UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

Hipofisação de matrinxã, *Brycon amazonicus*, e lambari, *Astyanax altiparanae* com extrato de hipófise de lambari associada à $PGF_{2\alpha}$

Cristiane Fernanda Benevente

Jaboticabal, São Paulo
2026

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese de doutorado será disponibilizado somente a partir de 29/07/2028

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

Hipofisação de matrinxã, *Brycon amazonicus*, e lambari, *Astyanax altiparanae* com extrato de hipófise de lambari associada à $PGF_{2\alpha}$

Cristiane Fernanda Benevente

Orientador: Dr. Sergio Ricardo Batlouni

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
2026

B465h

Benevente, Cristiane Fernanda
Hipofisação de matrinxã, Brycon amazonicus, e lambari, Astyanax altiparanae com extrato de hipófise de lambari associada à PGF2 / Cristiane Fernanda Benevente. -- Jaboticabal, 2026
151 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal
Orientador: Sergio Ricardo Batlouni

1. Reprodução induzida de peixes. 2. Aquicultura. 3. Cultivo folicular. 4. DHP. 5. Prostaglandina F . I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE:Hipofisação de matrinxã, Brycon amazonicus, e lambari, Astyanax altiparanae com extrato de hipófise de lambari associada à PGF2α

AUTORA: CRISTIANE FERNANDA BENEVENTE
ORIENTADOR: SERGIO RICARDO BATLOUNI

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

gov.br Documento assinado digitalmente
SERGIO RICARDO BATLOUNI
Data: 30/07/2026 18:03:51-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. SERGIO RICARDO BATLOUNI (Participaçao Virtual)
Centro de Aquicultura da Unesp / Jaboticabal/SP

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCAS SIMON TORATI
Data: 30/07/2026 19:08:09-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. LUCAS SIMON TORATI (Participaçao Virtual)
Embrapa Pesca e Aquicultura / Palmas/TO

gov.br Documento assinado digitalmente
DANILO PEDRO STREIT JR
Data: 31/07/2026 05:37:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Professor Titular DANILO PEDRO STREIT JUNIOR (Participaçao Virtual) Departamento de Zootecnia / UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCIANA NAKAGHI GANECO KIRSCHNIK
Data: 31/07/2026 07:47:20-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. LUCIANA NAKAGHI GANECO KIRSCHNIK (Participaçao Virtual)
Embrapa Pesca e Aquicultura, / Palmas/TO

gov.br Documento assinado digitalmente
GEORGE SHIGUEKI YASUI
Data: 07/08/2026 10:06:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. GEORGE SHIGUEKI YASUI (Participaçao Virtual)

Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Pirassununga/SP

, 29 de julho de 2026.

Centro de Aquicultura - Unidade Complementar - Jaboticabal
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellani, s/nº, 14870000
http://www.caunesp.unesp.br/#!/pos-graduacao/

Agradecimento

Primeiramente agradeço a Deus por sempre me mostrar o caminho e me guiar quando não tinha mais animo.

Aos meus pais, Valdir e Márcia, por sempre apoiarem minhas escolhas e fazer o possível e impossível para eu estar aqui. Pais admiráveis que sempre colocaram a educação e o bem-estar das filhas na frente de tudo. Sou eternamente grata a vocês dois.

A minha irmã, Josiane, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e querendo sempre coisas boas para mim. E minhas sobrinhas, Helena e Laura, que deixam tudo mais leve quando estou perto delas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Ricardo Batlouni, pela confiança, calma, e principalmente pela amizade. Por sempre estar presente quando precisei, e pela confiança que depositou em mim. Obrigada pelas risadas durante as os experimentos intermináveis e pelo puxões de orelha e principalmente por me ensinar tanto.

Aos membros da banca, que aceitaram meu convite de participarem neste dia tão importante, e pela contribuição ao meu trabalho.

Aos meu amigos do laboratórios, Roosevelt, Mari, Sato, Queila, Isabelly, Luisa e Ana Alice, pelos momentos compartilhados no dia a dia e durante a tensão de experimentos.

A minha segunda família que encontrei em Jaboticabal morando na melhor República a “Santa Casa”, Madre, Lilice, Manguêra, Dorimê, Marcony, TPM, Tombei, Match, Pantanal, Choquei, Perita e ao agregado Deslizo, obrigada por sempre estarem do meu lado e alegrarem meus dias quando eu não estava bem.

Ao meu namorado Marcelo, pois, nenhuma conquista é construída sozinha, e esta certamente não foi. Ao longo desta jornada, você esteve ao meu lado nos momentos mais desafiadores, oferecendo apoio, paciência, carinho e compreensão quando o cansaço, as preocupações e as incertezas pareciam maiores do que a vontade de continuar.

A todos os funcionários do CAUNESP, que sempre me auxiliaram e ajudaram quando eu precisei, meus sincero obrigada a todos vocês.

Ao Profº Drº Alejandro Sebastián Mechaly e ao “Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología – INBIOTEC” e a todos os funcionários e alunos, por me receberem durante meu intercâmbio e por todo ensinamento que recebi.

Muito obrigada!

Apoio Financeiro

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (jun/2022 – jul/2023).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, n. 2022/13344-9 (ago/2023 – dez/2025) e BEPE n. 2024/15561-2 (nov/2024 – dez/2024).

Resumo

A aquicultura depende da produção eficiente de formas jovens em cativeiro. Entretanto, a reprodução induzida de peixes migradores neotropicais ainda é baseada predominantemente na hipofisação, técnica amplamente utilizada, mas que apresenta falhas recorrentes de ovulação, comprometendo a produção aquícola. Diante desse cenário, esta tese teve como objetivo ampliar o conhecimento sobre os mecanismos fisiológicos envolvidos na maturação final dos oócitos e na ovulação em peixes migradores neotropicais, utilizando como modelos experimentais o lambari (*Astyanax altiparanae*) e o matrinxã (*Brycon amazonicus*). Para isso, foram empregadas abordagens complementares *in vitro* e *in vivo*. Inicialmente, foi desenvolvido e padronizado um sistema de cultivo folicular para indução da ovulação *in vitro* em lambari, estabelecendo as condições experimentais necessárias para o isolamento, cultivo e indução hormonal de folículos ovarianos (manuscritos 1 e 2). Em seguida, esse protocolo foi adaptado para o matrinxã, possibilitando a investigação dos efeitos do 17α,20β-diidroxi-4-pregnen-3-ona (DHP), da prostaglandina $F_2\alpha$ ($PGF_2\alpha$), da melatonina e de diferentes extratos hipofisários sobre a maturação final e a ovulação (manuscrito 3). Paralelamente, foram conduzidos experimentos *in vivo* para avaliar a eficiência de protocolos de reprodução induzida utilizando extratos hipofisários de carpa (CPE) e de lambari (LPE), associados ou não à $PGF_2\alpha$, nas duas espécies (manuscrito 4). Os resultados permitiram estabelecer o primeiro sistema padronizado de indução da ovulação *in vitro* para Characiformes neotropicais, constituindo uma ferramenta experimental inédita para estudos da fisiologia ovariana. O protocolo desenvolvido para o lambari mostrou-se aplicável ao matrinxã, demonstrando seu potencial como modelo para estudos comparativos da reprodução em espécies neotropicais. Os experimentos confirmaram o DHP como o principal esteroide indutor da maturação final e da ovulação em ambas as espécies, enquanto a $PGF_2\alpha$ também induziu a ovulação em lambari *in vitro*. Em matrinxã, verificou-se que a hipofisação *in vitro*, embora estimulasse a produção de DHP, não promovia concentrações suficientes desse hormônio para desencadear a ovulação, sugerindo limitações na esteroidogênese folicular como um dos fatores associados às falhas observadas na reprodução induzida. A melatonina não alterou a resposta ovulatória nas condições experimentais avaliadas, indicando diferenças em relação aos

mecanismos descritos para espécies-modelo. Nos estudos *in vivo*, o extrato hipofisário de lambari apresentou eficiência semelhante à do extrato hipofisário de carpa para a indução reprodutiva de lambari e matrinxã, constituindo uma alternativa promissora ao uso do CPE. A associação da $PGF_2\alpha$ aos protocolos convencionais mostrou-se eficiente para a indução reprodutiva das duas espécies, embora seu efeito adicional sobre o sucesso da ovulação tenha se mostrado dependente das características fisiológicas de cada espécie. Em conjunto, esta tese estabelece uma plataforma experimental inédita para o estudo da maturação final e da ovulação em peixes migradores neotropicais, amplia o conhecimento sobre a atuação do DHP, das prostaglandinas e da melatonina na fisiologia ovariana e demonstra que a integração entre abordagens *in vitro* e *in vivo* constitui uma estratégia eficiente para compreender os mecanismos da reprodução e subsidiar o desenvolvimento de protocolos de indução reprodutiva mais eficientes para espécies de interesse aquícola.

Palavras-chave: aquicultura; cultivo folicular; DHP; prostaglandina $F_2\alpha$; peixes neotropicais; reprodução induzida.

Abstract

Aquaculture is only possible due to methods for producing juveniles in captivity. However, the induced reproduction in Neotropical migratory fish is still predominantly based on hypophysation, a widely used technique that frequently results in ovulation failure, thereby compromising aquaculture production. In this context, this present thesis aimed to expand the understanding of the physiological mechanisms involved in final oocyte maturation and ovulation in Neotropical migratory fish, using lambari (*Astyanax altiparanae*) and matrinxã (*Brycon amazonicus*) as experimental models. To achieve this, complementary *in vitro* and *in vivo* approaches were employed. Initially, an *in vitro* follicle culture system was developed and standardized for ovulation induction in lambari, establishing the experimental conditions required for the isolation, culture, and hormonal induction of ovarian follicles (Manuscripts 1 and 2). Subsequently, this protocol was adapted for matrinxã, enabling the investigation of the effects of 17α,20β-dihydroxy-4-pregnen-3-one (DHP), prostaglandin $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$), melatonin, and different pituitary extracts on final oocyte maturation and ovulation (Manuscript 3). In parallel, *in vivo* experiments were conducted to evaluate the efficiency of induced reproduction protocols using carp pituitary extract (CPE) and lambari pituitary extract (LPE), either alone or combined with $PGF_2\alpha$, in both species (Manuscript 4). The results established the first standardized *in vitro* ovulation induction system for Neotropical Characiformes, providing a novel experimental tool for studies of ovarian physiology. The protocol developed for lambari was successfully applied to matrinxã, demonstrating its potential as a comparative model for reproductive studies in Neotropical species. The experiments confirmed DHP as the main steroid responsible for inducing final oocyte maturation and ovulation in both species, whereas $PGF_{2\alpha}$ also induced *in vitro* ovulation in lambari. In matrinxã, *in vitro* hypophysation stimulated DHP production but failed to generate hormone concentrations sufficient to trigger ovulation, suggesting that limitations in follicular steroidogenesis may contribute to the ovulation failures observed during induced reproduction. Melatonin did not affect the ovulatory response under the experimental conditions evaluated, indicating differences from the mechanisms previously described in model species. In the *in vivo* studies, lambari pituitary extract showed reproductive induction efficiency comparable to that of carp pituitary extract

in both lambari and matrinxã, representing a promising alternative to CPE. The addition of $PGF_{2\alpha}$ to conventional induction protocols proved effective for reproductive induction in both species, although its additional effect on ovulation success depended on the physiological characteristics of each species. Collectively, this thesis establishes a novel experimental platform for investigating final oocyte maturation and ovulation in Neotropical migratory fish, expands the current knowledge of the roles of DHP, prostaglandins, and melatonin in ovarian physiology, and demonstrates that the integration of *in vitro* and *in vivo* approaches is an effective strategy for elucidating reproductive mechanisms and supporting the development of more efficient induced reproduction protocols for aquaculture species.

Key-words: cell culture, *in vitro*, native species, oocyte maturation and ovulation.

Sumário

Agradecimento v

Apoio Financeiro vii

Resumo viii

Abstract x

Introdução geral 1

Objetivos Gerais 10

Objetivos Específicos 11

Manuscrito 1 13

Manuscrito 2 40

Manuscrito 3 81

Manuscrito 4 104

Discussão geral 124

Conclusão geral 131

Referências bibliográficas 133

Introdução geral

1. Contextualização da aquicultura

Desde a década de 1950, a produção global de organismos aquáticos tem apresentado um crescimento contínuo, impulsionado tanto pela pesca de captura quanto pela aquicultura. Esse crescimento tornou-se ainda mais evidente em 2022, quando a produção global atingiu o recorde de 185,4 milhões de toneladas (ton), das quais 89% foram destinadas ao consumo humano (FAO, 2024). Esse recorde mundial representou um acréscimo de 4,4% em relação ao total registrado em 2018 (FAO, 2020). Desse total produzido, só a aquicultura foi responsável por 94,4 milhões de ton (51%), deste modo, ultrapassando pela primeira vez na história a produção proveniente da pesca de captura, que totalizou 91 milhões de ton (49%) (FAO, 2024). Esse cenário reforça não apenas o papel crescente da aquicultura como fonte de alimentos, mas também sua importância estratégica para atender à crescente demanda global por produtos de origem aquática.

Entre os principais produtores mundiais, destaca-se a China, que, desde a década de 1990 ocupa a liderança na produção de organismos aquáticos. No ano de 2022, o país foi responsável por 36% da produção mundial, superando, isoladamente, a soma dos demais países (FAO, 2024). Esse expressivo crescimento está fortemente associado à priorização do cultivo e ao melhoramento de espécies nativas, com destaque para diferentes variedades de carpas, amplamente adaptadas às condições locais (Yue et al., 2024). Em contraste, a aquicultura brasileira consolidou-se principalmente com base no cultivo de uma espécie exótica, a tilápia, que atualmente representa a maior parcela da produção nacional (Peixe BR, 2025).

Como podemos observar no ano de 2024, a piscicultura brasileira atingiu um aumento de 9,21% na produção de peixes de cultivo, em relação ao ano anterior, esse aumento equivale a 968.745 ton. Esse crescimento foi impulsionado principalmente pela produção de tilápia, que alcançou um volume recorde de 662.230 ton, um aumento de 14,36% em comparação a 2023. Outras espécies exóticas, como pangasius, carpas e trutas, também apresentaram crescimento, totalizando 47.810 ton, 7,5% a mais que no ano anterior (Peixe BR, 2025).

Por outro lado, a produção de espécies nativas, concentrada majoritariamente na região Norte do Brasil, correspondeu a 26,71% da produção total, mas apresentou um recuo de 1,81% em relação ao ano anterior (Peixe BR, 2025), evidenciando a tendência de redução de espaço frente ao avanço da tilapicultura (PEIXE BR, 2022; 2025). Esse recuo, entretanto, não indica, necessariamente, um cenário negativo para os produtores. De acordo com a PEIXE BR (2025), tanto a demanda quanto os preços permaneceram em patamares satisfatórios, sendo a principal preocupação a diminuição da oferta, especialmente na região Norte do país. Mais do que os números de produção, é essencial considerar que os desafios enfrentados pela cadeia produtiva de peixes nativos são complexos e envolvem múltiplas dimensões técnico-produtivas, sanitárias e ambientais. Entre esses desafios, destacam-se as limitações relacionadas ao controle da reprodução e ao desenvolvimento de protocolos reprodutivos mais eficientes, fatores que restringem o avanço da produção de diversas espécies nativas.

Conclusão geral

Esta tese estabeleceu, pela primeira vez, sistemas padronizados de cultivo folicular capazes de induzir a ovulação *in vitro* em lambari e matrinxã, disponibilizando uma plataforma experimental inédita para o estudo dos mecanismos envolvidos na maturação final dos oócitos e na ovulação em peixes migradores neotropicais.

A utilização desses modelos confirmou o DHP como o principal esteroide indutor da maturação final e da ovulação em ambas as espécies. Em conjunto, os resultados indicam que o sucesso da hipofisação depende da capacidade dos folículos em produzir e disponibilizar DHP em concentrações adequadas, enquanto diferenças na resposta aos extratos hipofisários refletem particularidades fisiológicas entre as espécies. A necessidade de concentrações elevadas de DHP para induzir a ovulação *in vitro*, quando comparadas às concentrações circulantes descritas durante a ovulação *in vivo*, sugere que a regulação local da esteroidogênese e da sensibilidade folicular desempenha papel central nesse processo.

Os experimentos também demonstraram que a $PGF_{2\alpha}$ atua diretamente na indução da ovulação em lambari, tanto de forma isolada quanto em associação ao DHP, enquanto a melatonina não alterou a resposta ovulatória em matrinxã nas condições experimentais avaliadas. Esses achados evidenciam que mecanismos descritos em espécies-modelo não podem ser extrapolados diretamente para Characiformes neotropicais, revelando particularidades fisiológicas na regulação da maturação final e da ovulação.

Os estudos *in vivo* demonstraram ainda que a associação da $PGF_{2\alpha}$ aos protocolos convencionais de hipofisação constitui uma estratégia eficiente para a indução reprodutiva de lambari e matrinxã. Além disso, confirmaram que o extrato hipofisário de lambari apresenta eficiência semelhante à do extrato hipofisário de carpa, constituindo uma alternativa viável para programas de reprodução induzida dessas espécies.

Em conjunto, os resultados confirmam a hipótese de que sistemas *in vitro* padronizados constituem ferramentas robustas para elucidar os mecanismos fisiológicos envolvidos na maturação final e na ovulação, permitindo compreender

a atuação do DHP como principal esteroide indutor da maturação, o papel das prostaglandinas na ovulação e as limitações da hipofisação na estimulação da esteroidogênese folicular.

A validação *in vivo* desses achados demonstra que esse conhecimento pode ser aplicado ao aprimoramento dos protocolos de reprodução induzida, incluindo o uso do extrato hipofisário de lambari como alternativa ao extrato de carpa e a associação da $PGF_{2\alpha}$ para aumentar a eficiência reprodutiva. Dessa forma, esta tese amplia o conhecimento sobre a fisiologia reprodutiva de peixes migradores neotropicais, estabelece uma plataforma experimental para estudos futuros e fornece bases científicas para o desenvolvimento de protocolos de reprodução mais eficientes para espécies de interesse aquícola.

Referências bibliográficas

Andrade, D. R., Yasui, G. S. (2003). O manejo da reprodução natural e artificial e sua importância na produção de peixes no Brasil. Revista Brasileira de Reprodução Animal, 27(2): 166-172.

Arantes, F. P., Sato, Y., Sampaio, E. V., Rizzo, E., Bazzoli, N. (2013). Spawning induction and fecundity of commercial native fish species from the São Francisco River basin, Brazil, under hatchery conditions. Agricultural Sciences, 4(8).

Ariki, D. G. F., Abreu, M. R., Jesus-Silva, L. M., Sato, R. T., Batlouni, S. R. (2023). Attempts for increasing *Astyanax altiparanae* spawning rates and percentage of responsive oocytes. Animal Reprod Sci., 254: 107262.

Batlouni, S. R., Corrêa Filho, R. A. C., Kuradomi, R. Y., Spica, L. N., De Abreu, M. R., de Oliveira Brasileiro, L., Motta, N. C., Jesus-Silva, L. M., Teixeira, S. A. Povh, J. A. (2025). Maintenance and Management of Breeders of Neotropical South American Species in Laboratories. In Cryobiology for South American Neotropical Fish Species (pp. 142-170). CRC Press.

Benevente, C. F., Roza-Abre, M., Alves, Q. C. A., Calo, G., Mechaly, A. S., Batlouni, S. R. (2026b). Towards a standardized *in vitro* ovulation induction protocol for lambari (*Astyanax altiparanae*) using DHP and $PGF_{2\alpha}$. Aquaculture Reports, 49: 103705

Benevente, C. F., Roza-Abre, M., Alves, Q. C. A., Silva, L. M. J., Barbosa, R. P., Lacerda, S. M. S. N., Batlouni, S. R. (2026a). Standardization of techniques and conditions for *in vitro* ovulation induction in *Astyanax altiparanae*. Animal Reproduction, 23(1): e20250003.

Borella, M. I., Chehade, C., Costa, F. G., De Jesus, L. W. O., Cassel, M., Batlouni, S. R. (2020). The brain-pituitary-gonad axis and the gametogenesis. In Biology and physiology of freshwater neotropical fish (pp. 315-341). Academic Press.

BR10202101833. "obtenção de extrato bruto de hipófise de *Astyanax altiparanae* para uso na reprodução induzida de peixes". Código 21AUIN035. Código INPI: BR 10 2021 018330 6. Titulares: Universidade Paulista Julio de

Mesquita Filho. Inventores: Sergio Ricardo Batlouni; Laíza Maria de Jesus Silva; Mariana Roza de Abreu.

Carnevali, O., Gioacchini, G., Maradonna, F., Olivotto, I., Migliarini, B. (2011). Melatonin induces follicel maturation in *Danio rerio*. Plos One, 6(5): e19978.

Castagnolli, N., Donaldson, E. M. (1981). Induced ovulation and rearing of the pacu (*Colossoma mitrei*). Aquaculture, 25(2-3): 275-279.

Chaube, R., Singh, R. K., Joy, K. P. (2014). Effects of Ovaprim, a commercial spawning inducer, on vasotocin and steroid hormone profiles in the catfish *Heteropneustes fossilis*: *In vivo* and *in vitro* studies. General and Comparative Endocrinology, 195.

Crespo, D., Pramanick, K., Goetz, F. W., Planas, J. V. (2013). Luteinizing hormone stimulation of *in vitro* ovulation in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) involves follicle contraction and activation of proteolytic genes. General and comparative endocrinology, 188: 175-182.

Criscuolo-Urbinati, E., Kuradomi, R. Y., Urbinati, E. C., Batlouni. S. R. (2012). The administration of exogenous prostaglandin may improve ovulation in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Theriogenology, 78: 2087–94.

Falcón, J., Besseau, L., Sauzet, S., Boeuf, G. (2007). Melatonin effects on the hypothalamo-pituitary axis in fish. Trends in Endocrinology and Metabolism, 18(2): 81-88.

FAO (Food & Agriculture Organization of the United Nations). (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Sofia.

FAO (Food & Agriculture Organization of the United Nations). (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sofia.

Fostier, A., Jalabert, D. (1986). Steroidogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at various preovulatory stages: changes in plasma hormone levels and*in vivo* and*in vitro* responses of the ovary to salmon gonadotropin. Fish Physiology and Biochemistry, 2(1-4): 87-99.

Fujimori, C., Ogiwara, K., Hagiwara, A., Rajapakse, S., Kimura, A., Takahashi, T. (2011). Expression of cyclooxygenase-2 and prostaglandin receptor

EP4b mRNA in the ovary of the medaka fish, *Oryzias latipes*: possible involvement in ovulation. Molecular and Cellular Endocrinology, 332(1-2): 67-77.

Godinho, H. P., Godinho, A. L. (1986). Induced spawning of the pacu, *Colossoma mitrei* (Berg 1895), by hypophysation with crude carp pituitary extract. Aquaculture, 55(1): 69-73.

Goetz, F. W., Theofan, G., (1979). *In vitro* Stimulation of Germinal Vesicle Yellow Perch (*Perca flavescens*) Breakdown and Ovulation Oocytes . Effects of 17α-hydroxy-20β-dihydroprogesterone and prostaglandins. General and Comparative Endocrinology, 37(3): 273‑285.

Hagiwara, A., Ogiwara, K., Katsu, Y., Takahashi, T. (2014). Luteinizing Hormone-Induced Expression of Ptger4b, a Prostaglandin E2 Receptor Indispensable for Ovulation of the Medaka *Oryzias latipes*, Is Regulated by a Genomic Mechanism Involving Nuclear Progestin Receptor. Biology of Reproduction, 90(6): 126, 1-14.

Hagiwara, A., Ogiwara, K., Sugama, N., Yamashita, M., Takahashi, T. (2020). Inhibition of medaka ovulation by gap junction blockers due to its disrupting effect on the transcriptional process of LH-induced Mmp15 expression. General and Comparative Endocrinology, 288: 113373. doi: 10.1016/j.ygcen.2019.113373

Hainfellner, P., Souza, T. G., Muñoz, M. E., Freitas, G. A., & Batlouni, S. R. (2012). Spawning failure in *Brycon amazonicus* may be associated with ovulation and not with final oocyte maturation. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 64, 515-517.

Hainfellner, P., Souza, T. G. , Moreira, R. G., Nakaghi, L. S. O., Batlouni, S. R. (2012). Gonadal steroids levels and vitellogenesis in the formation of oocytes in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes) (Teleostei:Characiformes). Neotropical Ichthyology, 10:601-612

Hashimoto, D. T., Dotti, F., Senhorini, J. A., Porto-Foresti, F., Foresti, F. (2015). Aquaculture of neotropical catfish hybrids: genetic strategies for conservation and management. In: REGAN, B. Carp and catfish: biology, behavior, and conservation strategies. New York: Nova Science Publishers. p. 1-30.

Houssay, B.A., 1930. Accion sexual de la hipofisis en los peces y reptiles. Rev. Soc. Argent. Biol. VI 685–688.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2025). Produção em Pecuária Municipal.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Tabela 3940. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940. Acesso em: 15 mai. 2026

Ihering, R. V., Azevedo, P. D. (1934). A curimatã dos açudes nordestinos (*Prochilodus argenteus*). Arq. Inst. Biol, 5, 143-184.

Ittzés, I., Szabó, T., Kronbauer, E. K., Urbányi, B. (2014). Ovulation induction in jundia (*Rhamdia quelen*, Heptapteridae) using carp pituitary extract or salmon GnRH analogue combined with dopamine receptor antagonists. Aquaculture Research. 46: 2924–377.

Jalabert, B., Breton, B., Brzuska, E., Fostier, A., Wieniawski, J. (1977). A new tool for induced spawning: the use of 17α-hydroxy-20β-dihydroprogesterone to spawn carp at low temperature. Aquaculture, 10(4): 353-364.

Jalabert, B., Szöllösi, D. (1975). *In vitro* ovulation of trout oocytes: effect of prostaglandins on smooth muscle-like cells of the theca. Prostaglandins, 9(5): 765-778.

Joy, K. P., Singh, V. (2013). Functional interactions between vasotocin and prostaglandins during final oocyte maturation and ovulation in the catfish *Heteropneustes fossilis*. General and comparative endocrinology, 186: 126-135.

Kagawa, H., Sakurai, Y., Horiuchi, R., Kazeto, Y., Gen, K., Imaizumi, H., Masuda, Y. (2013). Mechanism of oocyte maturation and ovulation and its application to seed production in the Japanese eel. Fish physiology and biochemistry, 39(1): 13-17.

Knight, O. M., Van Der Kraak, G. (2015). The role of eicosanoids in 17 α , 20 β -dihydroxy-4- pregnen-3-one-induced ovulation and spawning in Danio rerio. General and Comparative Endocrinology, 1: 213, 50-58.

Kozen-Freitas, A. R., Abreu, J. G.; Abreu, J. S.; Dantas, V. L. Q.; Corrêa-Filho, R. A. C.; Povh, J. A. F. (2020). Tambaqui females (*Colossoma macropomum*)

spawn after hormonal induction with buserelina acetate. Animal Reproduction Science, 221: 106594.

Kuradomi, R. Y., Batlouni, S. R. (2018). PGF2α and gonadal steroid plasma levels of successful and unsuccessful spawning *Piaractus mesopotamicus* (Teleostei, Characiformes) females. Aquaculture International, 26, 1083-1094.

Levavi-Zermonsky, B., Yaron, Z. (1986). Changes in gonadotropin and ovarian steroids associated with oocytes maturation during spawning induction in the carp. General and Comparative Endocrinology, 62: 89-98.

Lira, L. V. G., Kuradomi, R. Y., de Souza, T. G., Hainfellner, P., Batlouni, S. R. (2018). Maturação ovariana de *Astyanax altiparanae* após desova em sistema de recirculação de água. Boletim do Instituto de Pesca, 44(4).

Lister, A. L., Van Der Kraak, G. (2008). An investigation into the role of prostaglandins in zebrafish oocyte maturation and ovulation. General and comparative endocrinology, 159(1): 46-57.

Lister, A. L., Van Der Kraak, G. J. (2009). Regulation of prostaglandin synthesis in ovaries of sexually-mature zebrafish (*Danio rerio*). Molecular Reproduction and Development: Incorporating Gamete Research, 76(11): 1064-1075.

Maitra, S. K., Chattoraj, A., Mukherjee, S., Moniruzzaman, M. (2013). Melatonin: A potent candidate in the regulation of fish oocyte growth and maturation. General and Comparative Endocrinology, 181: 215-222.

Mylonas, C. C., Fostier, A., Zanuy, S. (2010). Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. General and comparative endocrinology, 165(3): 516-534.

Nagahama, Y., Yamashita M. (2008). Regulation of oocyte maturation in fish. Development, Growth & Differentiation, 50:195–219

Novaes-Souza, F., Martins, E. F. F., Corrêa-Filho, E. A. C., Abreu, J. S., Pires, L. B., Streit, D. P., Lopera-Barrero, N. M., Povh, J. A. (2018). Ovopel® and carp pituitary extract for induction of Reproduction in *Colossoma macropomum* females. Animal Reproduction Science, 195: 53-57.

Ogiwara, K., Takahashi, T. (2016). A dual role for melatonin in medaka ovulation: Ensuring prostaglandin synthesis and actin cytoskeleton rearrangement in follicular cells. Biology of Reproduction, 94(3): 64-1.

Oliveira, R. G. S., Morais, I. S., Paixão, R. V., Bandeira, I. C., Duncan, W. L. P., O'Sullivan, F. L. A. (2025). Effects of gonadorelina on gonadotropin expression., plasma sex steroid concentrations and ovarian follice dynamics in mature tambaqui (*Colossoma macropomum*). Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, 279:111126.

Oliveira, R. G. S., Pinheiro, J. O. C., Filho, M. X. P., O'Sullivan, F. L. A. (2023). Análise de custo-benefício do uso de extrato hipofisário de carpa e de análogos de GnRH na desova induzida de tambaqui *Colossoma macropomum*. Scientific Electronic Archives, 16(5): 28-33.

Patiño, R., Sullivan, C. V. (2002). Ovarian follicle growth, maturation, and ovulation in teleost fish. Fish Physiology and Biochemistry, 26: 57-70.

Paulino, M. S, Milliorini, A. B, Murgas L. D. S., Lima F. S. M., Felizardo V. O. (2011). Desempenho reprodutivo do pacu, piracanjuba e curimba induzidos com extrato de buserelina. Boletim do Instituto de Pesca, 37(1):39‑45.

Peixes BR. (2022), Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2022.

Peixes BR. (2025), Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2025.

Pereira, G. J. M., Murgas, L. D. S., Silva, J. M. A., Miliorini, A. B., Logato, P. V. R., Lima, D. (2009). Indução da desova de curimba (*Prochilodus lineatus)* utilizando eCG E EBHC. Revista Ceres. 56(2): 156-160.

Pereira, T. S. B., Boscolo, C. N. P., Moreira, R. G., Batlouni, S. R. (2017). The use of mGnRHa provokes ovulation but not viable embryos in *Leporinus macrocephalus*. Aquaculture internacional, 25: 515-529.

Pereira, T. S. B., Boscolo, C. N. P., Moreira, R. G., Batlouni, S. R. (2018). *Leporinus elongatus* induced spawning using carp pituitary extract or mammalian GnRH analogue combined with dopamine receptor antagonists. Animal Reproduction, 15(1): 64-70.

Roza de Abreu, M. R., de Jesus Silva, L. M., Figueiredo-Ariki, D. G., Sato, R. T., Kuradomi, R. Y., Batlouni, S. R. (2022). The effect of LHRHa with and without

dopamine antagonist on reproductive performance in lambari *Astyanax altiparanae*. Aquaculture, 550: 737883.

Roza de Abreu, M., Silva, L. M. D. J., Figueiredo-Ariki, D. G., Sato, R. T., Kuradomi, R. Y., Batlouni, S. R. (2021). Reproductive performance of lambari (*Astyanax altiparanae*) in a seminatural system using different protocols. Aquaculture Research, 52(2): 471-483.

Roza-Abreu, M., Jesus-Silva, L. M., Benevente, C. F., Barbosa, R. P., Mechaly, A. S., Batlouni, S. R. (2025). Hormonal regulation of oocyte maturation and ovulation in lambari (*Astyanax altiparanae*) induced by different pituitary extracts. Aquaculture, 609: 742843.

Sato, R. T., Roza-Abreu, M., Jesus-Silva, L. M., Benevente, C. F., Batlouni, S. R. (2026). S pawning of pacu, Piaractus mesopotamicus, at two different times, with a focus on melatonin levels and reproductive performance. Animal Reproduction, 23(3): e20250024.

Souza, T. G., Kuradomi, R. Y., Rodrigues, S. M., Batlouni, S. R. (2020). Wild *Leporinus friderici* induced spawning with different dose of mGnRHa and metoclopramide or carp pituitary extract. Animal Reproduction, 17: 1-15. DOI: 10.21451/1984-3143-AR2019- 0078

Takahashi, T., Fujimori, C., Hagiwara, A., Ogiwara, K. (2013). Recent advances in the understanding of teleost medaka ovulation: The roles of proteases and prostaglandins. Zoological Science, 30(4): 239–247

Tang, H., Liu, Y., Li, J., Li, G., Chen, Y., Yin, Y., Guo, Y., Cheng, C. H. K., Liu, X., Lin, H., (2017). LH signaling induced ptgs2a expression is required for ovulation in zebrafish. Molecular and Cellular Endocrinology, 447: 125‑133.

Tang, H., Liu, Y., Li, J., Yin, Y., Li, G., Chen, Y., Li, S., Zhang, Y., Lin, H., Liu, X., Cheng, C.H.K. (2016). Gene knockout of nuclear progesterone receptor provides insights into the regulation of ovulation by LH signaling in zebrafish. Scientific reports, 6: 28545.

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

Viveiros, A. T. M., Leal, M. C., Sallum, W. B. (2011). Reprodução das Principais Espécies de Peixes Nativos/ Ana Tereza de Mendonça Viveiros. Lavras: UFLA/FAEPE. 94p.: il. – Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância : Piscicultura.

Viveiros, A. T., Gonçalves, A. C., Di Chiacchio, I. M., Nascimento, A. F., Romagosa, E., Leal, M. C. (2015). Gamete quality of streaked prochilod *Prochilodus lineatus* (Characiformes) after GnRHa and dopamine antagonist treatment. Zygote, 23(2): 212-221.

Wang, W., Kang, T., Bai, L., Hu, W., Obata, Y., Li, J. (2021). Separation of follicular cells and oocytes in ovarian follicles of zebrafish. Jove, 170: e62027.

Welch, E. L., Eno, C. C., Nair, S., Lindeman, R. E., Pelegri, F. (2017). Functional manipulation of maternal gene products using *in vitro* oocyte maturation in zebrafish. J Vis Exp. (122).

Yaron, Z, Levavi-sivan, B. (2011). Endocrine Regulation of Fish Reproduction. Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment. 2: 1500-1508.

Yue, G. H., Tay, Y. X., Wong, J., Shen, Y. Xia. (2024). Aquaculture species diversification in China. Aquaculture and Fisheries, 9: 206-217.

Zaniboni-Filho E, Weingartner M. (2007). Técnicas de indução da reprodução de peixes migradores (Induced breeding in migratory fishes). Revista Brasileira de Reprodução Animal. Belo Horizonte, 31, (n.3): 367-373.