



Produção de populações monossexo em peixes

Production of monosex population in fish

Vanessa Ribeiro Reis^{1,4}, Fernanda Loureiro de Almeida², Francesc Piferrer³

¹Programa de Pós-graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.

²Embrapa Amazônia Ocidental, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Manaus, AM, Brasil.

³Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Institut de Ciències del Mar, Passeig Joan de Borbó, Barcelona, Spain.

⁴Correspondência: ribeiro_vanessar@hotmail.com

Resumo

Com o constante avanço da piscicultura mundial, programas de população monossexo têm sido elaborados com o propósito de se criar o gênero mais produtivo zootecnicamente. Isso se traduz em altos ganhos econômicos, uma vez que se produz mais carne de peixe por hectare de lâmina d'água, uniformiza lotes, evita reprodução indesejada, dentre outras vantagens. Atualmente, são produzidas populações monosexuadas de peixes em pelo menos 20 espécies de importância comercial em diferentes países. No Brasil, a técnica tem sido utilizada tanto em peixe ornamental como em peixe de corte. Devido à crescente importância desta técnica na piscicultura mundial e nacional, a presente revisão aborda as vantagens e desvantagens, bem como os métodos utilizados para a produção de populações monossexo de teleósteos.

Palavras-chave: aquicultura, inversão sexual, hormônio, androgênese, ginogênese.

Abstract

With the constant increase of global fish farming, the technique of monosex population has been developed with the purpose of rearing only individuals of the most productive gender. This translates into high economic gains, since it yields more meat per hectare of water surface, standardizes batches and prevents undesirable reproduction, among other advantages. Currently, monosex fish stocks are produced in at least 20 species of commercially important fish species in different countries. In Brazil, the technique has been used both for ornamental fish and meat fish. Based on the growing relevance of this technique on the international and national fish farming scenarios, this review discusses the advantages and disadvantages, as well as methods for the production of monosex populations of teleosts.

Keywords: aquaculture, sexual inversion, hormone, androgenesis, ginogenesis.

Introdução

A aquicultura é a atividade de produção de alimentos que mais tem se expandido no mundo nas últimas décadas devido à explosão demográfica e a constante busca por alimentos saudáveis, ao mesmo tempo em que a pesca extrativista já não atende a essa demanda (FAO, 2012). Com o fortalecimento desta atividade, avanços tecnológicos são o principal alvo de estudos em diferentes países, com o objetivo comum de aumentar ao máximo a produção de pescado por área de cultivo. A produção de lotes unissexuados, por exemplo, tem proporcionado alta rentabilidade na produção comercial de várias espécies de peixes. Dependendo da espécie, populações monossexo podem trazer benefícios, tais como: produção exclusiva do sexo mais pesado e/ou maior, supressão da reprodução em cativeiro, contenção de gastos energéticos com a atividade reprodutiva, uniformidade de tamanho dos lotes ao abate, redução dos efeitos da maturação sexual na aparência e na qualidade da carne, produção de ova (caviar), exuberância de cores, tamanhos e formatos de nadadeiras em peixes ornamentais (Arai, 2001; Cnaani e Levavi-Sivan, 2009; Budd et al., 2015), bem como a diminuição dos riscos de impactos ambientais decorrentes do escape de peixes exóticos para águas naturais (Beardmore et al., 2001). Devido à crescente importância econômica para a aquicultura nacional e mundial, a presente revisão aborda os fundamentos para produção de lotes unissexuados de peixes e os métodos utilizados para a obtenção destes animais, junto a uma visão geral do seu uso (comercial ou científico) na piscicultura.

Utilização de populações monossexo em teleósteos

O gonocorismo, que caracteriza ~95% dos teleósteos, geralmente inclui uma desigualdade fenotípica entre machos e fêmeas da mesma espécie, principalmente na fase adulta (pós-púbere). Na piscicultura, essa diferença pode representar ganhos econômicos significativos, ou seja, pode haver uma agregação de valor ao produto se forem produzidos somente indivíduos do sexo com superioridade zootécnica. Tais características podem estar relacionadas com a taxa de crescimento, tempo de maturação e idade, forma ou coloração do corpo

ou ainda composição da carcaça (Arai, 2001; Cnaani e Levavi-Sivan, 2009). Os estoques monossexo podem ainda ser vantajosos quando evitam a reprodução descontrolada em cativeiro de engorda, resultando em lotes uniformes e, portanto, de alto valor comercial (Cnaani e Levavi-Sivan, 2009; Turra et al., 2010).

O controle do sexo em peixes é um procedimento relativamente simples e de fácil sucesso. Essa manipulação é possível porque a formação de ovários e testículos nesta classe é muito tardia e, em comparação com os mamíferos, a via de diferenciação sexual é um processo relativamente flexível que pode ser afetado por diferentes fatores endógenos e exógenos (revisado por Devlin e Nagahama, 2002).

O primeiro estudo experimental de inversão sexual de peixe foi realizado em 1954, por Yamamoto (1958) utilizando o medaka *Oryzias latipes*. No âmbito de espécie comercial, o primeiro trabalho foi com salmónídeos na década de 80 (Donaldson e Hunter, 1982), quando lotes exclusivos de fêmeas foram produzidos. Até o início do século XXI, mais de 60 espécies de teleosteos distribuídas em 16 famílias tinham sido invertidas sexualmente com o uso de esteróides sexuais, aproximadamente 16 andrógenos e 12 estrógenos (Tab. 1; Piferrer, 2001).

Tabela 1: Espécies com produção de populações monossexo.

| Espécie | Sexo | Vantagem | Referências |
|----------------------------------|------|--------------------|------------------------------|
| <i>Anguilla anguilla</i> | F | Crescimento | Tzchori et al. (2004) |
| <i>Betta splendens</i> | M | Cor e nadadeiras | Kirankumar e Pandian (2002) |
| <i>Cyprinus carpio</i> | F | Crescimento | Grozea et al. (2007) |
| <i>Dicentrarchus labrax</i> | F | Crescimento | Navarro-Martín et al. (2009) |
| <i>Epinephelus marginatus</i> | M | Reprodutores | Sanches et al. (2009) |
| <i>Gadus morhua</i> | F | Qualidade da carne | Lin et al. (2012) |
| <i>Hippoglossus hippoglossus</i> | F | Crescimento | Hendry et al. (2003) |
| <i>Ictalurus punctatus</i> | M | Crescimento | Davis et al. (2007) |
| <i>Lepomis macrochirus</i> | M | Crescimento | Wang et al. (2008) |
| <i>Oncorhynchus mykiss</i> | F | Crescimento | Razmi et al. (2011) |
| <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> | F | Crescimento | Hunter et al. (1983) |
| <i>Oreochromis niloticus</i> | M | Crescimento | Drummond et al. (2009) |
| <i>Paralichthys lethostigma</i> | F | Crescimento | Luckenbach et al. (2003) |
| <i>Poecilia latipinna</i> | M | Nadadeira dorsal | Kavitha e Subramanain (2011) |
| <i>Poecilia reticulata</i> | M | Cor e nadadeira | Basavaraja et al. (2014) |
| <i>Pomoxis nigromaculatus</i> | M | Crescimento | Arslan e Phelps (2004) |
| <i>Puntius gonionotus</i> | F | Crescimento | Pongthana et al. (1999) |
| <i>Rhamdia quelen</i> | F | Crescimento | Junior et al. (2008) |
| <i>Salmo salar</i> | F | Qualidade de carne | Lee et al. (2004) |
| <i>Scophthalmus maximus</i> | F | Crescimento | Piferrer et al. (2004) |

Espécies de peixes em que há a produção (comercial ou experimental) de população monossexo. As letras F (feminino) e M (masculino) indicam o gênero superior zootecnicamente a ser produzido.

Com exceção de poucos exemplos, na maioria dos peixes de corte as fêmeas representam o gênero mais rentável (Beardmore et al., 2001), geralmente por apresentarem puberdade mais tardia que os machos. Esse fato explica os estudos voltados à produção de populações de fêmeas em linguado do sul *Paralichthys lethostigma* nos Estados Unidos (King et al., 2001), enguia europeia *Anguilla anguilla* em Israel (Tzchori et al., 2004), robalo *Dicentrarchus labrax* na Espanha e França (Navarro-Martín et al., 2009), bacalhau *Gadus morhua* na Noruega e Canadá (Lin et al., 2012), alabote *Hippoglossus hippoglossus* na Noruega, Canadá e Escócia (Hendry et al., 2003), sargo *Lepomis macrochirus* nos Estados Unidos (Wang et al., 2008), crappie *Pomoxis nigromaculatus* nos Estados Unidos (Arslan e Phelps, 2004) e barbo de Java *Puntius gonionotus* na Austrália (Pongthana et al., 1999). Outro uso consolidado de lotes femininos tem como objetivo a produção de ova. Em Israel, o governo produz populações monossexo de carpa comum *Cyprinus carpio* e as distribui para os produtores, para produção de ova, que é um produto altamente valorizado (Cnaani e Levavi-Sivan, 2009).

A criação de lotes masculinos é praticada em vários países, um exemplo clássico são as tilápias. Espécies desse gênero são altamente prolíferas nos tanques de piscicultura, gerando lotes com indivíduos de diferentes tamanhos. Como os machos apresentam crescimento mais rápido que as fêmeas, os lotes exclusivos de machos não só evitam a reprodução indesejada como aumentam a produção (Bombardelli et al., 2007; Zanoni et al., 2013). Quando se trata de peixes ornamentais, em algumas espécies, os machos são preferidos pela presença de nadadeiras de visual atrativo e/ou coloração intensa (Piferrer e Lim, 1997). Estudos voltados para a masculinização já foram realizados para o betta *Betta splendens* (Kirankumar e Pandian, 2002; Kipouros et al., 2011), por exemplo.

A manipulação do sexo fenotípico tem sido ainda utilizada para manejo de reprodutores. Em ambiente natural, a inversão sexual do hermafrodita garoupa verdadeira *Epinephelus marginatus*, acontece quando há uma redução do número de machos da população. Em cativeiro, a andronização de fêmeas é necessária para a obtenção de reprodutores machos no plantel (Sanches et al., 2009).

Produção de lotes monossexo em peixes

A produção de lotes monossexo de peixes pode ser obtida por hidridização, manipulações genéticas, como ginogênese e androgênese, ou com o uso de esteróides sexuais. Ainda, em algumas espécies de peixe a masculinização é feita com a administração de inibidores de aromatase (por exemplo, Fradozole). A inibição da aromatase, e consequente bloqueio da conversão de testosterona a estradiol, resulta em uma masculinização mais próxima à fisiológica se comparado à administração direta de andrógenos.

Hibridização interespécies

A maioria das pesquisas sobre a base genética e o potencial comercial de híbridos monossexo foi realizada em tilápia (Beardmore et al., 2001). Segundo Cnaani e Levavi-Sivan (2009), as tilápias são o exemplo mais conhecido de hibridização interespécie para obtenção de lotes exclusivamente masculinos. Para obtenção de lotes exclusivamente femininos os mesmos autores relatam o sucesso na hibridização de diferentes espécies da família Moronidae.

Ginogênese e androgênese

A ativação do desenvolvimento embrionário sem a contribuição do genoma paterno (ginogênese) ou do genoma materno (androgênese) são manipulações genéticas que podem ser utilizadas para a produção de populações monossexuadas (Komen e Thorgaard, 2007; Piferrer et al., 2009). A ginogênese consiste em fecundar um ovócito normal com um espermatozóide tratado com radiação ultravioleta ou gama para a destruição do seu conteúdo nuclear, derivando assim populações exclusivamente femininas por conterem apenas material genético idêntico ao da progenitora (Komen e Thorgaard, 2007). Androgênese requer que o ovócito seja tratado com radiação, seguido de fertilização com espermatozóide normal (Pandian, 2014). Tanto na ginogênese quanto na androgênese é necessário que o embrião haplóide se torne diplóide, e isto é realizado através de um choque térmico ou bórico administrado durante a primeira divisão celular (Komen e Thorgaard, 2007).

Inversão sexual hormonal

A inversão sexual de peixes com uso de hormônio pode ser obtida em uma (método direto) ou mais (método indireto) etapas, dependendo do sexo desejado e do sistema de determinação sexual da espécie (altamente variável em teleosteos). Estas técnicas são mais aplicadas em gonocóricos, mas também têm sido bem sucedidas em algumas espécies hermafroditas (Beardmore et al., 2001).

Para fins do controle do sexo, seja pelo método direto ou indireto, três formas de administração dos hormônios podem ser usadas: i) tratamento dietético, com incorporação do hormônio na ração; ii) imersão; iii) injeções, que é a via menos utilizada devido à dificuldade de aplicação (Beardmore et al., 2001).

Método direto

O método direto consiste na terapia hormonal durante as fases iniciais de desenvolvimento larval para a produção direta do sexo fenotípico desejado (Fig. 1A). Para formação de fêmeas são utilizados estrógenos e para formação de machos são empregados andrógenos ou inibidores estrogênicos. É o único método que pode ser aplicado em qualquer espécie de peixe, independentemente do sistema de determinação sexual (Piferrer, 2001). Entretanto, sua eficácia é espécie-específica e sua utilização, se não aplicada corretamente, pode implicar em riscos de contaminação da água e do solo. Se aplicado corretamente, é considerado seguro: i) por utilizar doses hormonais baixas; ii) pela curta duração do tratamento (pode variar entre dias, semanas ou no máximo dois meses); iii) pela precocidade do tratamento (e portanto término muito anterior ao abate); iv) pela rápida eliminação dos hormônios (os peixes eliminam cerca de 100% do hormônio em questão de 3-4 semanas após o final de tratamento; Piferrer, 2001). Nos EUA, a inversão sexual direta de tilápia é um procedimento licenciado, enquanto que na Comunidade Europeia, o uso direto de hormônios é proibido pela legislação (Penman e McAndrew, 2000).

Método indireto (duas etapas)

O uso do método indireto é possível apenas para as espécies em que seja conhecido o sistema de determinação sexual, que, ademais, deve ser obrigatoriamente cromossômico simples do tipo XX/XY ou ZW/ZZ. Este método é mais demorado, a grande vantagem, porém é que uma vez conseguidos os parentais invertidos, todos os lotes descendentes serão monossexuados e com isso serão peixes livres de tratamento hormonal (Piferrer, 2001; Devlin e Nagahama, 2002).

Para a produção exclusiva de fêmeas em espécies com sistema cromossômico XX/XY ou de machos em espécies ZW/ZZ, são necessárias apenas duas etapas. No primeiro caso, ocorre a masculinização do lote através

do método direto (Fig. 1B), resultando em uma população com machos normais (XY) e neo-machos (XX), que são fêmeas invertidas (apresentam o fenótipo masculino, inclusive com produção de sêmen). Esses neo-machos cruzados com fêmeas normais darão origem a uma população 100% feminina, por produzirem apenas espermatozoides com cromossomo sexual X. Portanto, uma vez identificados, os neo-machos devem ser mantidos como reprodutores do plantel. Este método já é utilizado há muito tempo em escala comercial no cultivo de fêmeas de truta arco-íris, no Reino Unido (Bye e Lincoln, 1986) e de salmão no Canadá (Donaldson, 1996). Para identificar os neo-machos pode-se utilizar marcadores sexuais genéticos, mas na ausência de marcador, pode ser feito um teste de progênie (Fig. 1B; Piferrer, 2001; Devlin e Nagahama, 2002). No segundo caso, as mesmas etapas são realizadas, mas com a produção de linhagens de neo-fêmeas ZZ (machos feminizados fenotipicamente), que quando cruzadas com machos normais (ZZ) produzem 100% de descendentes machos.

Método indireto (três etapas)

A produção exclusiva de machos em espécies XX/XY pode ser feita por meio da produção de matrizes “supermachos” (machos YY ao invés de XY). É um dos mais eficientes métodos de produção de machos, porém, em contrapartida, é um método demorado, pois a obtenção do reprodutor YY demanda três descendências (Devlin e Nagahama, 2002), conforme ilustrado na Fig. 1C.

A primeira etapa consiste na produção das neo-fêmeas e sua correta identificação, seja por marcador genético ou cariotipagem ou ainda em último caso, por teste de progênie (Fig. 1C). Na segunda etapa é realizado o cruzamento entre neo-fêmeas e machos normais, que resultará na produção de 75% de machos e 25% de fêmeas. Dentre esses 75% de machos, 50% serão machos normais (XY) e 25% os machos de interesse (YY), chamados supermachos. O posterior cruzamento de supermachos com fêmeas normais dará origem a proles inteiras de machos (XY), como mostra a Fig. 1C. Segundo Turra, et al. (2010), este método é muito promissor na tilapicultura.

Da mesma forma, para a produção indireta de lotes de fêmeas nas espécies em que a fêmea é heterogamética (ZW/ZZ), deve ocorrer a produção de matrizes superfêmeas (WW). Sua obtenção realiza-se nas mesmas três etapas, seguindo os mesmos procedimentos, porém com andrôgeno na primeira etapa para produção de neo-machos. Na segunda etapa o cruzamento dos neo-machos com fêmeas normais origina as matrizes superfêmeas (WW) Fig. 1D (Piferrer, 2001).

Atualmente, os marcadores associados ao sexo têm se tornado muito úteis para a identificação precoce de machos e fêmeas, especialmente nas espécies que não apresentam dimorfismo sexual (Martínez et al., 2014). Assim, o uso destes marcadores pode acelerar os processos de estabelecimento de populações monossexo (Penman e Piferrer, 2008), especialmente em se tratando do método indireto.

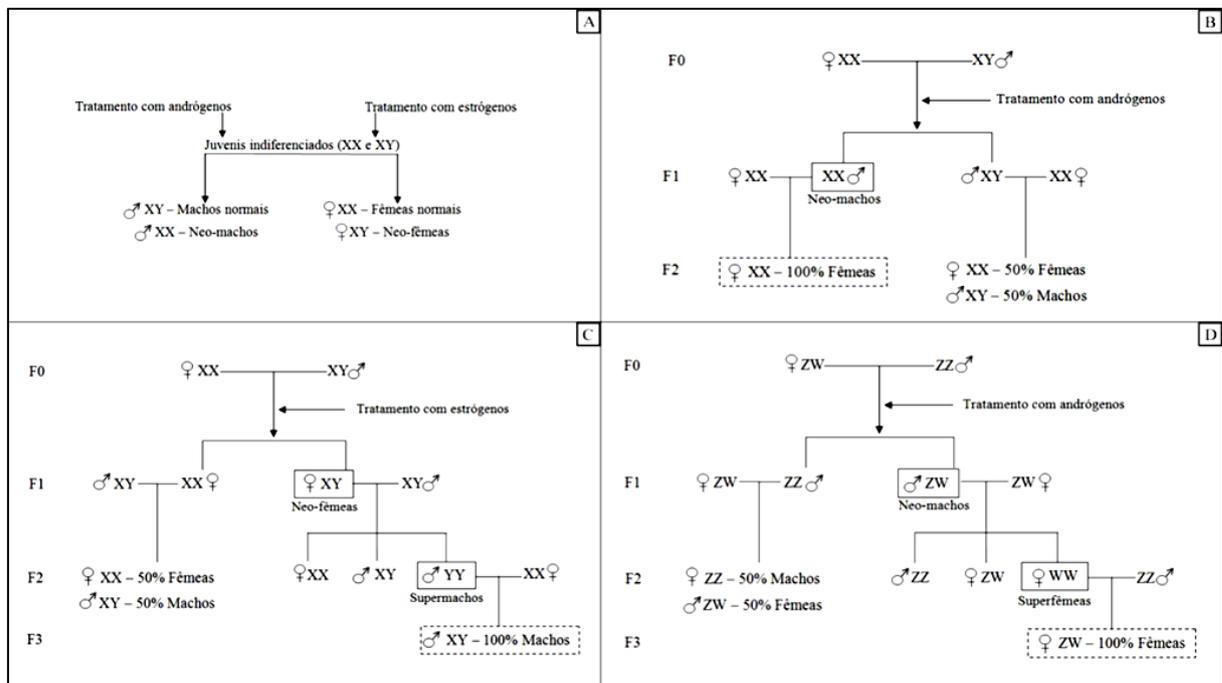


Figura 1. Diagrama ilustrando os métodos para produção monossexo em teleosteos. A) Método direto. B) Método indireto de produção de lote monossexo feminino em espécies XX/XY. C) Método indireto de produção de lote monossexo masculino em espécies XX/XY. D) Método indireto de produção de lote monossexo feminino em espécies ZW/ZZ. Símbolos indicam o sexo fenotípico ♀ feminino e ♂ masculino) e letras indicam o sexo genético (ZW feminino e ZZ masculino). Adaptado de Piferrer (2001).



Considerações finais

Em piscicultura, uma vez identificada a superioridade de um gênero em relação ao outro, busca-se a produção de lotes monossexo, com o objetivo de otimizar a produção ao máximo e com isso alcançar maior rentabilidade, sem negligenciar a sustentabilidade e segurança biológica da atividade. A técnica de se produzir peixes de um só sexo só é possível porque os mecanismos de determinação e diferenciação sexual em teleostes são variados e principalmente muito lábeis.

Entretanto, para se desenvolver essa tecnologia para uma determinada espécie, muitos estudos iniciais são necessários. Dentre eles destacam-se a identificação do mecanismo de determinação sexual da espécie, do processo de diferenciação das gônadas, bem como desenvolvimento de métodos de sexagem precoce.

São vários os métodos de obtenção desses lotes, e cada um com vantagens e desvantagens inerentes, que devem ser ponderadas em conjunto. Além disso, deve se considerar o preço de investimento para cada método, as informações disponíveis sobre a biologia da espécie, a legislação vigente em relação ao uso de hormônios, bem como a própria disponibilidade desses hormônios, qualificação da mão-de-obra, estruturas adequadas, ente outros fatores mais práticos. Porém, acima de tudo, uma vez alcançado experimentalmente um protocolo de inversão sexual eficiente, se faz necessária uma validação econômica do uso de populações monossexo antes de sua recomendação para o mercado produtor.

A produção de populações monossexo é praticada há muitos anos nos países em que a aquicultura já é uma indústria consolidada e, nesses casos, a técnica tem permitido a otimização da lucratividade da cadeia produtiva do pescado. No Brasil, ainda são poucas as espécies em que são produzidas populações monossexo comerciais, com destaque para a tilápia (corte) e o beta (ornamental). Esse cenário se deve, em grande parte, pela falta de identificação correta e metódica das diferenças fenotípicas (com potencial econômico) entre machos e fêmeas nas espécies produzidas no país. Contudo, acredita-se que com o rápido desenvolvimento e tecnificação da piscicultura nacional, aliado ao grande esforço de PD (pesquisa e desenvolvimento) que se tem feito no Brasil na área de aquicultura, essa situação vá se alterar de uma forma positiva. Buscas por desenvolvimento de tecnologias que aumentem a produção têm sido constantes entre os grupos de pesquisa. Portanto, num futuro breve, novas espécies de alto potencial econômico e de importância na cadeia produtiva nacional podem se tornar alvo de pesquisas visando o desenvolvimento desta tecnologia, que representa um elo entre pesquisas básicas e aplicadas.

Referências

- Amaral Junior H, Nunes MFS, Garcia S.** Análise de diferentes dosagens de hormônio na ração, para definição de um protocolo de feminilização do jundiá *Rhamdia quelen*. Revista Eletrônica de Veterinária, v.9, p.1-7, 2008.
- Arai K.** Genetic improvement of aquaculture finfish species by chromosome manipulation techniques in Japan. Aquaculture, v.197, p.205-228, 2001.
- Arslan T, Phelps RP.** Production of monosex male black crappie, (*Pomoxis nigromaculatus*), populations by multiple androgen immersion. Aquaculture, v.234, p.561-573, 2004.
- Basavaraja N, Chandrashekhara BH, Ahamad RM.** Norethindrone-induced masculinization and progeny testing in guppy, *Poecilia reticulata*, Indian Journal of Experimental Biology, v.52, p.232-236, 2014.
- Beardmore JA, Mair GC, Lewis RI.** Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems, and prospects. Aquaculture, v.197, p.283-301, 2001.
- Bombardelli RA, Sanches EA, Pinto DFH, Marcos RM, Barbero L.** Idade de maior sensibilidade de tilápia-do-nilo aos tratamentos de masculinização por banhos de imersão. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, p.1-6, 2007.
- Budd AM, Banh QQ, Domingos JA, Jerry DR.** Sex Control in Fish: Approaches, Challenges and Opportunities for Aquaculture. J Mar Sci Eng, v.3, p.329-355, 2015.
- Bye VJ, Lincoln RF.** Commercial methods for the control of sexual maturation in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R). Aquaculture, v.57, p.299-309, 1986.
- Cnaani A, Levavi-Sivan B.** Sexual development in fish, practical applications for aquaculture. Sexual Development, v.3, p.164, 2009.
- Davis KB, Goudie, CA, Simco, BA.** Sex genotype and sex phenotype contribute to growth differences between male and female channel catfish. North American Journal of Aquaculture, v.69, p.324-329, 2007.
- Devlin RH, Nagahama Y.** Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. Aquaculture, v.208, p.191-364, 2002.
- Donaldson EM, Hunter GA.** Sex control in fish with particular reference to salmonids. Can J Fish Aquat Sci, v.39, p.99-110, 1982.
- Donaldson EM.** Manipulation of reproduction in farmed fish. Animal Reproduction Science, v.42, p.381-392, 1996.
- Drummond CD, Murgas LDS, Vicentini B.** Growth and survival of tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus,



- 1758) submitted to different temperatures during the process of sex reversal. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.895-902, 2009.
- Dunham RA, Majumdar K, Hallerman E, Bartley D, Mair G, Hulata G, Liu Z, Pongthana N, Bakos J, Penman D, Gupta M, Rothlisberg P, Hoerstgen-Schwark G.** Review of the status of aquaculture genetics. In: *Aquaculture in the Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*, Bangkok, Thailand, p.137-166, 2000
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** The state of world fisheries and aquaculture 2012. Fisheries and Aquaculture Department. Rome, p.230, 2012.
- Grozea A, Dumitrescu G, Bănăţean-Dunea I, Muscalu-Nagy C, Goina D.** Attempts of induction of sex-reversal in carp (*Cyprinus carpio* Var. Koi) using testosterone undecanoate. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, v.40, p.17-22, 2007.
- Hendry CI, Martin-Robichaud DJ, Benfey TJ.** Hormonal sex reversal of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, v.219, p.769-781, 2003.
- Hunter GA, Donaldson EM, Stoss J, Baker I.** Production of monosex female groups of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) by the fertilization of normal ova with sperm from sex-reversed females. *Aquaculture*, v.33, p.355-364, 1983.
- Imslund AK, Folkvord A, Grung GL, Stefansson SO, Taranger GL.** Sexual dimorphism in growth and maturation of turbot, *Scophthalmus maximus* (Rafinesque, 1810). *Aquaculture Research*, v.28, p.101-114, 1997.
- Kavitha P, Subramanian P.** Effect of *Tribulus terrestris* on monosex production in *Poecilia latipinna*. *Current Science*, v.101, p.100-104, 2011.
- Kavumpurath S, Pandian TJ.** Production of a YY female guppy, *Poecilia reticulata*, by endocrine sex reversal and progeny testing. *Aquaculture*, v.118, p.183-189, 1993.
- King NJ, Nardi GC, Jones CJ.** Sex-linked growth divergence of summer flounder from a commercial farm: are males worth the effort? *J Appl Aquac*, v.11, p.77-88, 2001.
- Kipouros K, Paschos I, Gouva E, Ergolavou A, Perdikaris C.** Masculinization of the ornamental Siamese fighting fish with oral hormonal administration. *Science Asia*, v. 37, p. 277-280, 2011.
- Kirankumar S, Pandian TJ.** Effect on growth and reproduction of hormone immersed and masculinized fighting fish *Betta splendens*. *Journal of Experimental Zoology*, v.293, p.606-616, 2002.
- Kocour M, Linhart O, Gela D.** Results of comparative growing test of all-female and bisexual population in two-year-old common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture International*, v.11, p.369-378, 2003.
- Komen H, Thorgaard GH.** Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: a review. *Aquaculture*, v.269, p.150-173, 2007.
- Lee P, King H, Pankhurst N.** Preliminary assessment of sex inversion of farmed Atlantic salmon by dietary and immersion androgen treatments. *North American Journal of Aquaculture*, v.66, p.1-7, 2004.
- Lin S, Benfey TJ, Martin-Robichaud DJ.** Hormonal sex reversal in Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, v.364-365, p.192-197, 2012.
- Luckenbach JA, Godwin J, Daniels HV, Borski RJ.** Gonadal differentiation and effects of temperature on sex determination in southern flounder (*Paralichthys lethostigma*). *Aquaculture*, v.216, p.315-327, 2003.
- Martínez P, Viñas AM, Sánchez L, Díaz N, Ribas L, Piferrer F.** Genetic architecture of sex determination in fish: Applications to sex ratio control in aquaculture. *Frontiers in Genetics*, v.5, p.1-13, 2014.
- Navarro-Martín L, Blázquez M, Piferrer F.** Masculinization of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) by treatment with an androgen or aromatase inhibitor involves different gene expression and has distinct lasting effects on maturation. *General and Comparative Endocrinology*, v.160, n.1, p.3-11, 2009.
- Pandian TJ.** *Environmental Sex Differentiation in Fish*. CRC Press, vol. 32014.
- Penman DJ, McAndrew BJ.** Genetics for the management and improvement of cultured tilapias. In: *Tilapias: Biology and exploitation*. Springer Netherlands. p.227-266. 2000.
- Penman DJ, Piferrer F.** Fish gonadogenesis. Part I: genetic and environmental mechanisms of sex determination. *Reviews in Fisheries Science*, v.16, p.16-34, 2008.
- Piferrer F, Beaumont A, Falguière JC, Flajshans M, Haffray P, Colombo L.** Polyploid fish and shellfish: Production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture*, v.293, p.125-156, 2009.
- Piferrer F, Cal RM, Gómez C, Álvarez-Blázquez B, Castro J, Martínez P.** Induction of gynogenesis in the turbot (*Scophthalmus maximus*): Effects of UV irradiation on sperm motility, the Hertwig effect and viability during the first 6 months of age. *Aquaculture*, v.238, p.403-419, 2004.
- Piferrer F, Lim LC.** Application of sex reversal technology in ornamental fish culture. *Aquarium Sciences and Conservation*, v.1, p.113-118 1997.
- Piferrer F.** Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture*, v.197, p.229-281, 2001.
- Pongthana N, Penman DJ, Baoprasertkul P, Hussain MG, Islam MS, Powell SF, McAndrew BJ.** Monosex female production in the silver barb (*Puntius gonionotus*). *Aquaculture*, v.173, p.247-256, 1999.
- Razmi K, Naji T, Alizadeh M., Hoseinzadeh SH.** Hormonal sex reversal of rainbow trout (*Oncorhynchus*



- mykiss*) by ethynylestradiol-17 α (EE₂). Iranian Journal of Fisheries Sciences, v.10, p.304-315, 2011.
- Rothbard S.** A review of ploidy manipulations in aquaculture: the Israeli experience. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, v.58, p.266-279, 2006.
- Sanches EG, Oliveira IR, Serralheiro PCS.** Inversão sexual da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus*. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v.10, p.198-209, 2009.
- Turra EM, Oliveira DAA, Teixeira EA, Luz RK, Prado SA, Melo DC, Faria PMC, Sousa AB.** Controle reprodutivo em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por meio de manipulações sexuais e cromossômicas. Revista Brasileira de Reprodução Animal, v.34, p. 1-28, 2010.
- Tzchori I, Degani G, Elisha R, Eliyahu R, Hurvitz A, Vaya J, Moav B.** The influence of phytoestrogens and estradiol-17 β on growth and sex determination in the European eel (*Anguilla anguilla*). Aquaculture Research, v.35, p.1213-1219, 2004.
- Wang H, Gao Z, Beresa B, Ottobreb J, Wallata G, Tiua L, Rappa D, O'Bryanta P, Yaoa H.** Effects of estradiol-17 β on survival, growth performance, sex reversal and gonadal structure of bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). Aquaculture, v.285, p.216-223, 2008.
- Yamamoto T.** Artificial induction of functional sex-reversal in genotypic females of the medaka (*Oryzias latipes*). J. Exp. Zool., v.137, p.227-263, 1958.
- Zanoni MA, Leal TV, Caetano Filho M, de Oliveira CAL, Ribeiro RP.** Inversão sexual de alevinos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) variedade Supreme, submetidos a diferentes temperaturas durante fase de diferenciação sexual. Semina: Ciências Agrárias, v.34, p.455-466, 2013.
-