



A utilização de baixo número de matrizes em piscicultura: perda de recursos genéticos para programas de repovoamento

The effect of a reduced number of breeders on fish culture: loss of genetic resource for stocking programs

Alexandre B. de Sousa^{1,4}, Daniel C. de Carvalho², Daniela C. de Melo², Arno S. Seerig², Denise A. A. de Oliveira², Lincoln P. Ribeiro¹, Edgar A. Teixeira², Daniel V. Crepaldi¹, Paulo M. C. Faria³

¹Setor de Biologia do Colégio Técnico da UFMG, Belo Horizonte, MG, 31270-901 Brasil

²Escola de Veterinária da UFMG, Belo Horizonte, MG, 31270-010, Brasil

³Mestrando em Zootecnia

⁴Correspondência: abenvindo@coltec.ufmg.br

Resumo

A introdução em ecossistemas naturais de peixes de cativeiro é comum e pode ser intencional ou acidental. Frequentemente, essa prática ameaça à integridade genética da população receptora. Uma prática comum nos peixamentos é a utilização de programas de cultivo, no qual matrizes selvagens são capturadas e reproduzidas em cativeiro, e posteriormente sua progênie é solta no meio ambiente. Essa prática pode ser nociva para as populações nativas, devido à redução do tamanho efetivo da população e da diversidade genética do estoque receptor. Neste trabalho os impactos dessas práticas em populações naturais são discutidos.

Palavras chave: piscicultura, repovoamento, translocação, recursos genéticos.

Abstract

The introduction of cultured fish in freshwater ecosystems is common and can be intentional or accidental. Usually this action threatens the genetic integrity of the receptor population. A common practice is supportive breeding in which native breeders are captured and reproduced in captive systems and their offsprings are released into the environment. This action can also be harmful due to reduction of effective size and genetic diversity of the natural population. In this paper the impacts of such actions are discussed.

Keywords: fish culture, stocking, translocation, genetic resource.

Introdução

A aquacultura é o ramo da produção animal que mais tem crescido nas últimas duas décadas, seja para a produção de alimento, produção de alevinos, prática esportiva, ou ainda, para a recomposição dos efetivos numéricos das populações de peixes. A reintrodução, buscando recuperar populações e/ou espécies ameaçadas, já vem ocorrendo há algum tempo com animais provenientes de estações de piscicultura. Em geral, esses animais são oriundos de um número reduzido de reprodutores, às vezes de um só casal. Até o momento, não têm sido levados em consideração os aspectos genéticos desse tipo de ação, como a origem das matrizes, a redução da variabilidade genética que ocorre devido ao reduzido número de reprodutores na fundação do estoque, o efeito que esses novos estoques cultivados poderão exercer sobre as populações nativas e, ainda, se esses estoques cultivados podem responder às pressões seletivas do ambiente natural.

O termo translocação é utilizado para descrever o movimento de espécies ou linhagens para fora de sua área de origem, por ação antrópica. Translocações são usualmente utilizadas para os propósitos de peixamentos/repovoamentos e aquacultura, sendo, na maioria dos casos, uma piscicultura a origem dos reprodutores.

A soltura de peixes cultivados no ecossistema aquático natural é uma ação comum no Brasil, especialmente depois da significativa expansão da aquacultura na última década. Essa soltura pode ser intencional, no caso de peixamentos (introdução, reintrodução, intensificação), ou acidental, no caso de escapes de estações de aquacultura. Apesar da introdução de material genético em populações selvagens, essa ação pode ser, em determinadas situações, conveniente, por exemplo, quando um estoque natural foi exaurido por um longo tempo, mas, na maioria dos casos, essa prática é carregada de riscos a respeito da integridade genética do estoque receptor.

Diversos estudos têm mostrado os possíveis impactos genéticos da liberação de peixes cultivados no ambiente aquático (Hindar *et al.*, 1991; Ryman *et al.*, 1995; Rhymer e Simberloff, 1996; Cross, 2000; Johnson, 2000; Youngson *et al.*, 2001).

Esses impactos genéticos da liberação de peixes cultivados em populações selvagens podem ser: a introgressão de material genético exógeno, a perda de material genético nos animais usados para repovoamento e a redução do tamanho efetivo da população, essa última, uma situação específica que ocorre nos casos de

peixamentos com peixes nativos (programas de cultivo).

Introgressão de material genético exógeno

Riscos envolvidos

Chamamos de introgressão a introdução com posterior fixação de um material genético novo em uma determinada população. A introgressão de material genético exógeno em uma população nativa acontece quando as características genéticas da população cultivada são diferentes da população selvagem, assim, um cruzamento entre a população cultivada e a selvagem é passível de ocorrer.

A constituição genética da população nativa pode ser permanentemente alterada pela perda de material genético importante. Genes ou complexos gênicos favorecidos pela seleção artificial ou domesticação podem não ser adaptados ao ambiente natural, provocando assim, erosão do *pool* gênico nativo, bem como enfraquecimento ou mesmo a perda da população natural, pela competição entre peixes nativos e peixes introduzidos, que por último demonstram baixo sucesso reprodutivo (Ryman *et al.*, 1995).

Infelizmente, *a priori*, apenas predições gerais podem ser feitas, baseando-se nas teorias da genética de populações, se alguns parâmetros forem conhecidos, como o tamanho e a história evolutiva da população cultivada e natural, as forças seletivas atuantes, etc. Mas normalmente há poucas informações sobre as características genéticas das populações, especialmente as selvagens (Ryman *et al.*, 1995).

Exemplos de salmonídeos

Salmonídeos (trutas e salmões, dentre outros) são um bom modelo para se investigar o impacto da introdução no meio ambiente de peixes provenientes da aquíicultura. Há que se lembrar que o comportamento reprodutivo de tais peixes que os fazem retornar ao seu local de nascimento leva a marcantes diferenças entre os grupos, populações e estoques.

Dos numerosos estudos analisados, não foi encontrado nenhum desempenho melhor de peixes criados em cativeiros do que peixes selvagens no ambiente natural, sendo a redução da taxa de sobrevivência o evento mais observado (Cross, 2000).

Em um experimento desenhado para comparar o valor adaptativo do salmão do Atlântico (*Salmo salar*) nativo, cultivado e de seus híbridos no ambiente natural na Irlanda (McGinnity *et al.*, 1997), quatro categorias de famílias (selvagem X selvagem, cultivado X cultivado, selvagem X cultivados híbridos, cultivados X selvagem híbrido) foram produzidas. Os ovos foram liberados em riachos e, alguns meses mais tarde, juvenis foram capturados e designados às respectivas famílias por meio da técnica de identificação de parentesco utilizando marcadores moleculares microsatélites. Enquanto o esperado era sobrevivência igual, os alevinos selvagens mostraram uma sobrevivência significativa melhor do que o esperado, os cultivados sobreviveram menos, e os híbridos ficaram próximos do esperado.

Outros trabalhos recentes têm utilizado marcadores moleculares altamente polimórficos no sentido de avaliar as interações e o grau de introgressão genética de várias espécies de salmonídeos utilizadas em peixamentos de estoques cultivados em populações naturais (Fleming *et al.*, 2000 (salmão do Atlântico, *Salmo salar*); Koskinen *et al.*, 2002 (grayling, *Thymallus thymallus*); Ruzzante *et al.*, 2001, Hansen, 2002 (Truta, *Salmo trutta*). Em todos esses trabalhos, foi observado menor valor adaptativo para os estoques cultivados em ambiente natural.

Redução de diversidade genética em animais cultivados: o exemplo do surubim pintado (Pseudoplatystoma corruscans)

O surubim pintado é a espécie nativa de maior valor econômico da piscicultura brasileira, tendo seu cultivo se espalhado rapidamente pelas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país. Ocorrendo nas bacias do Paraná, Paraguai e São Francisco, esse animal é um dos principais objetivos tanto da pesca profissional, quanto da amadora. Esse interesse tornou-o candidato natural à exploração comercial, visando ao seu cultivo de forma intensiva. A despeito desses fatos, suas populações nativas estão reduzidas e, em algumas sub-bacias, ele praticamente desapareceu. A reintrodução, buscando recuperar esses grupos, já vem ocorrendo há algum tempo com animais provenientes de cultivo. Em geral, as matrizes utilizadas são poucas, na maioria das vezes, de um só casal. Os produtores têm se valido de populações nativas para a obtenção de matrizes, embora, com as facilidades propiciadas pela piscicultura, matrizes cultivadas vêm conquistando espaço junto ao mercado.

Uma das questões chave relacionadas à aquíicultura é a redução da variabilidade genética dos estoques cultivados devido ao uso de poucos casais na obtenção de alevinos (Norris *et al.*, 1999). Sousa (2003) analisou com o auxílio de marcadores moleculares um grupo mantido em cativeiro na Escola de Veterinária da UFMG, filhos de um casal proveniente da natureza, frente a estoques nativos provenientes de diferentes pontos do alto e médio São Francisco. A similaridade genética, isto é, a presença de alelos comuns entre os indivíduos de um

mesmo grupo e a taxa de polimorfismo, ou seja, a variação da presença ou não de um determinado alelo foram verificadas assim, quanto maior a similaridade genética, menor a diversidade genética e quanto maior a taxa de polimorfismo, maior a diversidade genética do estoque. Os dois grupos tinham como origem a mesma bacia hidrográfica. Diferenças entre os mesmos foram claramente detectadas naquele estudo com uma substancial redução de variabilidade no grupo cultivado. Os animais do grupo cultivado mostraram uma maior similaridade genética entre os indivíduos ($0,803 \pm 0,66$) e menor taxa de polimorfismo (42,86%) que os animais nativos, que apresentaram valores de similaridade de $0,526 \pm 0,131$, e taxa de polimorfismo de 97,14%. Esses dados parecem indicar ter havido a fixação dos alelos mais comuns ou mesmo a perda de alelos raros, o que explicaria a redução na taxa de polimorfismo.

Efeito semelhante já foi descrito em salmões por Norris *et al.* (1999) e em carpas por Desvignes *et al.* (2001). Segundo esses autores, quando uma população passa por um efeito de gargalo, muitos alelos com baixas frequências são eliminados. A utilização de apenas um casal para formar a população da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais levou ao estabelecimento de um efeito fundador, ocasionando a redução da variabilidade genética nesse grupo.

A utilização de marcadores moleculares para monitoramento genético de estoques nativos e cultivados

Os mais recentes avanços genéticos, tais como a utilização dos marcadores moleculares, oferecem novas possibilidades no monitoramento do impacto genético de peixes cultivados em estoques naturais.

O aprimoramento das técnicas de biologia molecular de amplificação de DNA (tal como PCR- Reação em Cadeia da Polimerase) permitiu a análise de pequenas quantidades de tecido, mesmo em museus (desde que conservados adequadamente, formol, por exemplo, degrada DNA, enquanto álcool etílico e metanol são bons conservantes). Assim, tornou-se possível a execução de análises com amostras de populações ancestrais e compará-las com as populações contemporâneas, a fim de verificar se alterações na constituição genética ocorreram ao longo do tempo. (Nielsen *et al.*, 2001; Koskinen *et al.*, 2002; Hansen, 2002).

Os microssatélites (regiões de DNA não codificantes e mediamente repetitivas que variam de 2 a 5 pares de bases) são os marcadores moleculares mais utilizados nessa área devido ao seu elevado poder de resolução, já que são regiões com altas taxas de mutação e muito polimórficas.

Utilizando esses métodos, Hansen (2002) examinou o impacto em longo prazo, dos peixamentos de truta doméstica nas populações selvagens desse peixe em dois rios em Jutland, Dinamarca. Foi estimado que, em um rio, a introgressão genética de trutas domesticadas era pouco significativa, aproximadamente de 6%, e a maioria dos indivíduos não eram híbridos, resultado que foi justificado devido ao baixo valor adaptativo e baixo desempenho da truta doméstica na natureza. No outro rio estudado, foi detectada uma forte contribuição genética da truta doméstica (57-58%). Nesse caso, a sobrevivência da truta doméstica e sua capacidade de cruzamento com os estoques de trutas selvagens foram as hipóteses levantadas para explicar o elevado grau de introgressão. Deve ser ressaltado que, pela análise das amostras históricas, os estoques locais nos dois rios não eram diferentes um do outro antes do começo dos programas de peixamento.

Diferenças entre estoques nativos e cultivados também têm sido relatadas para outras espécies em aquacultura, como: camarões (Xu *et al.*, 2001), acará-disco (Koh *et al.*, 1999), salmões (Norris *et al.*, 1999).

Peixamentos com indivíduos não domesticados (supportive breeding)

No caso dos peixamentos, o objetivo é duplo: maximizar o desempenho dos alevinos provenientes de reprodutores (matrizes), enquanto diminuir os efeitos prejudiciais na população receptora. A idéia é produzir uma população grande e auto sustentável por um único ou restrito número de intervenções.

O ponto principal na translocação para peixamentos é a escolha das matrizes utilizadas na produção dos estoques. A translocação entre grupos de populações localmente diferenciados deve ser evitada, assim como medidas para impedir mudanças genéticas, como depressão endogâmica, a qual ocorre com relativa frequência na aquacultura, e a não utilização de estratégias de melhoramento genético.

Inadvertidamente, a seleção doméstica em piscicultura pode ser difícil de ser evitada, assim as matrizes para serem utilizadas no cruzamento para produção de estoques nos repovoamentos não devem permanecer em cativeiro por mais de uma geração (Cross, 2000). Frequentemente, com o objetivo de aumentar as populações nativas locais, algumas matrizes selvagens devem ser trazidas para o cativeiro e sua prole liberada no ambiente natural. Nesse caso, não ocorre introgressão de material genético exógeno, e adaptações às condições artificiais podem ser minimizadas (Magoulas, 1998).

O ponto negativo dessa prática, frequentemente descrita como programa de cultivo (supportive breeding), é seu impacto no tamanho efetivo genético da população, qual seja, o número de indivíduos da população que realmente contribuem para a manutenção da variabilidade genética. Isso é equivalente ao tamanho de uma população ideal: uma população com a razão sexual de 1:1, cruzamentos ao acaso, sem sobreposição de gerações e número equivalente de progênie por família. Alterações das condições naturais da população ideal resultam na redução do tamanho efetivo. Populações com tamanho efetivo pequeno sofrem efeitos prejudiciais

nas características do valor adaptativo da população, devido à endogamia, também chamada consangüinidade.

Os programas de cultivo podem reduzir drasticamente o tamanho efetivo da população, uma vez que a proporção da progênie obtida em cativeiro é freqüentemente muito maior do que a selvagem, apesar do fato de que o contingente populacional é aumentado.

Dessa maneira, programas de cultivo representam uma troca: há um ganho na produção total de progênie, mas, ao mesmo tempo, há perda da variabilidade genética, devido à redução do tamanho efetivo da população.

Se uma determinada população foi drasticamente reduzida e está em risco iminente de desaparecimento, é logicamente indicada a introdução de peixes, ainda que provenientes de cultivo, mas cuidados devem ser tomados na prevenção de problemas relacionados à perda da variabilidade genética. Uma medida que pode ser tomada nesse sentido é aumentar o quanto for possível a proporção de reprodutores cruzados em cativeiro. Estudos recentes, entretanto, vêm mostrando que a diminuição no tamanho efetivo da população pode não ser necessariamente um problema sobre gerações múltiplas, se o programa de cruzamento adotado resultar em um substancial aumento do tamanho da população (Wang e Ryman, 2001, Duchesne e Bernatchez, 2002).

Conclusões

Em relação à utilização de animais provenientes de cultivo para fins de recomposição de efetivos numéricos, deve ser levada em consideração uma vasta gama de fatores, tais como: a interação entre os animais cultivados e o ambiente natural, a interação entre as populações cultivadas e as populações nativas, as características genéticas da população original fundadora do estoque cultivado, entre outros.

O estudo da estrutura genética de populações naturais e a estimativa do grau de divergência entre selvagem e cultivado são de grande importância para qualquer programa que inclua liberação intencional ou risco de liberação acidental de animais cruzados em cativeiro no ambiente.

A utilização de poucos reprodutores ou mesmo de um único casal para a obtenção de alevinos para fins de cultivo e repovoamento de mananciais hídricos é inadequada. Para esses fins, devem ser utilizadas várias matrizes provenientes preferencialmente do mesmo ecossistema natural que será repovoado, pois estas devem apresentar maior similaridade genética com a população nativa. Deve-se levar em consideração, também, que o tempo de permanência dos alevinos produzidos deve ser minimizado, evitando-se, assim, a seleção de alelos favorecidos pelo ambiente artificial.

O grau da estimativa do fluxo gênico que esteja ocorrendo naturalmente pode ser utilizado como medida do número máximo de animais que podem ser introduzidos artificialmente nos ecossistemas aquáticos naturais. Cuidados especiais para evitar introduções ou escapes devem ser tomados no caso de a população cultivada, ser de uma raça ou população diferenciada, ou por causa das mudanças genéticas trazidas pela adaptação ao ambiente artificial. O monitoramento das mudanças genéticas depois da liberação dos alevinos deve ser um estágio indispensável e consecutivo, no sentido de averiguar o grau de introgressão no meio ambiente. Isso poderá possibilitar qualquer medida corretiva que necessite ser tomada. Além disso, a adoção de modernas técnicas de manipulação cromossômica e mesmo hormonal para a produção de linhagens monossexo também são ferramentas auxiliares para reduzir o impacto com relação a escapes.

Referências

- Cross, T.** Genetic implications of translocation and stocking of fish species, with particular reference to Western Australia. *Aquacult Res*, v.31, p.83-94, 2000.
- Desvignes JF, Laroche J, Durand JD, Bouvet Y.** Genetic variability in reared stocks of common carp (*Cyprinus carpio L.*) based on allozymes and microsatellites. *Aquaculture*. v.194, p.291-231, 2001.
- Duchesne P, Bernatchez L.** An analytical investigation of inbreeding in multi-generation supportive breeding. *Conserv Gen*, v.3, p.45-58, 2002.
- Fleming IA, Hindar K, Mjølnerod IB, Jonson B, Balstad T, Lamberg A.** Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proc Royal Soc London, Ser B, Biol Sci*, v.267, p.1517-1523, 2000.
- Hansen NM.** Estimating the long-term effects of stocking domesticated trout into wild brown trout (*Salmo trutta*) populations: an approach using microsatellite DNA analysis of historical and contemporary samples. *Mol Ecol*, v.11, p.1003-1015, 2002.
- Hindar K, Ryman N, Utter F.** Genetic effects on cultured fish on natural fish populations. *Can J Fish Aquatic Sci*, v.48, p.945-957, 1991.
- Johnson MS.** Measuring and interpreting genetic structure to minimize the genetic risks of translocations. *Aquacult Res*, v.31, p.133-143, 2000.
- Koh TL, Khoo G, Fan LQ, Phang VPE.** Genetic diversity among wild forms and cultivated varieties of Discus (*Symphisodon spp.*) as revealed by Random Amplified polymorphic DNA (RAPD) fingerprinting. *Aquaculture*, v.173, p.485-497, 1999.
- Koskinen MT, Sundell P, Piironen J, Primmer CR.** Genetic assessment of spatiotemporal evolutionary



- relationships and stocking effects in grayling (*Thymallus thymallus*, Salmonidae). *Ecol Lett*, v.5, p.193-205, 2002.
- Magoulas A.** Application of molecular markers to aquaculture and broodstock management with special emphasis on microsatellite DNA. *Cah Opt Medit*, v.34, p.153-168, 1998.
- McGinnity P, Stone C, Taggard JB, Cooke D, Cotter D, Hynes R, McCamley C, Cross T, Ferguson A.** Genetic impact of escaped farm Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). On native populations: use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed and hybrid progeny in a natural environment. *ICES J Mar Sci*, v.54, p.998-1008, 1997.
- Nielsen EE, Hansen MM, Bach L.** Looking for a needle in a haystack: discovery of indigenous salmon in heavily stocked populations. *Conserv Gen*, v.2, p.219-232, 2001.
- Norris AT, Bradley DG, Cunningham EP.** Microsatellite genetic variation between and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. *Aquaculture*, v.180, p.247-264, 1999.
- Rhymer JM, Simberloff D.** Extinction by hybridization and introgression. *Annu Rev Ecol System*, v.27, p.83-109, 1996.
- Ruzzante DE, Hansen MM, Meldrup D.** Distribution of individual inbreeding coefficients, relatedness and influence of stocking on native anadromous brown trout (*Salmo trutta*) population structure. *Mol Ecol*, v.10, p.2107-2128, 2001.
- Ryman N, Utter F, Hindar K.** Introgression, supportive breeding, and genetic conservation. In: Ballou JD, Gilpin M, Foose TJ (Ed.) *Population management for survival and recovery*. New York: Columbia University Press, 1995. p.341-365.
- Sousa AB** *Análise da variabilidade genética do surubim do São Francisco, Pseudoplatystoma coruscans (Pisces, Pimelodidae): subsídios à conservação e ao cultivo da espécie.* 2003. 101f Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Programa de Pós Graduação em Genética e Evolução da UFSCar, São Carlos, SP, 2003.
- Wang J, Ryman N.** Genetic effects of multiple generations of supportive breeding. *Conserv Biol*, v.15.p.1619-1631, 2001.
- Xu Z, Primavera JH, De La Pena LD, Pettit P, Belack J, Alcívar-Warren A.** Genetic diversity of wild and cultured tiger shrimp (*P. monodon*) in the Philippines using microsatellites. *Aquaculture*, v.199, p.13-40, 2001.
- Youngson AF, Dosdat A, Saroglia M, Jordan WC.** Genetic interactions between marine finfish species in European aquaculture and wild conspecifics. *J App Ichthyol*, v.17, p.153-162, 2001.

Agradecimentos

Apoio financeiro da SEAP/PR.
