

GIOVANA SOUZA BRANCO

**CARACTERIZAÇÃO DA DIFERENCIAÇÃO CELULAR DURANTE A
MORFOGÊNESE DA HIPÓFISE EM *Astyanax altiparanae* GARUTTI &
BRITSKI 2000**

Dissertação apresentada ao Departamento de
Biologia Celular e do Desenvolvimento do
Instituto de Ciências Biomédicas da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
Título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Biologia Celular e
Tecidual

Orientadora: Profa. Dra. Maria Inês Borella

Versão corrigida. A versão original eletrônica
encontra-se disponível tanto na Biblioteca do
ICB quanto na Biblioteca Digital de Teses e
Dissertações da USP (BDTD)

São Paulo
2015

RESUMO

Branco GS. Caracterização da diferenciação celular durante a morfogênese da hipófise em *Astyanax altiparanae* (GARUTTI & BRITSKI, 2000). [dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Tecidual)]. São Paulo: Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo; 2015.

Astyanax altiparanae é uma espécie neotropical brasileira pertencente à Ordem Characiformes. É importante econômica e comercialmente, sendo amplamente distribuída na Bacia do Rio Paraná. No presente estudo, foi realizada uma reprodução seminatural de *A. altiparanae* a fim de obter larvas e juvenis. Após 18,5 horas de desenvolvimento embrionário ocorreu a eclosão e as amostras foram coletadas e fixadas do momento da eclosão até 120 dias após a eclosão (dpe). Por meio de técnicas de histoquímica e imuno-histoquímica, a hipófise de *A. altiparanae*, composta por dois tecidos, a neuro-hipófise (NH) e a adeno-hipófise (AH), foi localizada ventralmente ao encéfalo e nele conectada por meio do pedúnculo hipofisário (PH). Na AH foram distinguidos oito tipos celulares, sendo que na *rostral pars distalis* (RPD) foram detectadas as células adrenocorticotrópicas (ACTH) e prolactínicas (PRL); na *proximal pars distalis* (PPD) as células gonadotrópicas (GTH), sendo as produtoras de hormônios folículo estimulante (FSH) e luteinizante (LH), as somatotrópicas (GH) e as tireotrópicas (TSH); e na *pars intermedia* (PI), as células melanotrópicas (MSH) e somatolactínicas (SL). As primeiras células identificadas foram as PRL, detectadas com 1 dpe no início da formação da glândula. A NH foi diferenciada com 3 dpe juntamente com a identificação das células produtoras de ACTH, MSH, TSH e FSH. A identificação das células imunorreativas aos anticorpos anti-LH, anti-SL e anti-GH foi possível com 5 dpe. Com 20 dpe houve um grande aumento da hipófise e foi observada a presença do PH. Com 60 dpe a hipófise apresentou morfologia semelhante à observada nos adultos. Os resultados desta pesquisa colaboram com o entendimento da morfogênese do eixo hipotálamo-hipófise-gônada em teleósteos sul-americanos.

Palavras-chave: *Astyanax altiparanae*. Peixe teleósteo. Hipófise. Ontogenia. Histologia. Imuno-histoquímica.

ABSTRACT

Branco GS. Characterization of cell differentiation during morphogenesis in the pituitary gland *Astyanax altiparanae* (GARUTTI & BRITSKI, 2000). [Masters thesis (Cell and Tissue Biology)]. São Paulo: Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo; 2015.

Astyanax altiparanae is an important economic and commercial Neotropical Brazilian species; it belongs to the Characiformes Order, and is largely distributed in the Parana River Basin. In the present study, a semi natural reproduction of *A. altiparanae* was made to obtain larvae and juveniles. Larvae hatched after 18.5 hours of embryonic development, and the specimens were collected and fixed from zero to 120 days post hatching (dph). By histochemical and immunohistochemical techniques, the pituitary gland of *A. altiparanae* was found ventrally in the brain, and connected there by means of a pituitary stalk. The pituitary gland is formed by two tissues, the neurohypophysis (NH) and the adenohypophysis (AH). In the AH, eight cell types are distinguished. In *rostral pars distalis* (RPD), prolactin (PRL) and adrenocorticotrophic (ACTH) cells are present. In *proximal pars distalis* (PPD), gonadotropic (GTH) cells, as follicle stimulant (FSH) and luteinizing (LH) hormone cells, somatotrope (GH) and thyrotropic (TSH) cells are detected; and in *pars intermedia* (PI), somatolactin (SL) and melanotropic (MSH) cells are found. The first cells identified were PRL, at 1dph, in the beginning of the formation of the gland. NH differentiated at 3 dph along with the identification of ACTH, MSH, TSH and FSH producing cells. The identification of immunoreactive cells to antibodies anti-LH, anti-SL and anti-GH was possible at 5 dph. At 30 dph, the pituitary stalk was present, and pituitary was largely increased. At 60 dph the pituitary showed a similar morphology to that observed in adults of this species. The results of this research collaborate to the knowledge of morphogenesis of the hypothalamic-pituitary-gonadal axis in South American teleosts.

Keywords: *Astyanax altiparanae*. Teleost fish. Pituitary gland. Ontogeny. Histology. Immunohistochemistry

1 INTRODUÇÃO

Os peixes compreendem cerca de 50% dos vertebrados com quase 30.000 espécies descritas, sendo que 96% são teleósteos e ocupam os mais diversos ambientes aquáticos, sejam eles marinhos (59%) ou de água doce (41%) (NAKATANI et al., 2001; VAZZOLER, 1996).

Em ambientes naturais, os peixes reproduzem naturalmente com o objetivo de produzir um grande número de prole. Para isso, a regulação do comportamento reprodutivo e desova em peixes dependem de sinais ambientais, ou seja, condições favoráveis que juntamente com fatores hormonais traduzem esses mecanismos em mensageiros químicos, que funcionam para ativar e manter os órgãos reprodutivos (CHAKRABARTI, CHOUDHURY, 2015).

Todas as funções reprodutivas ocorrem no sentido de manter a capacidade renovadora da população, sendo que o potencial reprodutivo depende do sucesso da desova, do equilíbrio estrutural do estoque reprodutor e da taxa de fertilização dos óvulos (NAKATANI et al., 2001).

A biologia reprodutiva das espécies de peixes tem sido alvo de estudos, seja para trabalhos de conservação de espécies ameaçadas a extinção, seja para espécies importantes economicamente nas pisciculturas, a fim de melhorar as técnicas de manejo da reprodução em cativeiro. Mas, independente da estratégia reprodutiva ou dos tipos de desova, sabe-se que a reprodução é controlada pelo eixo hipotálamo-hipófise-gônadas.

Dessa maneira, nosso grupo de pesquisa está buscando elucidar aspectos desse eixo em *Astyanax altiparanae*, conhecido popularmente como lambari do rabo amarelo, a fim de agregar informações para o conhecimento da biologia da espécie. Com isso, este estudo acrescenta informações sobre a glândula hipófise do teleósteo sul americano em questão.

7 CONCLUSÕES

- A hipófise de *Astyanax altiparanae* foi detectada após a eclosão.
- A morfologia da glândula apresentou alteração, sendo alongada nas fases larvais e fases iniciais do juvenil e adquirindo formato oval a partir de 60 dpe.
- As células adeno-hipofisárias detectadas no início do desenvolvimento larval (1, 3 e 5 dpe), sugerem que esses hormônios participam ativamente do desenvolvimento larval de *A. altiparanae*.
- A ontogenia das células adeno-hipofisárias em *A. altiparanae* corrobora com a heterogeneidade no aparecimento destes tipos celulares nos teleósteos.

REFERÊNCIAS*

- ADOLFI, M. C.; CARREIRA, A. C. O.; JESUS, L. W. O.; BOGERD, J.; FUNES, R. M.; SCHARTL, M.; SOGAYAR, M. C.; BORELLA, M. I. Molecular cloning and expression analysis of *dmrt1* and *sox9* during gonad development and male reproductive cycle in the lambari fish, *Astyanax altiparanae*. **Reproductive Biology and Endocrinology**, v. 13, n. 2, p. 1-15, 2015.
- AGULLEIRO, B.; GARCÍA-HERNANDEZ, M. P.; GARCÍA-AYALA, A. Teleost adenohypophysis: morphofunctional and development aspects. In: REINECKE, M.; ZACCONE, G.; KAPOOR, B. G. (Ed.). **Fish endocrinology**. Enfield: Science Publishers, 2006. v. 1, p. 289-323.
- AIZEN, J.; KASUTO, H.; LEVAVI-SIVAN, B. Development of specific enzyme-linked immunosorbent assay for determining LH and FSH levels in tilapia, using recombinant gonadotropins. **General and Comparative Endocrinology**, v. 153, n. 1-3, p. 323-332, 2007.
- ANGLADE, I.; ZANDBERGEN, T.; KAH, O. Origin of the pituitary innervation in the goldfish. **Cell Tissue Research**, v. 273, p. 345-355, 1993.
- AZUMA, M.; SUZUKI, T.; MOCHIDA, H.; TANAKA, S.; UCHIYAMA, M.; TAKAHASHI, A.; MATSUDA, K. Polymorphism of somatolactin-producing cells in the goldfish pituitary: immunohistochemical investigation for somatolactin - α and - β . **Cell Tissue Research**, v. 350, p. 167-176, 2012.
- BALL, J. N.; BAKER, B. I. The pituitary gland: anatomy and histophysiology. In: HOAR, W. S.; RANDALL, D. J. (Ed.). **Fish physiology**. New York: Academic Press, 1969. v. 2, p. 1-205.
- BALON, E. K. Saltatory processes and altricial to precocial forms in the ontogeny of fishes. **American Zoologist**, v. 21, n. 2, p. 573-596, 1981.
- BATTEN, T. F. C.; BALL, J. N. Ultrastructure of the neurohypophysis of the teleost *Poecilia latipinna* in relation to neural control of the adenohypophysial cells. **Cell Tissue Research**, v. 185, p. 409-433, 1977.
- BENTLEY, P. J. Comparative morphology of the endocrine tissues. In: _____ **Comparative vertebrate endocrinology**. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 15-28.
- BJÖRNSSON, B. T. H.; JOHANSSON, V.; BENEDET, S.; EINARSDÓTTIR, I. E.; HILDAHL, J.; AGUSTSSON, T.; JONSSON, E. Growth hormone endocrinology of salmonids: regulatory mechanisms and mode of action. **Fish Physiology Biochemistry**, v. 27, p. 227-242, 2002.

* De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BORELLA, M. I.; VENTURIERI, R.; MANCERA, J. M. Immunocytochemical identification of adenohipophyseal cells in the pirarucu (*Arapaima gigas*), na Amazonian basal teleost. **Fish Physiology Biochemistry**, v. 35, p. 3-16, 2009.

BORELLA, M. I.; VENTURIERI, R. L. L.; BATLOUNI, S. R.; MANCERA, J. M. **Tópicos especiais em biologia aquática e aquicultura. Aspectos morfofisiológicos comparativos da hipófise de osteoglossídeos**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2006. 293 p.

BORELLA, M. I.; GAZOLA, R.; VAL-SELLA, M. V.; FAVA-DE-MORAES, F. Histochemical and immunohistochemical study of the pituitary gland of the South American teleost pacu fish. **Brazil Journal Morphology Science**, v. 14, p. 219-225, 1997.

CÁNEPA, M. M.; POZZI, A.; ASTOLA, A.; MAGGESE, M. C.; VISSIO, P. G. Effect of salmon melaninconcentrating hormone and mammalian gonadotrophin-releasing hormone on somatolactin release in pituitary culture of *Cichlasoma dimerus*. **Cell Tissue Research**, v. 333, p. 49-59, 2008.

CÁNEPA, M. M.; ZHU, Y.; FOSSATI, M.; STILLER, J. W.; VISSIO, P. G. Cloning, phylogenetic analysis and expression of somatolactin and its receptor in *Cichlasoma dimerus*: Their role in long-term background color acclimation. **General and Comparative Endocrinology**, v. 176, p. 52–61, 2012.

CAVARI, B.; NOSO, T.; KAWAUCHI, H. Somatolactin, a novel pituitary protein: isolation and characterization from *Sparus aurata*. **Molecular Marine Biology and Biotechnology**, v.4 , p. 117-22, 1995.

CERDÁ-REVERTER, J. M.; CANOSA, L. F. Neuroendocrine systems of the fish brain. In: FARREL, A. P.; BRAUNER, C. J. (Ed.). **Fish neuroendocrinology**. Amsterdam: Academic Press, 2009. p. 1-74.

CHAKRABARTI, P.; CHOUDHURY, S. H. Morpho-Histological architecture of various cells with special emphasis on the seasonal variations of gonadotrophs in the pituitary gland of *Notopterus notopterus* (Pallas, 1769) in relation to testicular maturation. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 3, n. 2, p. 297-304, 2012.

CHEHADE, C.; CASSEL, M.; BORELLA, M. I. Induced reproduction in a migratory teleost species by water level drawdown. **Neotropical Ichthyology**, v. 13, n. 1, p. 205-212, 2015.

COSTA, F. G.; ADOLFI, M. C.; GOMES, C. C.; JESUS, L. W. O.; BATLOUNI, S. R.; BORELLA, M. I. Tests of *Astyanax altiparanae*: the Sertoli cell functions in a semicyclic spermatogenesis. **Micron**, v. 61, p. 20–27, 2014

DORSHKIND, K.; HORSEMAN, N. D. The roles of prolactin, growth hormone, insulinlike growth factor-I, and thyroid hormones in lymphocyte development and function: insights from genetic models of hormone and hormone receptor deficiency. **Endocrine Reviews**, v. 21, p. 292-312, 2000.

DUTRA, F. M.; MACHADO, W. J.; CAETANO, M. S.; GOBBO, D. A. A. avaliação sensorial do processamento em conserva, utilizando-se as espécies: tilápia (*Oreochromis*

niloticus), lambari (*Astyanax* spp) e pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 3, p. 239-244, 2012.

EINARSDÓTTIR, I. E.; SILVA, N.; POWER, D. M.; SMÁRADÓTTIR, H.; BJÖRNSSON, B. T. Thyroid and pituitary gland development from hatching through metamorphosis of a teleost flatfish, the *Atlantic halibut*. **Anatomy and Embryology**, v. 21, p. 47–60, 2006.

EVANGELISTA, M. M. **Manipulação de horas de luz e temperatura da água na reprodução induzida de *Astyanax altiparanae* durante o inverno**. 2015. 62 F. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Pesca) - Instituto de Pesca - APTA - SAA, São Paulo, 2015.

FEIST, G., SCHRECK, C. B. Brain–pituitary–gonadal axis during early development and sexual differentiation in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **General and Comparative Endocrinology**, v. 102, p. 394–409, 1996.

FUKAMACHI, S.; YADA, T.; MITANI, H. Medaka receptors for somatolactin and growth hormone: phylogenetic paradox among fish growth hormone receptors. **Genetics**, v. 171, p. 1875–1883, 2005.

FUKAMACHI, S.; SUGIMOTO, M.; MITANI, H.; SHIMA, A. Somatolactin selectively regulates proliferation and morphogenesis of neuralcrest derived pigment cells in medaka. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 101, n. 29, p. 10661–10666, 2004.

GALAS, J.; EPLER, P. Does PRL affect steroid secretion by isolated rainbow trout ovarian cells? **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 132B, p. 287–297, 2002.

GANECO, L. N. **Ontogenia da resposta endócrina em larvas de matrinxã *Brycon amazonicus*. Ênfase nos eixos hipófise-tireóide e hipófise-tecido interrenal**. 2007. 109 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

GARCÍA-AYALA, A.; VILLAPLANA, M.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, M. P.; CHAVES-POZO, E.; AGULLEIRO, B. FSH-, LH-, and TSH-expressing cells during development of *Sparus aurata* L. (Teleostei) an immunocytochemical study. **General Comparative Endocrinology**, v. 134, p. 72-79, 2003.

GARCÍA HERNÁNDEZ, M. P.; GARCÍA AYALA, A.; ZANDBERGEN, M. A.; AGULLEIRO, B. Investigation into the duality of gonadotropic cells of Mediterranean yellowtail (*Seriola dumerilii*, Risso 1810): immunocytochemical and ultrastructural studies. **General Comparative Endocrinology**, v. 128, p. 25-35, 2002.

GARUTTI, V.; BRITSKI, H. A. Descrição de uma espécie nova de *Astyanax* (TELEOSTEI: CHARACIDAE) da bacia do alto Rio Paraná e considerações sobre as demais espécies do gênero na bacia. **Comunicações Museu de Ciências e Tecnologia PUC Série Zoologia**, v. 13, p. 65-88, 2000.

GOLAN, M.; BIRAN, J.; LEVAVI-SIVAN, B. A novel model for development, organization, and function of gonadotropes in fish pituitary. **Frontiers in Endocrinology**, v. 5, n. 182, p.1-11, 2014.

GOMES, C. C.; COSTA, F. G.; BORELLA, M. I. Distribution of GnRH in the brain of the freshwater teleost *Astyanax altiparanae* (Garutti & Britski, 2000). **Micron**, v. 52, p. 33–38, 2013.

GRAÇA, W. J.; PAVANELLI, C. S. *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski, 2000 (Osteichthyes, Characidae) in the Iguazu River basin. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 2, p. 451–453, 2002.

GRANDI, G.; MARCHETTI, M. G.; LANZONI, M.; CHICCA, M. Immunocytochemical and ultrastructural identification of adenohipophyseal cells in *Ctenopharyngodon idella* (Cypriniformes: Cyprinidae) during gonadal differentiation. **Fish Physiology Biochemistry**, v. 40, p. 1115–1139, 2014.

HERZOG, W.; ZENG, X.; LELE, Z.; SONNTAG, C.; TING, J. W.; CHANG, C. Y. Adenohipophysis formation in the zebrafish and its dependence on Sonic Hedgehog. **Developmental Biology**, v. 254, p. 36–49, 2003.

HICKMAN, J. R.; ROBERTS, L. S.; KEEN, S. L.; EISENHOUR, D. J.; LARSON, A.; L'ANSON, H. **Princípios integrados de zoologia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. 976 p.

HOLMES, R.L.; BALL, J.N. The pituitary gland in teleost fishes. In: HOLMES, R.L.; BALL, J.N. (editors) **The pituitary gland: a comparative account**. 1 ed. London: Cambridge University Press, 1974. p 170–220.

HONJI, R. M.; CANEPPELE, D.; PANDOLFI, M.; LO NOSTRO, F. L.; MOREIRA, R. G. Gonadotropins and growth hormone family characterization in an endangered siluriform species, *Steindachneridion parahybae* (Pimelodidae): relationship with annual reproductive cycle and induced spawning in captivity. **The Anatomical Record**, v. 298, p. 1644–1658, 2015.

HONJI, R. M.; NÓBREGA, R. H.; PANDOLFI, M.; SHIMIZU, A.; BORELLA, M. I.; MOREIRA, R. G. Immunohistochemical study of pituitary cells in wild and captive *Salminus hilarii* (Characiformes: Characidae) females during the annual reproductive cycle. **SpringerPlus**, v. 2, n. 460, 2013.

JESUS, L. W. O.; CHEHADE, C.; COSTA, F. G.; BORELLA, M. I. Pituitary gland morphogenesis and ontogeny of adenohipophyseal cells of *Salminus brasiliensis* (Teleostei, Characiformes). **Fish Physiology Biochemistry**, v. 40, p. 897–909, 2014.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia básica**. 12 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. 556 p.

KANEKO, T.; HIRANO, T. Role of prolactin and somatolactin in calcium regulation in fish. **Journal of Experimental Biology**, v. 184, p. 31–45, 1993.

KANEKO, T. Cell biology of somatolactin. **International Review of Cytology**, v. 169, p. 1–24, 1996.

KAWAMURA, K.; KOUKI, T.; KAWAHARA, G.; KIKUYAMA, S. Hypophyseal Development in vertebrates from amphibians to mammals. **General and Comparative Endocrinology**, v. 126, p. 130–135, 2002.

KAWAUCHI, H.; SOWER, S. A. The dawn and evolution of hormones in the adenohypophysis. **General and Comparative Endocrinology**, v. 148, p. 3–14, 2006.

LAIZ-CARRIÓN, R.; SEGURA-NOGUERA, M. M.; MARTÍN DEL RÍO, M. P.; MANCERA, J. M. Ontogeny of adenohypophyseal cells in the pituitary of the American shad (*Alosa sapidissima*). **General Comparative Endocrinology**, v. 132, p. 454-464, 2003.

LINNAEUS, C. Systema naturae. 10 ed. Laurentii Salvii: Holmiae, 1758. 824p.

MAJUMDAR, S.; ELSHOLTZ, H. P. Comparative aspects of pituitary development and Pit-1 function. In: Sherwood, N.M.; Hew, C. L. (eds) **Fish physiology**. Molecular endocrinology of fish, vol XIII. Academic Press, San Diego, p. 309–330, 1994.

MANCERA, J. M.; FERNÁNDEZ-LLEBREZ, P.; GRONDONA, J. M.; PÉREZ-FÍGARES, J. M. Influence of environmental salinity on prolactin and corticotropic cells in the gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). **General and Comparative Endocrinology**, v. 90, p. 220-231, 1993.

MARTINEZ, C. B. R.; CÓLUS, I. M. S. Biomarcadores em peixes neotropicais para o monitoramento da poluição aquática na bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. (Ed.). **A bacia do rio Tibagi**. Londrina: MC Gráfica; 2002. p. 551-577.

MIRANDA, L. A.; STRÜSSMANN, C. A.; SOMOZA, G. M. Immunocytochemical identification of GtH1 and GtH2 cells during the temperature-sensitive period for sex determination in pejerrey, *Odontesthes bonariensis*. **General and Comparative Endocrinology**, v. 124, p. 45-52, 2001.

MOUSA, M. A.; MOUSA, S. A. Implication of somatolactin in the regulation of sexual maturation and spawning of *Mugil cephalus*. **The Journal of Experimental Zoology**, v. 287, p. 62-73, 2000.

NAITO, N.; HYODO, S.; OKUMOTO, N.; URANO, A.; NAKAI, Y. Differential production and regulation of gonadotropins (GTH I and GTH II) in the pituitary gland of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, during ovarian development. **Cell Tissue Research**, v. 266, p. 457-467, 1991.

NAITO, N.; JESUS, E. G.; NAKAI, Y.; HIRANO, T. Ontogeny of pituitary cell-types and the hypothalamo-hypophysial relationship during early development of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. **Cell Tissue Research**, v. 272, p. 429-437, 1993.

NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A. A.; BAUMGARTNER, G.; BIALETZKI, A.; SANCHES, P. V.; MAKRAKIS, M. C.; PAVANELLI, C. S. **Ovos e larvas de peixes de água doce: Desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá: EDUEM, 2001. 378 p.

NGUYENA, N.; SUGIMOTOB, M.; ZHU, Y. Production and purification of recombinant somatolactin β and its effects on melanosome aggregation in zebrafish. **General and Comparative Endocrinology**, v. 145, n. 2, p. 182–187, 2006.

ONO, M.; TAKAYAMA, Y.; RAND-WEAVER, M.; SAKATA, S.; YASUNAGA, T.; NOSSO, T.; KAWAUCHI, H. cDNA cloning of somatolactin, a pituitary protein related to growth hormone and prolactin. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 87, p. 4330-4334, 1990.

PAPOUTSOGLU, S. E. The role of the brain in farmed fish. **Reviews in Aquaculture**, v. 4, p. 1–10, 2012.

PANDOLFI, M.; CÁNEPA, M. M.; MEIJIDE, F. J.; ALONSO, F.; VÁZQUEZ, G. R.; MAGGESE, M. C. Studies on the reproductive and developmental biology of *Cichlasoma dimerus* (Perciformes, Cichlidae). **Biocell**, v. 33, p. 1-18, 2009.

PANDOLFI, M.; LO NOSTRO, F. L.; SHIMIZU, A.; POZZI, A. G.; MEIJIDE, F. J.; VAZQUEZ, G. R. Identification of immunoreactive FSH and LH cells in the cichlid fish *Cichlasoma dimerus* during the ontogeny and sexual differentiation. **Anatomic and Embryology**, v. 211, n. 355-365, 2006.

PANDOLFI, M.; PAZ, D. A.; MAGGESE, C.; RAVAGLIA, M.; VISSIO, P. Ontogeny of immunoreactive somatolactin, prolactin and growth hormone secretory cells in the developing pituitary gland of *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes). **Anatomy and Embryology**, v. 203, p. 461-468, 2001.

PEARSE, A. G. E. **Histochemistry**: theoretical and applied. London: Churchill, 1961. 998 p.

PETER, M. C. The role of thyroid hormones in stress response of fish. **General and Comparative Endocrinology**, v. 172. p. 198-210, 2011.

POGODA, H. M.; HAMMERSCHMIDT, M. How to make a teleost adenohipophysis: Molecular pathways of pituitary development in zebrafish. **Molecular and Cellular Endocrinology**, v. 312, p. 2–13, 2009.

PORTO-FORESTI, F.; CASTILHO-ALMEIDA, R. B.; FORESTI, F. Biologia e criação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*). In: BALDISSEROTO, B.; GOMES, L. C. (Ed.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2005. p. 470.

POWER, D. M.; LLEWELLYN, L.; FAUSTINO, M.; NOWELL, M. A.; BJÖRNSSON, B. T.; EINARSDOTTIR, I. E. Thyroid hormones in growth and development of fish. **Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 130, p. 447-459, 2001.

POWER, D. M. Immunocytochemical identification of growth hormone, prolactin, and gonadotropin cells in the pituitary of male plaice (*Pleuronectes platessa*) during gonadal maturation. **General and Comparative Endocrinology**, v. 85, p. 358-366, 1992.

- POWER, D. M.; CANARIO, A. V. Immunocytochemistry of somatotrophs, gonadotrophs, prolactin and adrenocorticotropin cells in larval sea bream (*Sparus aurata*) pituitaries. **Cell Tissue Research**, v. 269, p. 341-346, 1992.
- QUESADA, J.; LOZANO, M. T.; ORTEGA, A.; AGULLEIRO, B. Immunocytochemical and ultrastructural characterization of the cell types in the adenohypophysis of *Sparus aurata* L. (Teleost). **General and Comparative Endocrinology**, v. 72, p. 209-225, 1988.
- RAND-WEAVER, M.; NOSSO, T.; MURAMOTO, K.; KAWAUCHI, H. Isolation and characterization of somatolactina, a new protein related to growth hormone and prolactina from Atlantic cod (*Gadus morhua*) pituitary glands. **Biochemistry**, v. 30, p. 1509-1515, 1991.
- RAND-WEAVER, M.; POTTINGER, T. G.; SUMPTER, J. P. Pronounced seasonal rhythms in plasma somatolactin levels in rainbow trout. **Journal of Endocrinology**, v. 146, p. 113-119, 1995.
- SAGA, T.; YAMAKI, K. I.; DOI, Y.; YOSHIZUKA, Y. Chronological study of the appearance of adenohypophysial cells in the ayu (*Plecoglossus altivelis*). **Anatomy and Embryology**, v. 200, p. 469-475, 1999.
- SCHREIBMAN, M. P.; LEATHERLAND, J. F.; McKEOWN, B. A. Functional Morphology of the Teleost Pituitary Gland. **American Zoologist**, v. 13, p. 719-742, 1973.
- SCREIBMAN, M. P. Pituitary Gland. In: PANG, P. K. T.; SCREIBMAN, M. P. (Ed.) **Vertebrate endocrinology: Fundamentals and Biomedical Implications. Morphological Considerations**, Vol. 1. Orlando: Academic Press. 1986. p. 11-55.
- SEGURA-NOGUERA, M. M.; LAIZ-CARRIÓN, R.; MARTÍN DEL RÍO, M. P.; MANCERA, J. M. Immunocytochemical study of the pituitary gland of the white seabream (*Diplodus sargus*). **Histochemistry journal**, v. 32, p. 733-742, 2000.
- SHAHJAHAN, M. D.; KITAHASHI, T.; PARHAR, I. S. Central pathways integrating metabolism and reproduction in teleosts. **Frontiers in Endocrinology**, v. 5, p. 1-17, 2014.
- SHIBATTA, O. A.; ORSI, M. L.; BENNEMANN, S. T.; SILVA-SOUZA, A. T. Diversidade e distribuição de peixes na bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. **A bacia do rio Tibagi**. Londrina: MC Gráfica, 2002, p. 399-419.
- SHIMIZU, A.; YAMASHITA, M. Purification of mummichog (*Fundulus heteroclitus*) gonadotropins and their subunits, using an immunochemical assay with antisera raised against synthetic peptides. **General and Comparative Endocrinology**, v. 125, p. 79-91, 2002.
- SILVA, J. V.; ANDRADE, D. V.; OKANO, W. Y. Desenvolvimento sexual e crescimento de lambaris – tambuí, *Astyanax bimaculatus* Linnaeus, 1758 submetidos a diferentes tipos de alimentação. **Arquivo de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 48, p. 47-54, 1996.
- SIQUEIRA-SILVA, D. H.; SILVA, A. P. S.; NINHAUS-SILVEIRA, A.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R. Morphology of the urogenital papilla and its component ducts in *Astyanax*

altiparanae Garutti & Britski, 2000 (Characiformes: Characidae). **Neotropical Ichthyology**, v. 13, n. 2, p. 309-316, 2015.

SIQUEIRA-SILVA, D. H.; SILVA, A. P. S.; NINHAUS-SILVEIRA, A.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R. The effects of temperature and busulfan (Myleran) on the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) spermatogenesis. **Theriogenology**, v. 84, n. 6, p. 1033–1042, 2015.

SOBOTTA, J.; WELSCH, U. **Atlas de Histologia – Citologia, Histologia e Anatomia Microscópica** – 7ª Edição, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007

SWANSON, P.; DICKEY, J. T.; CAMPBELL, B. Biochemistry and physiology of fish gonadotropins. **Fish Physiology Biochemistry**, v. 28, p. 53-59, 2003.

TANAKA, M.; TANANGONAN, J. B.; TAGAWA, M.; DE JESUS, E. G.; NISHIDA, H.; ISAKA, M.; KIMURA, R.; HIRANO, T. Development of the pituitary, thyroid and interrenal glands and applications of endocrinology to the improved rearing of marine fish larvae. **Aquaculture**, v. 135, p. 111-126, 1995.

VAL-SELLA, M. V.; FAVA-DE-MORAES, F. Morphology of the hypophysis of the freshwater teleost *Rhamdia hilarii* (Val., 1840). **Anatomy Anz.**, v. 145, p. 146-154, 1979.

VARSAMOS, S.; NEBEL, C.; CHARMANTIER, G. Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: A review. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 141, p. 401–429, 2005.

VAZZOLER, A. E. A. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: Eduem, 1996

VILLAPLANA, M.; GARCÍA-AYALA, A.; CHAVES-POZO, E.; AGULLEIRO, B. Identification of mammosomatotropes, growth hormone cells and prolactin cells in the pituitary gland of the gilthead sea bream (*Sparus aurata* L., Teleostei) using light immunocytochemical methods: an ontogenetic study. **Anatomy and Embryology**, v. 202, p. 421-429, 2000.

VILLAPLANA, M.; GARCÍA AYALA, A.; GARCÍA HERNÁNDEZ, M. P.; AGULLEIRO, B. Ontogeny of the immunoreactive somatolactin cells in the pituitary of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L., teleostei). **Anatomic and Embryology**, v. 196, p. 227-234, 1997.

VILLAPLANA, M.; GARCÍA AYALA, A.; GARCÍA HERNÁNDEZ, M. P.; AGULLEIRO, B. Early organization of the pituitary gland in *Sparus aurata* L. (Teleostei). An ultrastructural study. **Anatomic and Embryology**, v. 193, p. 441-452, 1996.

VISSIO, P. G.; SOMOZA, G. M.; MAGGESE, M. C.; PAZ, D. A.; STRUSSMANN, C. A. Structure and cell type distribution in the pituitary gland of Pejerrey *Odontesthes bonariensis*. **Fisheries Science**, v. 63, n. 1, p. 64-68, 1997.

WELTZIEN, F. A.; ANDERSSON, E.; ANDERSEN, O.; SHALCHIAN-TABRIZI, K.; NORBERG, B. The brain–pituitary–gonad axis in male teleosts, with special emphasis on

flatfish (Pleuronectiformes). Review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 137, p. 447-477, 2004.

WENDELLAR-BONGA, S. E. The estress response in fish. ***Physiol Review***, v. 77, p. 591-625, 1997.

YARON, Z.; GUR, G.; MELAMED, P.; ROSENFELD, H.; ELIZUR, A.; LEVAVI-SIVAN, B. Regulation of fish gonadotropins. ***International Review of Cytology***, v. 225, p. 131–185, 2003.

YASUI, G. S.; SENHORINI, J. A.; SHIMODA, E.; PEREIRA-SANTOS, M.; NAKAGHI, L. S. O.; FUJIMOTO, T.; ARIAS-RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. A. Improvement of gamete quality and its short-term storage: an approach for biotechnology in laboratory fish. ***Animal***, v. 9, n. 3, p. 464–470, 2015.

YEUNG, C. M.; CHAN, C. B.; LEUNG, P. S.; CHENG, C. H. K. Cells of the anterior pituitary. ***The International Journal of Biochemistry & Cell Biology***, v. 38, p. 1441-1449, 2006.

ZHU, Y.; SONG, D.; TRAN, N. T.; NGUYEN, N. The effects of the members of growth hormone family knockdown in zebrafish development. ***General and Comparative Endocrinology***, v. 150, p. 395- 404, 2007.

ZHU, Y.; THOMAS, P. Effects of light on plasma somatolactin levels in red drum *Sciaenops ocellatus*. ***General and Comparative Endocrinology***, v. 111, p. 76-82, 1998.

ZOHAR, Y.; MUÑOZ-CUETO, J. A.; ELIZUR, A.; KAH, O. Neuroendocrinology of reproduction in teleost fish. ***General Comparative Endocrinology***, v. 165, p. 438-455, 2010.