

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 30/01/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Efeitos da relação entre carboidrato e lipídio
em respostas fisiológicas em juvenis de pacu
(*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887)**

Allan Emilio Piedade
Engenheiro de Aquicultura

Jaboticabal, São Paulo

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Efeitos da relação entre carboidrato e lipídio
em respostas fisiológicas em juvenis de pacu
(*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887)**

Allan Emilio Piedade

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elisabeth Criscuolo Urbinati

Dissertação apresentada ao programa
de Pós-graduação em Aquicultura do
Centro de Aquicultura da UNESP –
CAUNESP, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre.

Jaboticabal, São Paulo

2021

Piedade, Allan Emilio
P613e Efeitos da relação entre carboidrato e lipídio em respostas fisiológicas em juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887) / Allan Emilio Piedade. – – Jaboticabal, 2021
viii, 75 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2021

Orientadora: Elisabeth Criscuolo Urbinati

Banca examinadora: Leonardo Sussumu Takahashi, Manuel Vazquez Vidal Junior

Bibliografia

1. . Aquicultura. 2. Estresse. 3. Fisiologia. 4. Nutrição. 5. *Piaractus mesopotamicus*. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.043



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



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeitos da relação entre carboidrato e lipídio em respostas fisiológicas em juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887)

AUTOR: ALLAN EMILIO PIEDADE

ORIENTADORA: ELISABETH CRISCUOLO URBINATI

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

Prof. Dra. ELISABETH CRISCUOLO URBINATI (Participação Virtual)

Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP – Jaboticabal

Prof. Dr. LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI (Participação Virtual)

Departamento de Produção Animal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena – UNESP

Prof. Dr. MANUEL VAZQUEZ VIDAL JÚNIOR (Participação Virtual)

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes-RJ

Jaboticabal, 30 de julho de 2021

Centro de Aquicultura da Unesp
Coordenação do Programa de Pós-Graduação
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 Jaboticabal SP Brasil
Tel 55 16 32032110 ramal 214 fax 55 16 32032268
pgaqui@caunesp.unesp.br www.caunesp.unesp.br

Dedicatória

*Dedico esse trabalho à toda minha família, minha companheira de vida, meus amigos
e a todos os professores que sempre me incentivaram e acreditaram em meu
potencial!!!*

EPÍGRAFE

*Demore o tempo que for para decidir o que você quer da vida, e depois que decidir
não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo tentará te dissuadir.*

Friedrich Nietzch

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Profa. Elisabeth C. Urbinati pela orientação, carinho, confiança, cuidado e por sempre acreditar e me incentivar a ser melhor. Te admiro muito e fico lisonjeado em ter tido a oportunidade de ser seu orientado.

À toda minha família, em especial a minha mãe Maria Emilio, meu irmão Lucas Emilio e ao meu pai Cláudio Martins Piedade por sempre acreditarem em meu potencial, e mesmo sentindo saudade por conta da distância sempre me incentivaram em meus objetivos profissionais.

Aos meus tios, tias, primos e primas que também sempre me incentivaram e me deram todo o apoio necessário para minha jornada acadêmica e profissional, vocês também fazem parte dessa conquista.

À minha companheira de vida, Kétuly da Silva Ataides, por toda a cumplicidade e incentivo que recebi desde o dia que nos conhecemos. Saiba que te admiro muito como pessoa e como profissional, aprendo todos os dias contigo. Obrigado por fazer parte da minha vida, e juntos formamos o casal aquicultura, como alguns dizem rsrs.

A todos os meus amigos, tanto os mais antigos quanto os que ganhei durante minha estadia em Jaboticabal Em especial ao Rubens e ao Evandro, que além de me ajudarem em minha caminhada acadêmica, também foram peças chaves para que minha estadia em Jaboticabal fosse marcante para o resto da vida. A todos os membros do LAFIPE pela condução e finalização do experimento, e pelas risadas e parceria que sempre tive, em especial a Mari e Aurea.

Um agradecimento especial à Damares Perecim, sabia que a senhora é peça chave no Laboratório de Fisiologia de Peixes. Obrigado por todo apoio e risadas durante o período do estágio e do mestrado, gosto muito de você!

A todos os funcionários do Centro de Aquicultura da Unesp, em especial ao Valdecir e ao Márcio por sempre estarem à disposição quando precisamos.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado, possibilitando desta maneira a execução do estudo.

APOIO FINANCEIRO

CNPq, Bolsa de Mestrado, Processo nº 130868/2019-1.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	3
1.1. Situação e perspectiva da aquicultura mundial e brasileira	3
1.2. Carboidrato na nutrição de peixes.....	4
1.3. Estresse em peixes.....	8
1.4. Sistema imune dos peixes	11
1.4.1. Sistema imune inato.....	11
1.4.2. Sistema imune adquirido	13
1.5. Estresse oxidativo e sistema antioxidante	14
1.6. Modelo biológico	17
Objetivo Geral	18
Objetivos específicos.....	18
Desempenho zootécnico e respostas fisiológicas em juvenis de pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) alimentados com diferentes relações de carboidrato e lipídio submetidos ao estresse de manejo	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT	32
1. INTRODUÇÃO	33
2. MATERIAIS E MÉTODOS	34
2.1. Animais experimentais e protocolo experimental	34
2.2. Amostras	35
2.3. Dietas experimentais.....	36
2.4. Análises.....	37
2.4.1. Concentrações plasmáticas de glicose e cortisol.....	37
2.4.2. Concentrações sanguíneas de biomarcadores metabólicos	38
2.4.3. Análises imunológicas.....	38
2.4.4. Desempenho zootécnico.....	39
2.4.5. Análises estatísticas	39
3. RESULTADOS	40
3.1. Desempenho zootécnico	40
3.2. Indicadores de estresse.....	42
3.3. Indicadores metabólicos	43
3.3.1. Indicadores sanguíneos.....	43
3.3.2. Indicadores teciduais	44
3.3.3. Índices morfo-somáticos	45

3.4. Indicadores imunológicos	46
3.4.1. Atividade respiratória dos leucócitos (ARL) e concentrações séricas de lisozima	46
4. DISCUSSÃO	47
5. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	50
Sistema antioxidante e estresse oxidativo em juvenis de pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) alimentados com diferentes relações de carboidrato e lipídio sob duas condições de estresse.....	55
RESUMO.....	55
ABSTRACT	56
1. INTRODUÇÃO	57
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
2.1. Animais e delineamento experimental.....	58
2.2. Amostragens.....	59
2.3. Dietas experimentais	59
2.4. Análises.....	61
2.4.1. Indicador metabólico	61
2.4.2. Indicadores do sistema antioxidante e estresse oxidativo.....	61
Atividade das enzimas.....	61
Concentração de GSH (glutathiona reduzida).....	62
Lipoperoxidação lipídica.....	62
2.5. Análise estatística.....	62
3. RESULTADOS.....	63
3.1. Indicador metabólico.....	63
3.2 Sistema antioxidante/Estresse oxidativo.....	64
4. DISCUSSÃO	68
5. CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	71

RESUMO

O presente estudo investigou o efeito da relação de carboidrato e lipídio (CHO:LIP) no desempenho zootécnico e nas respostas fisiológicas de juvenis de pacu expostos a dois estressores comuns na aquicultura, estresse agudo (exposição aérea) e estresse crônico (perseguição diária com puçá por 21 dias). Foram avaliados indicadores de estresse (cortisol e glicose plasmáticos), indicadores metabólicos (triglicerídeos, colesterol, proteína total, glicogênio hepático e índices hepatossomático e gorduro-viscerossomático), indicadores do sistema imune inato (atividade respiratória de leucócitos e concentrações séricas de lisozima) e avaliado o sistema antioxidante/estresse oxidativo (catalase, CAT; superóxido dismutase, SOD; glutathione peroxidase, GPx; glutathione s-transferase, GST; glutathione reduzida, GSH e lipoperoxidação lipídica, LPO). Os peixes foram alimentados durante 21 dias com três dietas experimentais: CHO_{25,6}:LIP₁₁ (2,33), CHO_{35,4}:LIP_{9,4} (3,77) e CHO₄₅:LIP₆ (7,50), sendo um grupo sem manejo estressor e outro exposto a manejo diário. Ao final do período, os dois grupos passaram por um estressor agudo (exposição aérea de 4 min) e amostrados antes do manejo (basal), 1, 3 e 24 horas depois. A glicose plasmática foi modulada pela relação CHO:LIP, apresentando os maiores níveis nas dietas 3,77 e 7,50, sendo os maiores níveis observados no grupo exposto ao estressor agudo (1, 3 e 24 horas). Os triglicerídeos plasmáticos reduziram às 24 horas nas dietas 3,77 e 7,50; e a dieta 2,33 teve a maior concentração quando comparada com as dietas 3,77 e 7,50. As dietas contendo maiores relação de CHO:LIP apresentaram maiores valores de glicogênio hepático e do IHS. A condição de estresse crônico impactou de forma negativa a concentração de lisozima sérica durante o período experimental. Concluindo, a dieta 7,50 promoveu o melhor desempenho, e as diferentes relações de CHO:LIP não afetaram a resposta de estresse e nem as respostas imunológicas após alimentação durante 21 dias. O estresse crônico prejudicou o desempenho e a capacidade de resposta do sistema imune inato. A atividade da SOD diminuiu 24 horas após exposição aérea. A GSH diminuiu após a exposição ao estressor nos peixes das dietas 2,33 e 3,77 e aumentou na dieta 7,50. A LPO foi menor nos peixes que receberam a dieta 7,50. A dieta 7,50 promoveu maior crescimento e menor LPO, além de aumentar as concentrações de GSH no fígado, demonstrando que o pacu aproveita de forma eficiente o carboidrato sem que haja prejuízo em suas respostas fisiológicas.

Palavras chaves: aquicultura, nutrição, estresse, fisiologia, *Piaractus mesopotamicus*.

ABSTRACT

The present study assessed the effect of the CHO:LIP ratio on growth performance, and physiological responses in juvenile pacu exposed to two common stressors in aquaculture, acute stress (air exposure) and chronic stress (daily chasing with net for 21 days). Stress (plasma cortisol and glucose), metabolic (triglycerides, cholesterol, total protein, hepatic glycogen and hepatosomatic and viscerosomatic indices), innate immune system (respiratory activity of leukocytes and serum concentrations of lysozyme) biomarkers were evaluated and antioxidant indicators (catalase, CAT; superoxide dismutase, SOD; glutathione peroxidase, GPx; glutathione s-transferase, GST; reduced glutathione, GSH and lipid lipoperoxidation, LPO) in liver. Fish were fed for 21 days with three diets: CHO25.6:LIP11 (2.33), CHO35.4:LIP9.4 (3.77) and CHO45:LIP6 (7.50), being an unhandled group and another exposed to daily chasing. At the end of the period, both groups were exposed to an acute stressor (4 min air exposure) and sampled before exposure (baseline), 1, 3 and 24 hours later. Plasma glucose was modulated by the CHO:LIP ratio, showing the highest levels in diets 3.77 and 7.50, with the highest levels observed in the group acutely stressed (1, 3 and 24 hours). Plasma triglyceride reduced at 24 hours in fish fed with diets 3.77 and 7.50; fish from diet 2.33 had the highest concentration when compared to diets 3.77 and 7.50. Fish from diets containing higher CHO:LIP ratio had higher liver glycogen and HSI values. The chronic handling negatively impacted the serum lysozyme concentration. In conclusion, the 7.50 diet promoted the best growth performance, and the different CHO:LIP ratios did not affect the stress or immune responses after feeding for 21 days. Chronic stress impaired the growth performance and responsiveness of the innate immune system. SOD activity decreased 24 h after air exposure and GSH decreased after exposure to the stressor in fish fed with diets 2.33 and 3.77 and increased in those fed with diet 7.50. LPO was lower in fish that received the 7.50 diet. In conclusion, the 7.50 diet promoted the best growth performance, lower LPO and increasing the concentrations of GSH in the liver, demonstrating that pacu efficiently uses carbohydrate without harming its physiological responses.

Keywords: aquaculture, nutrition, stress, physiology, *Piaractus mesopotamicus*.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Situação e perspectiva da aquicultura mundial e brasileira

A produção mundial de pescado foi de 114,5 milhões de toneladas em 2018, sendo a aquicultura responsável por 46% do total produzido, correspondendo a uma receita de USD 263,6 bilhões. Com a estagnação da pesca, desde 1980, a aquicultura tem suprido de forma contínua o expressivo aumento da demanda por pescado para consumo humano. Entre 1961 e 2017, o crescimento médio anual do consumo de pescado foi de 3,1 %, ultrapassando o crescimento populacional (1,6 %) e excedendo o da carne de todos os animais terrestres somados, que foi de 2,7 %. Em termos per capita, o aumento anual do consumo de pescado foi de 1,5 %, passando de 9 kg em 1961 para 20,5 kg em 2018 (FAO, 2020). Esses dados reforçam o potencial de crescimento da aquicultura, atividade que se for realizada de forma racional e respeitando os princípios de sustentabilidade é e será uma grande ferramenta de combate à fome mundial.

Acompanhando a tendência global, o Brasil teve um aumento de 3,4 % entre 2017 e 2018 segundo dados do IBGE e de 4,9 % segundo o anuário da Peixe BR entre 2018 e 2019, alcançando um total de 758 mil toneladas (IBGE, 2018; Peixe BR, 2020). Alguns fatores foram e ainda são importantes para que a aquicultura continue se desenvolvendo de forma satisfatória, como por exemplo o investimento em pesquisas, diferentes sistemas de produção e a intensificação da produção, que aliados às condições geográficas, climáticas e biológicas favoráveis possibilitam o crescimento da atividade no Brasil. Em contrapartida, a intensificação dos sistemas de produção normalmente impõe aos peixes condições estressoras, fazendo com que os mesmos fiquem susceptíveis à patógenos oportunistas, uma vez são estocados em altas densidades e passam por inúmeros manejos físicos e condições ambientais alteradas, sendo esse um dos fatores limitantes na produção aquícola (Barton et al., 2002). Outro fator limitante na produção de peixes é o custo com a ração, que dependendo do sistema de produção pode chegar a 70% do custo total, sendo a proteína o ingrediente mais oneroso da dieta. Os carboidratos são ingredientes energéticos de baixo custo que podem ser utilizados em substituição a proteína, reduzindo desta forma o custo de produção (Stone, 2003; Kamalam et al., 2017).

5. CONCLUSÃO

A CHO:LIP 7,50 mostrou efeito protetor do sistema antioxidante, reduzindo a lipoperoxidação lipídica e aumentando as concentrações de GSH no fígado de juvenis de pacu após exposição aérea. As enzimas CAT, SOD, GPx e GST não apresentaram alterações, indicando que a inclusão de até 45% de carboidratos não afeta de forma negativa a proteção antioxidante de juvenis de pacu. O presente estudo sugere o desenvolvimento de dietas sustentáveis e adequadas para o pacu (maiores níveis de carboidrato dietético do que as rações comerciais), visto que a espécie possui excelente capacidade de aproveitar fontes não proteicas para geração de energia, poupando desta maneira a proteína para crescimento muscular, sem que haja desequilíbrio redox.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABIMORAD, E. G., CARNEIRO, D. J., URBINATI, E. C. Growth and metabolism of pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887) juveniles fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Aquaculture Research*, v.38, p.36–44, 2007.

AEBI, H. Catalase in Vitro. *Methods in Enzymology*, v. 105, p. 121-126, 1984.

ANAND, G., BHAT, I. A., VARGHESE, T., DAR. S. A., SAHU, N. P. AKLAKUR, M. D., KUMAR, S., SAHOO, S. Alterations in non-specific immune responses, antioxidant capacities and expression levels of immunity genes in *Labeo rohita* fed with graded level of carbohydrates. *Aquaculture*, v. 483, p. 76 – 83, 2018.

BARTON, B. A. Stress in Fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, v. 3, p. 517-525, 2002.

BEUTLER, E., DUROM, O., KELLY, B. M. Improved method for the determination of blood glutathione. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, v. 61, p. 882-890, 1963.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v.72, p. 248-254, 1976.

CAMEJO, G., WALLIN, B., ENOJÄRVI, M. Analysis of oxidation and antioxidants using microtiter plates. *Methods in Molecular Biology*, v. 108, p. 377- 387, 1998.

CASTRO, C., DIÓGENES, A. F., COUTINHO, F., PANSERAT, S., CORRAZE, G., PÉREZ-JIMÉNEZ, A., PERES, H., OLIVA-TELES, A. Liver and intestine oxidative status of gilthead sea bream fed vegetable oil and carbohydrate rich diets. *Aquaculture*, v. 464, p. 665 – 672, 2016.

CHOWDHURY, S., SAIKIA, S. K. Oxidative Stress in Fish: A Review. *Journal of Scientific Research*, v. 12, p. 145-160, 2020.

CLOTFELTER E. D., LAPIDUS S. J. H., BROWN A. C. The effects of temperature and dissolved oxygen on antioxidant defences and oxidative damage in the fathead minnow *Pimephales promelas*. *Journal Fish Biology*, v. 82, p. 1086–1092, 2013.

COUTINHO, J. J. O., NEIRA, L. M., SANDRE, L. C. G., DA COSTA, J. I., MARTINS, M. I. E. G., PORTELLA, M. C., CARNEIRO, D. J. Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. *Aquaculture*, v.497, p. 520-525, 2018.

EISSA, N., WANG, H. P., YAO, H., SHEN, Z. G., SHAHEEN, A. A., ABOU-ELGHEIT, E. N. Expression of Hsp70, Igf1, and three oxidative stress biomarkers in response to handling and salt treatment at different water temperatures in yellow perch, *Perca flavescens*. *Frontiers in Physiology*, v. 8, p. 683, 2017.

ELABD, H., WANG H. P., SHAHEEN, A., YAO, H., ABBASS, A. Antioxidative effects of some dietary supplements on Yellow perch (*Perca flavescens*) exposed to different physical stressors. *Aquaculture Reports*, v.8, p.21–30, 2017.

FARIA, F. P., MARTINEZ, C. B. R., TAKAHASHI, L. S., MELLO, M. M. M., MARTINS, T. P., URBINATI, E. C. Stress and modulation of the innate immune and antioxidant responses by cortisol in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 47, p. 895-905, 2021.

FILICIOTTO, F., CECCHINI, S., BUSCAINO, G., MAC CARRONE, V., PICCIONE, G., FAZIO, F. Impact of aquatic acoustic noise on oxidative status and some immune parameters in gilthead sea bream *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758) juveniles. *Aquaculture Research*, v. 48, p. 1895–1903, 2017.

HAFEMAN, D. G., SUNDE, R. A., HOEKSTRA, W. C. Effect of dietary selenium on erythrocyte and liver glutathione peroxidase in the rat. *Journal of Nutrition*, v. 104, p.580-587, 1974.

HEMRE, G. I., MOMMSEN, T. P., KROGDAHL, Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquaculture Nutrition*, v. 8, p. 175-194, 2002.

HERRARA, M., MANCERA, J. M., COSTAS, B. The use of dietary additives in fish stress mitigation: Comparative endocrine and physiological responses. *Frontiers in Endocrinology*, v. 10, p. 447, 2019.

HILTON, J. W., PLISETSKAYA, E. M., LEATHERLAND, J. F. Does oral 3,5,3 α -triiodo-L-thyronine affect dietary glucose utilization and plasma insulin levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 4, p. 113 - 120, 1987.

KAMALAM, B. S., MEDALE, F., PANSERAT, S. Utilisation of dietary carbohydrates in farmed fishes: New insights on influencing factors, biological limitations and future strategies. *Aquaculture*, v. 467, p. 3-27, 2017.

KEEN, J. H., HABIG, W. H., JAKOBY, W. B. Mechanism of the several activities of the glutathione S-transferases. *The Journal of Biological Chemistry*, v. 251, p. 6183-6188, 1976.

LUSHCHAK, V. I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, v. 101, p. 13–30, 2011.

MA, H. J., MOU, M. M., PU, D. C., LIN, S. M., CHEN, Y. J., LUO, L. Effect of dietary starch level on growth metabolism enzyme and oxidative status of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Aquaculture*, v. 498, p. 482-487, 2019.

MCCORD, J. E., FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte hemoglobin (hemocuprein). *Journal of Biology and Chemistry*, v.244, p. 6049- 6055, 1969.

NEYRÃO, I. M., BILLER, J. D., TAKAHASHI, L. S., URBINATI, E. C. Modulation of immunity and hepatic antioxidant defense by corticosteroids in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, v. 260, p. 111-125, 2021.

NIMSE S. B, PAL D. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, v. 5, p. 27986–28006, 2005.

NIMSE S. B, PAL, D. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances* v.5, p. 27986–28006, 2015.

PÉREZ-JIMÉNEZ, A., ALBELLÁN, E., ERIZCUN, M., CARDENETE, G., MORALES, A. E., HIDALGO, M. C. Dietary carbohydrates improve oxidative status of

common dentex (*Dentex dentex*) juveniles, a carnivorous fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 203, p. 17-23, 2017.

PINTO, D., PELLEGRIN, L., NITZ, L. F., DA COSTA, S. T., MONSERRAT, J. M., GARCIA, L. Haematological and oxidative stress responses in *Piaractus mesopotamicus* under temperature variations in water. *Aquaculture Research*, v.1, p. 1-11, 2019.

ROSTAGNO, H. S., ALBINO, F. L. T., HANNAS, M. I., SAKOMURA, N. K., PERAZZO, F. G., SARAIVA, A., TEIXEIRA, M. L., RODRIGUES, P. B., OLIVEIRA, R. F., BARRETO, S. L. T., BRITO, C. O. Tabelas brasileiras para aves e suínos [composição de alimento e exigências nutricionais]. 4. Ed. – Viçosa: Departamento de Zootecnia, UFV, 2017.

SARANGARAJAN, R., MEERA, S., RUKKUMANI, R., SANKAR, P., ANURADHA, G. Antioxidants: friend or foe? *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, v.10, p. 1111–1116, 2017.

SCHIEBER, M., CHANDEL, N. S. ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current Biology*, v.24, p.453–462, 2014.

SCHRECK C. B., TORT L. The Concept of Stress in fish. In: SCHRECK C. B., TORT L., FARRELL A. P., BRAUNER C. J. *Biology of Stress in Fish*. London: Academic Press p. 1–34, 2016.

STONE, D. A. J. Dietary carbohydrate utilization by fish. *Reviews in Fisheries Science* v. 11, p. 337-369, 2003.

TAKAHASHI, L. S., HA, N., PEREIRA, M. P., BILLER-TAKAHASHI, J. D., URBINATI, E. C. Carbohydrate tolerance in the fruit-eating fish *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Aquaculture Research*, v. 49, p. 1182-1188, 2018.

TORT, L. Stress and immune modulation in fish. *Developmental and Comparative Immunology*, v. 35, p. 1366–1375, 2011.

URBINATI, E. C., ZANUZZO, F. S., BILLER-TAKAHASHI, J. D. Stress and imune system in fish. *Biology and Physiology of Freshwater Neotropical Fish*. Ed., Elsevier, Academic Press. Amsterdam. p .93-114, 2020.

VALLADÃO, G. M. R., GALLANI, S. U., PILARSKI, F. South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, v. 10, p. 351-369, 2018.

WENDELAAR BONGA, S. E. The stress response in fish. *Physiological Reviews*, v. 77, p. 591-625, 1997.

WU, C. L., YE, J. Y., GAO, J. E., CHEN, L., LU, Z. B. The effect of dietary carbohydrate on the growth, antioxidant capacities, innate immune responses and pathogen resistance of juveniles Black carp *Mylopharyngodon piceus*. *Fish and Shellfish Immunology*, v. 49, p. 132-142, 2016.

ZHANG, Y., WONG, H. S. Are mitochondria the main contributor of reactive oxygen species in cells? *Journal of Experimental Biology*, v. 224, p. 1-9, 2021.

ZHOU, C., GE, X., LIN, H., NIU, J. Effect of dietary carbohydrate on non-specific immune response, hepatic antioxidative abilities and disease resistance of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Fish and Shellfish Immunology*, v. 41, p. 183 – 190, 2014.

ZHOU, C., LIU, B., GE, X., XIE, J., XU, P. Effect of dietary carbohydrate on the growth performance, immune response, hepatic antioxidant abilities and heat shock protein 70 expression of Wuchang bream, *Megalobrama amblycephala*. *Journal Applied Ichthyology*, v. 29, p. 1348-1356, 2013.