (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) / Gabriela Castellani Carli. -- Jaboticabal, 2025

67 p. : il., tabs., 3 v.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal

Orientador: Leonardo Takahashi

1. Aquicultura. 2. Animais nutrição. 3. Fibras na nutrição animal. 4.
Carboidratos na nutrição animal. 5. Carboidratos metabolismo. I.
Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Respostas metabólicas aos carboidratos e a fibra solúvel em tambaquis (*Colossoma macropomum*)

AUTORA: GABRIELA CASTELLANI CARLI

ORIENTADOR: LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI

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

Prof. Assoc. LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI (Participação Presencial)
Departamento de Produção Animal - DPA / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - FCAT
- UNESP, Dracena/SP

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI**
Data: 17/03/2025 17:50:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. IVAN VIEGAS (Participação Virtual)
. / Universidade de Coimbra

Assinado por: **IVAN DANIEL DOS SANTOS MARTINS VIEGAS**
Num. de Identificação: 11937115
Data: 2025.03.09 10:20:28 +0000

Profa. Dra. CRISTIÉLE DA SILVA RIBEIRO (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / UNESP/Câmpus de Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 **CRISTIÉLE DA SILVA RIBEIRO**
Data: 10/03/2025 10:05:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. FÁBIO ERMINIO MINGATTO (Participação Presencial)
Departamento de Produção Animal / FCAT UNESP Dracena/SP

Documento assinado digitalmente
 **FABIO ERMINIO MINGATTO**
Data: 17/03/2025 15:19:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. MICHELE BERNARDINO DE LIMA (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / FMV UNESP, Araçatuba/SP

Documento assinado digitalmente
 **MICHELE BERNARDINO DE LIMA**
Data: 10/03/2025 16:53:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 27 de fevereiro de 2025

" Rir muito e com frequência; ganhar o respeito de pessoas inteligentes e o afeto das crianças; merecer a consideração de críticos honestos e suportar a traição de falsos amigos; apreciar a beleza, encontrar o melhor nos outros; deixar o mundo um pouco melhor, seja por uma saudável criança, um canteiro de jardim ou uma redimida condição social; saber que ao menos uma vida respirou mais fácil porque você viveu. Isso é ter tido sucesso. - Ralph Waldo Emerson

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter chegado até aqui, por ter me dado forças para superar todos os obstáculos. Acima de tudo, Deus me conduziu até a Unesp, onde pude conviver com pessoas incríveis e que tanto somaram no meu crescimento pessoal e profissional. Sei que tudo isso não aconteceu por acaso!

Em segundo lugar, quero agradecer aos meus pais André e Rosana, meu irmão Mateus, meu noivo Paulo por se fazerem presentes todos os dias, me dando apoio em todas as minhas decisões e em todas as situações que eu tanto precisei, sempre pude contar com vocês, vocês são minha base.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus queridos avós Adelaide e Agenor (minha saudade diária) pela preocupação, orações e por estarem sempre torcendo pelo meu sucesso e felicidade, a vocês deixo todo meu carinho e minha gratidão.

Gostaria de agradecer profundamente aos meus queridos e fiéis amigos pra vida toda, Daniela, Gian, Nina, Tiago e a todos os meus amigos. Vocês são essenciais em minha vida.

A equipe GAUD Dracena: Ana, Affonso, Hugo, Vivi, Luana, Sid, todos os estagiários, equipe do GAUD-Tilápia Karol, Dadinho e em especial para a minha anja Thata, minha parceira desde o mestrado e que levarei para toda a vida como amiga irmã, e todos que passaram pelo grupo colaboraram muito com meu crescimento pessoal e profissional. Guardo todos vocês com um carinho enorme no coração.

Gostaria de agradecer a todos servidores da Unesp, sempre prestativos em ajudar, aos membros da banca que aceitaram com muito carinho fazer parte do meu trabalho, foi um prazer conhecer e conviver com todos vocês e em especial meu orientador Leonardo Takahashi por me ensinar tanto, além de orientação acadêmica nunca hesitou em valorizar minhas qualidades e também me mostrar, pontos que eu preciso melhorar para me tornar uma profissional de sucesso. Ao professor Paulo Lopes, com quem eu realizei o meu estágio em docência, que se tornou um modelo para mim de profissional dedicado e disponível para os alunos,

deixo aqui registrada a minha admiração. Meus profundos agradecimentos ao Leo e a todos servidores da Unesp de Dracena e Jaboticabal. Gostaria também de agradecer ao professor Ivan Viegas e Mariana Palma da Universidade de Coimbra por todos os ensinamentos e pela parceira em trabalhos, sem dúvidas foi uma experiência única e que poucos tiveram a oportunidade de aprender tanto. Vocês foram referência para mim.

Também agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº2020/08955 - 3

Sem todos vocês eu com certeza não chegaria tão longe. Muito obrigada!!

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	3
Introdução Geral	5
Objetivos	7
CAPÍTULO 1- Revisão da literatura	8
A espécie estudada	8
A utilização de carboidratos não estruturais em dietas para peixes	9
Polissacarídeos estruturais na alimentação de peixes	11
Referências Bibliográficas	15
CAPÍTULO 2- Curva glicêmica e metabolismo intermediário de tambaquis (<i>Colossoma macropomum</i>) após a administração oral de diferentes açúcares	25
Resumo	25
1. Introdução.....	26
2. Material e métodos	27
2.1 Peixes e condições experimentais	27
2.2 Procedimento experimental	28
2.3 Processamento das amostras	28
2.4 Análise dos resultados	29
3. Resultados	30
3.1 Curva glicêmica dos tambaquis	30
3.2 Metabolitos sanguíneos	32
3.3 Indicadores de reserva energética tecidual	34
3.4 Atividade hepática das enzimas chave do metabolismo	34
4. Discussão	38
Referências Bibliográficas	43
CAPÍTULO 3- Níveis de fibra alimentar solúvel extraída do resíduo de maracujá no desempenho zootécnico, indicadores de microbiota intestinal e metabolismo intermediário de tambaquis	47
Resumo	47
1. Introdução.....	48
2. Material e métodos	50
2.1 Instalações experimentais	50
2.2 Controle de qualidade de água	50

2.3 Dietas experimentais	50
2.4 Desempenho produtivo.....	52
2.5 Metabólitos sanguíneos.....	53
2.6 Processamento de amostras teciduais	53
2.8Análise dos resultados	54
3. Resultados	54
3.1 Desempenho produtivo.....	54
3.2 Metabólitos sanguíneos	55
3.3 Indicadores de lipogênese	56
4. Discussão	58
Conclusão	61
Referências Bibliográficas	62

APOIO FINANCEIRO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) 2023/17195-0.

RESUMO

O tambaqui é a principal espécie nativa produzida no Brasil. Estudos acerca da nutrição que visam a utilização de ingredientes alternativos são formas viáveis para reduzir os custos das rações e impulsionar a cadeia produtiva da espécie. O objetivo desse trabalho foi avaliar, em dois experimentos distintos, o efeito de diferentes fontes de carboidratos e níveis de fibra solúvel no metabolismo do tambaqui. No primeiro, foi avaliada a curva glicêmica e o metabolismo intermediário de tambaquis após a administração oral de glicose, frutose, sacarose, amido e solução salina (controle). 300 juvenis de tambaqui ($111,5 \pm 49,8$ g) foram submetidos à administração oral das substâncias através do método de gavagem. Foram coletados peixes em 0 (basal), 3, 6, 9 e 12 horas após a administração. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 25 tratamentos e 3 repetições. Foram avaliados os metabólitos sanguíneos, deposição de lipídios e glicogênio no fígado e a atividade hepática de enzimas do metabolismo de carboidratos, lipídios e glicogênio. Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA two-way, seguida pelo teste de Tukey a 5%. Os resultados demonstraram que o tambaqui apresenta boa capacidade em lidar com cargas dos açúcares testados, demonstrando aumento nas concentrações de glicose plasmática em 3 horas e redução 9 horas após a administração, e ainda apresentaram aumento na atividade glicolítica e lipogênica e redução na atividade gliconeogênica hepática em 9 horas após a administração dos açúcares. No segundo ensaio foi testado o uso da fibra solúvel da polpa do maracujá nas dietas para a espécie. 280 juvenis de tambaqui de ($28 \pm 0,69$ g) foram alimentados durante 60 dias com cinco dietas contendo diferentes níveis de inclusão de fibra solúvel (FS) extraída do resíduo da extração da polpa do maracujá (0, 0,5, 0,75, 1 e 1,5%). Os tratamentos foram distribuídos em DIC, com 5 tratamentos e 4 repetições. Foram avaliados o desempenho zootécnico, metabólitos sanguíneos, deposição de glicogênio hepático e lipídio no músculo e fígado e a atividade hepática de enzimas do metabolismo de lipídios. Os dados obtidos foram submetidos a ANOVA one-way e teste de Tukey a 5%. Foi observado que, conforme se aumentou a inclusão da FS até 1,5%, houve melhora no desempenho zootécnico, com aumento no ganho de peso e taxa de crescimento específico, seguido de redução da conversão alimentar. Essa melhora também foi observada no metabolismo e na composição

dos peixes. Houve uma redução na atividade hepática das enzimas lipogênicas dos peixes, associadas a redução nos lipídios séricos, musculares e hepáticos, com aumento na deposição de glicogênio hepático nos peixes. Conclui-se que a fibra solúvel pode ser um potencial aditivo em dietas para tambaqui a fim de se melhorar o desempenho e a composição final dos animais.

PALAVRAS-CHAVE: ingredientes alternativos; metabolismo; peixes frugívoros.

ABSTRACT

Tambaqui is the main native species produced in Brazil. Studies on nutrition that aim to use alternative ingredients are viable ways to reduce feed costs and boost the species' production chain. The objective of this study was to evaluate, in two distinct trials, the effect of different carbohydrate sources and soluble fiber levels on tambaqui metabolism. In the first trial, the glycemic curve and intermediate metabolism of tambaqui were evaluated after the oral administration of glucose, fructose, sucrose, starch, and saline solution (control). A total of 300 juvenile tambaqui, with an average weight of 111.5 ± 49.8 g, were used. The fish were subjected to oral administration of the substances using the gavage method. Three fish per tank were collected at 0 (baseline), 3, 6, 9, and 12 hours after administration, from three tanks per tested substance. The experiment was conducted in a completely randomized design with 25 treatments and 3 replicates. Blood metabolites, lipid and glycogen deposition in the liver, and hepatic activity of key enzymes involved in carbohydrate, lipid, and glycogen metabolism were evaluated. The data obtained were subjected to analysis of variance (two-way ANOVA), followed by Tukey's test at 5% significance. The results demonstrated that tambaqui has a good ability to handle the tested sugar loads, showing an increase in plasma glucose concentrations at 3 hours and a reduction at 9 hours after administration. Additionally, there was an increase in glycolytic and lipogenic activity and a reduction in hepatic gluconeogenic activity 9 hours after sugar administration. In the second trial, the use of soluble fiber from passion fruit pulp in diets for this species was tested. A total of 280 juvenile tambaqui, with an average weight of 28 ± 0.69 g, were used. The fish were fed for 60 days with five diets containing different levels of inclusion of soluble fiber (SF) extracted from the residue of passion fruit pulp extraction (0, 0.5, 0.75, 1, and 1.5%). The treatments were distributed in a completely randomized design with 5 treatments and 4 replicates. Zootechnical performance, blood metabolites, hepatic glycogen and lipid deposition in muscle and liver, and hepatic activity of key lipid metabolism enzymes were evaluated. All data obtained were subjected to one-way ANOVA, followed by Tukey's test at 5% significance. This study observed that as SF inclusion increased up to 1.5%, there was an improvement in zootechnical performance, with increased weight gain and specific growth rate, followed by a reduction in feed conversion ratio. This

improvement was also observed in metabolism and fish composition. There was a reduction in hepatic lipogenic enzyme activity, associated with a decrease in serum, muscle, and hepatic lipids, along with an increase in hepatic glycogen deposition. It was concluded that soluble fiber can be a potential additive in tambaqui diets to improve performance and the final composition of the animals.

KEY-WORDS: alternative ingredients; metabolism; frugivorous fish.

INTRODUÇÃO GERAL

A piscicultura é um setor em constante crescimento em função do aumento da demanda por alimentos mais saudáveis e baratos. Consequentemente, a necessidade da utilização de dietas mais eficientes aumenta, e ocasiona a busca por ingredientes sustentáveis e viáveis. O custo de produção na piscicultura ainda é muito alto em função da utilização das rações comerciais (Costa et al., 2018).

Nas rações, as proteínas são os principais componentes, responsáveis pelo crescimento e manutenção dos tecidos, além da participação de várias funções fisiológicas (NRC, 2011). Porém, são hoje limitantes nas dietas, não somente em termos de custos, mas também de escassez de oferta, principalmente a farinha de peixe, recurso cada vez menos disponível em função da procura crescente. Da mesma forma, o farelo de soja, fonte de proteína vegetal amplamente utilizada em rações para peixes, tem seu valor comercial aumentado ao longo dos anos (Azaza et al., 2020).

Neste cenário, muitos esforços vêm sendo realizados para encontrar ingredientes não convencionais mais baratos para a produção de rações que atendam às exigências dos animais e que garantam a eficiência alimentar, boa saúde e bem-estar dos peixes, diminuindo a dependência de ingredientes convencionais de elevado valor comercial com consequente aumento das margens de receita para o produtor (Jarak et al., 2018).

O uso de carboidratos na alimentação de peixes vem ganhando destaque nas últimas décadas em função de sua facilidade de obtenção e baixo custo quando comparados aos alimentos de origem animal (Pedron et al., 2008). Os carboidratos são os principais constituintes das plantas e suas características nutritivas dependem de fatores como a sua natureza e composição físico-química (Pedron, 2006). São classificados em carboidratos estruturais (fibrosos) e não estruturais (polissacarídeos de reserva).

Os carboidratos de reserva são facilmente digeridos e absorvidos pelos peixes, podendo ser utilizados como fonte de energia. Já os polissacarídeos estruturais, popularmente conhecidos como fibras não podem ser hidrolisados pelas enzimas endógenas dos animais monogástricos (Montagne et al., 2003). No entanto, diversos estudos relatam que a utilização de fibras em dietas para peixes promove a modulação da microbiota intestinal, capaz de fermentar estes nutrientes

e formar ácidos graxos de cadeia curta, que podem ser utilizados como fonte de energia para as células intestinais, além de trazer diversos benefícios ao sistema digestivo, que resultam em melhora no desempenho e saúde dos animais (Adorian et al., 2016; Mombach et al., 2019).

As fibras podem ser obtidas em resíduos da agroindústria, como os resíduos do processamento de frutas que podem se tornar uma forma atrativa de redução dos custos das rações. Esses resíduos são hoje um problema para as agroindústrias, pois seu descarte indevido representa um risco ambiental. Estima-se que a extração da polpa e do suco de frutas resulte em torno de 30 a 40% de resíduos, gerando mais de 1,4 bilhões de toneladas por ano que são, na maioria das vezes, descartados de forma inadequada, gerando prejuízos ambientais e financeiros (Sinha e Tripathi, 2021). Entretanto, a reciclagem desses resíduos de polpa de fruta na alimentação de peixes, pode resultar em bom desempenho zootécnico, produtividade e bem-estar quando aplicado em níveis adequados (Prabu et al., 2017), além de estar atrelado ao descarte correto e reciclagem desses resíduos, atendendo os princípios de bioeconomia circular.

Os carboidratos amiláceos constituem a fonte mais barata de energia disponível e no geral, são utilizados de forma eficiente por peixes onívoros de águas quentes (Azaza et al., 2020) como o tambaqui, além de serem altamente disponíveis no mercado mundial e possuir composição relativamente estável (Couto et al., 2016). No entanto, algumas espécies são melhores adaptadas tanto no sistema digestivo, quanto em níveis metabólicos, a utilizar proteínas e lipídios como fonte de energia (Kamalam et al., 2017). Os peixes herbívoros e onívoros podem tolerar maior inclusão de carboidratos em sua dieta, já que se alimentam na natureza de diferentes conteúdos vegetais. O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é uma espécie onívora frugívora, que na natureza se alimenta de uma diversidade de frutos e sementes (VIDAL JUNIOR et al., 1998), desta forma, é possível que esta espécie faça bom aproveitamento destes nutrientes na dieta artificial.

Considerando a importância da cadeia produtiva do tambaqui (*C. macropomum*), atrelado a sua alimentação natural, a utilização de carboidratos amiláceos e fibrosos parecem ser uma alternativa prática de barateamento das rações para a espécie. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho zootécnico e metabolismo intermediário de tambaquis alimentados

com diferentes açúcares e com a fibra solúvel do resíduo da polpa do maracujá, visando preencher algumas lacunas sobre o seu aproveitamento pela espécie.

Conclusão

Com os dados obtidos no presente trabalho é possível concluir que a fibra solúvel do resíduo do maracujá influencia diretamente no metabolismo energético dos tambaquis quando incluída nas dietas em níveis de 1,0 a 1,5%, resultando em melhora no desempenho zootécnico dos animais e redução do metabolismo lipídico dos peixes, associada a aumento na deposição de reservas na forma de glicogênio hepático. Sabe-se que os efeitos metabólicos gerados estão intimamente ligados ao perfil de ácidos graxos gerados na fermentação pela microbiota intestinal dos peixes, sendo assim, estudos que relacionam a ação da microbiota intestinal em todas as vias do seu metabolismo intermediário são capazes de esclarecer a forma com que cada fração fibrosa atua nesses animais.

Referências bibliográficas

- ABID A.; DAVIES S.J.; WAINES P.; EMERY M.; CASTEX M.; GIOACCHINI G.; CARNEVALI O.; BICKERDIKE R.; ROMERO J.; MERRIFIELD D.L. Dietary synbiotic application modulates Atlantic salmon (*Salmo salar*) intestinal microbial communities and intestinal immunity. **Fish Shellfish Immun**, v. 35, p. 1948–1956, 2013.
- ADORIAN, T. J.; GOULART, F.G.; MOMBACH, P.I.; LOVATTO, N.M.; DALCIN, M.; MOLINARI, M.; LAZZARI, R.; SILVA, L.P. Effect of dietary fiber concentrates on the metabolism and indirect immune responses and indirect immune responses in silver catfish. **Animal Feed Science and Technology**, v. 215, p.124-132, 2016.
- ADORIAN TJ, MOMBACH PI, GOULART FR, LOUREIRO BB, PIANESSO D, SILVA LP. Dietary fiber in the nutrition of silver catfish: prebiotic or antinutrient? **Anim Feed Sci Technol**, v. 209, p. 167–173, 2015.
- ADORIAN, T.J.; MOMBACH, P.I.; PIANESSO, M.; LIMA, J.; SOARES, T.; LOEBENZ, L.; SILVA, L. P. Functional linseed fibres and their impacts on silver catfish (*Rhamdia quelen*) nutrition. **Aquaculture Nutrition**, p. 1647-1656, 2020.
- AHMADIFAR E, DAWOOD MAO, MOGHADAM MS, SHEIKHZADEH N, HOSEINIFAR SH, MUSTHAFA MS. Modulation of immune parameters and antioxidant defense in zebrafish (*Danio rerio*) using dietary apple cider vinegar. **Aquaculture**, v. 513, p. 734412, 2019.
- AKHTAR M.S.; TRIPATHI P.H.; PANDEY A.; CIJI A. Transgenerational effects of β -glucan on thermal tolerance, growth performance, and immune gene expression of endangered cyprinid *Tor putitora* progeny. **J Therm Biol**, v. 102, p. 103120, 2021.
- AOAC - Association Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis. 19.ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists International, 3000 p. 2012.
- BIANCHI, F.; DALL'ASTA, M.; DEL RIO, D.; MANGIA, A.; MUSCI, M.; SCAZZINA, F. Development of a headspace solid-phase microextraction gas chromatography–mass spectrometric method for the determination of short-chain fatty acids from intestinal fermentation. **Food Chemistry**, v.129, n.1, p.200-205, 2011.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. Water quality and pond soil analysis for aquaculture. **Auburn: Auburn University**, 1998.
- CELI, P.; COWIESON, A.J.; STEINERT, R.E.; KLUENTER, A.M.; VERLHAC, V. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. **Animal Feed and Science Technology**, v. 234, p. 88-100, 2017.

CHEN, J., LIANG, R. H., LIU, W., LI, T., LIU, M.C., WU, S. S., WANG, Z. J. Pectic-oligosaccharides prepared by dynamic high-pressure microfluidization and their in vitro fermentation properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 91, p. 175-182, 2013.

DAWOOD, M.; ALI, O.; ELSABAGH, M.; NOR AZRA, M.; DOAN, H.; KARI, Z.; SEWILAM, H. Fruit processing by-products in the aquafeed industry: A feasible strategy for aquaculture sustainability. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, 2022.

DAWOOD, M.A., KOSHIO, S. Recent advances in the role of probiotics and prebiotics in carp aquaculture: a review. **Aquaculture**, 454, 243-251, 2016.

DAWOOD, M. A. O., SHUNSUKE KOSHIO, S., FADL, S. E., AHMED, H. A., ASELY, A. E., ABDEL-DAIMF, M. M., ALKAHTANI, S. The modulatory effect of mannanoligosaccharide on oxidative status, selected immune parameters and tolerance against low salinity stress in red sea bream (*Pagrus major*). **Aquaculture Reports**, v.16, p.100, 2020.

DELZENNE, N.M., CANI, P.D., NEYRINCK, A.M. Prebiotics and lipid metabolism. In: Versalovic, J., Wilson, M. (Eds.), *Therapeutic Microbiology: Probiotics and Related Strategies*. ASM Press, Washington, DC, pp. 183-192, 2008.

DI, R., VAKKALANKA, M. S., ONUMPAI, C., CHAU, H. K., WHITE, A., RASTALL, R. A., YAM, K., HOTCHKISS, A. T. Pectic oligosaccharide structure-function relationships: Prebiotics, inhibitors of *Escherichia coli* O157:H7 adhesion and reduction of Shiga toxin cytotoxicity in HT29 cells. **Food Chemistry**, v. 227, p. 245-254, 2017.

DOAN HV, HOSEINIFAR SH, ELUMALAI P, TONGSIRI S, CHITMANAT C, JATURASITHA S, DOOLGINDACHBAPORN S. Effects of orange peels derived pectin on innate immune response, disease resistance and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured under indoor biofloc system. **Fish Shellfish Immunol.**, v. 80, p. 56-62, 2018.

FERREIRA, C.L.L. *Prébióticos e Probióticos – Atualização e Prospecção*, 1, 1-226). Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2012.

FLOCH, J. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **J. Biol. Chem.**, v. 226, p. 497-509, 1957.

FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. Nutriaqua - Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013.

GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M. Dietary modulation of the human colonie microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v.125, p.1401-1412, 1995.

GIRI, S.S.; JUN, J.W.; SUKUMARAN, V.; PARK, S.C. Dietary administration of banana (*Musa acuminata*) peel flour affects the growth, antioxidante status, cytokine responses, and disease susceptibility of rohu, *Labeo rohita*. **J Immunol Res.**, P. 4086591-4086511, 2016.

GÓMEZ, B.; GULLÓN, B.; REMOROZA, C.; SCHOLS, H.A.; PARAJÓ, J.C., ALONSO, J.L. Purification, characterization, and prebiotic Properties of pectic oligosaccharides from orange peel wastes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 9769-9782, 2014.

GÓMEZ, B.; GULLON, B.; YANEZ, R.; SCHOLS, H.; ALONSO, J.L. Prebiotic potential of pectins and pectic oligosaccharides derived from lemon peel wastes and sugar beet pulp: A comparative evaluation. **Journal of Functional Foods**, v. 20, p. 108-121, 2016.

GOULART, F.R.; ADORIAN, T.J.; LOVATTO, N.M.; LOUREIRO, B.B.; PIANESSO, D.; BARCELLOS, L.G.; KOAKOSKI, G.; SILVA, L.P. Effect of supplementation of dietary fibre concentrates on biochemical parameters, stress response, immune response and skin mucus of jundiá (*Rhamdia quelen*). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 375-382, 2018.

GOULART, F.R.; SILVA, L.P.; LOUREIRO, B.B.; ADORIAN, T.J.; MOMBACH, P. I.; PETKOWICZ, C.L.O. Effects of Dietary Fiber Concentrates on growth performance and digestive enzyme activities of jundiá (*Rhamdia quelen*). **Aquaculture Nutrition**, v. 23, p. 358-366, 2017.

GUERREIRO I.; ENES P.; MERRIFIELD D.; DAVIES S.; OLIVA-TELES A. Effects of short-chain fructooligosaccharides on growth performance and hepatic intermediary metabolism in turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at winter and summer temperatures. **Aquacult Nutr**, v. 21, p. 433-443, 2015.

GUERREIRO I.; ENES P.; OLIVA-TELES A. Effects of shortchain fructooligosaccharides (scFOS) and rearing temperature on growth performance and hepatic intermediary metabolism in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. **Fish Physiol Biochem**, v. 41, p.1333-1344, 2015.

GUERREIRO I.; OLIVA-TELES A.; ENES P. Improved glucose and lipid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed short-chain fructooligosaccharides and xylooligosaccharides. **Aquaculture**, v. 441, p.57-63, 2015.

GUERREIRO I.; SERRA C.R.; OLIVA-TELES A.; ENES P. Short communication: gut microbiota of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) is modulated by short-chain fructooligosaccharides and xylooligosaccharides. **Aquacult Int.**, v. 26, p. 279-288, 2018.

GUERREIRO, I., SERRA, C. R., POUSÃO-FERREIRA, P., OLIVA-TELES, A., ENES, A. Prebiotics effect on growth performance, hepatic intermediary metabolism, gut microbiota and digestive enzymes of White sea bream (*Diplodus sargus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 153-163, 2018.

GUERREIRO, I.; OLIVA-TELES, A.; ENES, P. Prebiotics as functional ingredients: focus on Mediterranean fish aquaculture. **Reviews in aquaculture**, v. 10, no. 4, p. 800-832, 2018.

GUERREIRO, I., ENES, P., & OLIVA-TELES, A. Effects of short chain fructooligosaccharides (scFOS) and rearing temperature on growth performance and hepatic intermediary metabolism in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. **Fish Physiology and Biochemistry**, 41, 1333-1344, 2015.

GUZMAN-VILLANUEVA L.T.; ASCENCIO-VALLE F.; MACIAS-RODRIGUEZ M.E.; TOVAR-RAMIREZ D. Effects of dietary β -1,3/1,6-glucan on the antioxidant and digestive enzyme activities of Pacific red snapper (*Lutjanus peru*) after exposure to lipopolysaccharides. **Fish Physiol Biochem.**, v. 40, p. 827-837, 2014.

HOSEINIFAR S.H.; HOSSEINI M.; PAKNEJAD H.; SAFARI R.; JAFARA.; YOUSEFI M.; VAN DOAN H.; TORFI MOZANZADEH M. Enhanced mucosal immune responses, immune related genes and growth performance in common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles fed dietary *Pediococcus acidilactici* MA18/5M and raffinose. **Dev Comp Immunol**, v. 94, p.59-65, 2019.

HOSSEINI S.M.; HOSEINIFAR S.H.; MAZANDARANI M.; PAKNEJAD H.; VAN DOAN H.; EL-HAROON E.R. The potential benefits of orange peels derived pectin on serum and skin mucus immune parameters, antioxidant defence and growth performance in common carp (*Cyprinus carpio*). **Fish Shellfish Immun.**, v. 103, p. 17-22, 2020.

JIANG H.; WANG M.; ZHENG Y.; CHEN F.; FU L.; ZHONG L.; CHEN X.; BIAN W. Dietary laminarin administration to enhance the immune responses, promote growing and strengthen physique in *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, p. 1181-1191, 2021.

LU, J.; QI, C.; LIMBU, S.M.; HAN, F.; YANG, L.; WANG, X.; QUIN, J.G.; CHEN, L. Dietary mannan oligosaccharide (MOS) improves growth performance, antioxidant capacity, non-specific immunity and intestinal histology of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*). **Aquaculture**, v. 510, p. 337-346, 2019.

MOMBACH, P.I.; ADORIAN, T.J.; GOULART, F.R.; MARTINELLI, S.G.; DALCIN, M.O.; VEIVERBERG, C.A.; SILVA, L.P.D. The effects of fermentable dietary fiber on performance and metabolism of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, 2021.

MORALES, A.E.; GARCIA, L.; HIGUERA, M. Influence of handling and/or anesthesia on stress response in rainbow-trout - effects on liver primary metabolism. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 95, p. 87-93, 1990.

MORALES-CONTRERAS, B.E.; WICKER, L.; ROSAS-FLORES, W.; CONTRERAS-ESQUIVEL, J.C.; GALLEGOS-INFANTE, J.A.; REYES-JAQUEZ, D.; MORALES-CASTRO, J. Apple pomace from variety “Blanca de Asturias” as sustainable source of pectin: Composition, rheological, and thermal properties. **LWT**, v. 117, p. 108641, 2020.

MOURA, F.A.; MACAGNAN, F.T.; PETKOWICZ, C.L.O.; SILVA, L.P. Partially hydrolyzed pectin extracted from passion fruit peel: Molar mass and

physicochemical properties. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 21, p. 1002–1006, 2020.

PERRY, S.F.; WALSH, P.J.; MOMMSEN, T.P.; MOON, T.W. Metabolic consequences of hypercapnia in the rainbow trout *Salmo gairdneri*: β -adrenergic effects. **General and Comparative Endocrinology**, v.69, p.439–447, 1988.

QIANG, X.; YONGLIE, C.; QIANBING, W. Health benefit application of functional oligosaccharides. **Carbohydr. Polym.**, v. 77, p. 435–441, 2009.

RAA, J. Immune modulation by non-digestible and non-absorbable beta-1, 3/1, 6-glucan. **Microb. Ecol. Health Dis.**, v. 26, p. 27824, 2015.

RAMOS L.R.V.; ROMANO L.A.; MONSERRAT J.M.; ABREU P.C.; VERDE P.E.; TESSER M.B. Biological responses in mullet *Mugil liza* juveniles fed with guar gum supplemented diets. **Anim Feed Sci Tech.**, v. 205, p. 98–106, 2015.

REINHOLD, J.G. Manual determination of serum total protein, albumin and globulin fraction by Biuret method. In: REINER, M. (Ed) Standart method of clinical chemistry, Academic Press, Ney work, 88p., 1953.

ROBERFROID, M.; GIBSON, G.R.; HOYLES, L.; MCCARTNEY, A.L.; RASTALL, R.; ROWLAND, I.; WOLVERS, D.; WATZL, B.; SZAJEWSKA, H.; STAHL, B.; GUARNER, F.; RESPONDEK, F.; WHELAN, K.; COXAM, V.; DAVICCO, M.J.; LEOTOING, L.; WITTRANT, Y.; DELZENNE, N.M.; CANI, P.D.; NEYRINCK, A.M.; MEHEUST, A., Prebiotic effects: metabolic and health benefits. **Br. J. Nutr.**, v. 104, S1–S63, 2010.

SATIRO, T. M.; CARLI, G. C.; AMORIM, J. A.; KOCH, J. F. A.; ZANUZZO, F. S.; TAKAHASHI, L. S. Dietary β -glucan ameliorates metabolic stress caused by a high dietary carbohydrate level in Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 579, p. 740186, 2024.

SECCI, G., PARISI, G. From farm to fork: lipid oxidation in fish products. A review. Ital. **J. Anim. Sci.**, v. 15, p. 124–136, 2016.

SILVA, A.F.; COPATTI, C.E.; OLIVEIRA, E.P.; BONFÁ, H.C.; MELO, F.V.S.T.; CAMARGO, A.C.S.; MELO, J.F.B. Effects of whole banana meal inclusion as replacement for corn meal on digestibility, growth performance, haematological and biochemical variables in practical diets for tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture Reports**, v. 17, p. 100307, 2020.

SYED RAFFIC ALI, S.; AMBASANKAR, K.; PRAVEENA, P.E.; NANDAKUMAR, S.; SAIYAD MUSTHAFA, M. Effect of dietary prebiotic inulin on histology, immuno-haematological and biochemical parameters of Asian seabass (*Lates calcarifer*). **Aquaculture Research**, v. 49, p. 2732–2740, 2018.

WANG, T.; ZHANG, N.; YU, X.; QIAO, F.; CHEN, L.; DU, Z.; ZHANG, M. Inulin alleviates adverse metabolic syndrome and regulates intestinal microbiota composition in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with high-carbohydrate diet. **Brit J Nutr**, v. 126, p. 161–171, 2021.

WANG, C.A.; XU, Z.; LU, S.; JIANG, H.; LI, J.; WANG, L.; FAN, Z.; WU, D.; ZHANG, Y.; HAN, S.; LIU, Y.; LIU, H.; LI, Z. Effects of dietary xylooligosaccharide on growth, digestive enzymes activity, intestinal morphology, and the expression of inflammatory cytokines and tight junctions genes in triploid *Oncorhynchus mykiss* fed a low fishmeal diet. **Aquaculture Reports**, v. 22, p. 100941, 2022.

WANG, E.; CHEN, X.; LIU, T.; WANG, K. Effect of dietary *Ficus carica* polysaccharides on the growth performance, innate immune response and survival of crucian carp against *Aeromonas hydrophila* infection. **Fish Shellfish Immun**, v. 120, p. 434-440, 2022.

WENZEL, G. E. *Carboidratos nutracêuticos e/ou prebióticos*. São Leopoldo, RS: Ed. Unisinos. 1p, 2012.

XU, G.; XING, W.; LI, T.; MA, Z.; LIU, C.; JIANG, N.; LUO, L. Effects of dietary raffinose on growth, non-specific immunity, intestinal morphology and microbiome of juvenile hybrid sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt ♀ × *A. schrenckii* Brandt ♂). **Fish Shellfish Immun**, v. 72, p. 237-246, 2018.

ZHENG, Q.; WU, Y.; XU, H. Effect of dietary oxidized konjac glucomannan on *Schizothorax prenanti* growth performance, body composition, intestinal morphology and intestinal microflora. **Fish Physiol Biochem**, v. 41, p. 733-743, 2015.