

### Ferramentas para o melhoramento genético de peixes em água interiores

Eduardo Maldonado Turra<sup>1</sup>, Arthur Francisco Araújo Fernandes<sup>2</sup>, Érika Ramos de Alvarenga<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Zootecnia – EV - UFMG, Belo Horizonte. e-mail: [eduardoturra@yahoo.com.br](mailto:eduardoturra@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – EV - UFMG, Belo Horizonte. Bolsista CAPES. e-mail: [tucofernandes@hotmail.com](mailto:tucofernandes@hotmail.com)

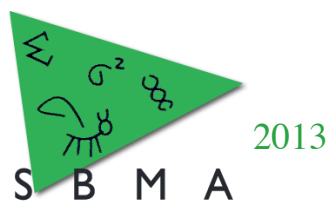
<sup>3</sup>Departamento de Zootecnia – EV - UFMG, Belo Horizonte. e-mail: [erika.ralvarenga@gmail.com](mailto:erika.ralvarenga@gmail.com)

#### Resumo

Programas de melhoramento eficientes podem contribuir consideravelmente para o desenvolvimento da piscicultura por reduzir os custos de produção, melhorar a resistência dos organismos cultivados a doenças, melhorar o aproveitamento alimentar e a qualidade dos produtos. Infelizmente, menos de 20% da produção mundial de peixes de águas interiores é oriunda de estoques melhorados geneticamente. Em programas de melhoramento genético para estes peixes (e também de outras origens ou espécies), três estratégias podem ser aplicadas: a seleção, os cruzamentos e hibridizações, e a manipulação cromossômica. A seleção foi pouco aplicada de forma bem sucedida em peixes de águas interiores, estando restrita basicamente em trutas, carpas e tilápias. Os objetivos de seleção mais comuns em programas de melhoramento de peixes incluem taxa de crescimento, conversão alimentar, resistência a doença e sobrevivência, qualidade e rendimentos cárneos. Três métodos de seleção já foram aplicados a esse grupo animal: a seleção individual, a seleção entre e dentro de famílias e a seleção combinada. O primeiro deles foi o mais praticado, mas geralmente acarreta rápido aumento das taxas de endogamia. O segundo método, usado para características de baixa herdabilidade ou aquelas que exigem o sacrifício do animal para a mensuração, pode resultar em aumento de endogamia quando a seleção é feita entre famílias ou ser menos eficiente quando animais são selecionados em todas as famílias. A seleção combinada associa a informação individual do animal e seus parentes. Esse último método, mais eficiente embora mais caro, foi adotado para o Programa Nacional Norueguês de Melhoramento Genético do salmão do Atlântico e do programa GIFT de tilápias do Nilo. Outra estratégia de melhoramento consiste na hibridização e os cruzamentos, que visam explorar a variância genética não-aditiva, a partir da identificação da heterose para características de interesse econômico. São técnicas simples, porém de resultados imediatos em uma geração, com benefícios finitos presentes nas primeiras gerações (cruzamento), ou somente na F1 (hibridização). Um exemplo de hibridização em peixes praticada no Brasil, dentre várias, é o híbrido entre surubim pintado *Pseudoplatystoma coruscans* e cachara *Pseudoplatystoma fasciatum*. A constante e errônea busca de novos híbridos é uma prática no Brasil, sempre a partir de lotes silvestres, sem nenhum avanço zootécnico das linhas puras a partir de programas de melhoramento. Por fim, as manipulações cromossômicas, podem contribuir com os programas de melhoramento genético de peixes principalmente por meio da repetição maciça de material genético superior (androgênese e ginogênese) e da formação de organismos geneticamente superiores com carga genética aumentada (poliploidia), apesar das dificuldades de implementação destas técnicas em maior escala, dos problemas relacionados às altas taxas de endogamia resultantes de algumas técnicas e da menor capacidade reprodutiva provável destes produtos. Espera-se que a difusão e utilização dessas ferramentas na piscicultura aumente consideravelmente nos próximos anos dado o histórico de suas baixas utilizações (mesmo as tradicionais) e que os ganhos em produtividade melhorem a eficiência da utilização de recursos naturais (água e terras) necessários para o cultivo, o que poderá contribuir com a crescente necessidade de proteína animal para consumo humano.

#### Introdução

Os princípios da genética quantitativa foram pouco aplicados no cultivo de organismos aquáticos, principalmente em comparação aos animais terrestres domésticos. Segundo Mair (2007) menos de 20% (ou até mesmo, menos de 10%, segundo Gjedrem, 2012) da produção aquícola mundial é originada de estoques geneticamente melhorados. A existência de poucos programas de melhoramento genético no setor se deve a três motivos principais (Gjedrem, 2005): (1) pouca informação sobre os ciclos reprodutivos de várias espécies cultivadas; (2) captura regular de espécimes selvagens para reposição de reprodutores, o que compromete a domesticação da espécie; (3) pesquisadores, extensionistas e



## X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

piscicultores com pouco conhecimento sobre genética quantitativa, teorias e programas de melhoramento.

Apesar de pouco explorado, os peixes apresentam características vantajosas para programas de melhoramento genético, comparadas aos animais domésticos terrestres, como alta fertilidade; fertilização externa, que garante flexibilidade na definição de acasalamentos com a formação de grupos de irmão-completos e meio-irmãos, além de diferentes cruzamentos; facilidade para hibridações; núcleo de melhoramento mais barato pelo menor custo de manutenção de reprodutores e engorda dos animais candidatos. Como desvantagens, esse grupo animal apresenta formas jovens, como larvas e alevinos, pequenos, impedindo a identificação precoce, com o aumento de custo do programa pela necessidade de cultivo de famílias de irmãos-completos em estruturas separadas, até o tamanho suficiente para a marcação, provocando o surgimento do efeito de família (efeitos não genéticos, genéticos não aditivos e maternos) entre elas; e facilidade do aumento da taxa de endogamia pela alta prolificidade dos animais.

Até 1970, houve poucos avanços em programas de seleção na piscicultura (Gjedrem, 2000; Hulata, 2001). A partir de então, alguns programas de melhoramento genético foram implementados e apresentaram efeitos positivos nas cadeias produtivas dos organismos beneficiados. Chitralada e GIFT são exemplos de linhagens de tilápias do Nilo resultantes de programas que trouxeram aumentos de produtividade em países que as utilizaram (Rutten et al., 2004).

O exemplo mais emblemático foi o programa norueguês de melhoramento genético do salmão do Atlântico (peixe com parte de vida em águas interiores e marinha). O impacto da seleção nas populações cultivadas desta espécie foi significativo. Segundo a Akvaforsk (2010), em quatro gerações de seleção, houve uma melhoria de +175% na fase de cultivo em água doce e +75% na fase de cultivo no mar, em relação aos estoques selvagens originais. Na tabela 1 está apresentada a evolução da mais importante característica zootécnica de interesse econômico na cadeia produtiva do salmão do Atlântico, o tempo para abate. O resultado foi alcançado após somente 7 gerações de seleção (intervalo de gerações de 5 anos).

**Tabela 1.** Resultado alcançado pelo programa de melhoramento genético nacional norueguês para a característica tempo total de cultivo do salmão do Atlântico, após 7 gerações de seleção

Ano	Tempo total de cultivo (fases em água doce e marinha)
1975	40 meses
2001	20 meses

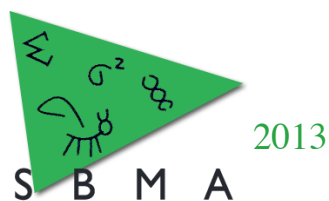
Fonte: Thodesen & Gjedrem (2006)

A boa relação custo/benefício do programa norueguês de seleção do salmão do Atlântico, em torno de 1/15, explica porque há grande interesse do cultivo de lotes melhorados desta espécie e, por consequência, 97% da produção global de salmões tem esta origem (Mair, 2007). Em contrapartida e apesar do melhoramento em algumas linhas de carpas comuns e tilápias do Nilo, menos de 20% da produção de peixes de águas interiores no mundo é oriunda de plantéis selecionados.

Programas de melhoramento eficientes serão cruciais para o desenvolvimento da piscicultura, não só para atingir a demanda mundial necessária, mas também para reduzir os custos de produção, melhorar a resistência dos organismos cultivados a doenças, melhorar o aproveitamento alimentar e a qualidade dos produtos (Gjedrem, 1997). Assim sendo, abrangeremos um panorama das principais ferramentas para o melhoramento genético de peixes em águas interiores.

### Ferramentas para o melhoramento genético de peixes

Em programas de melhoramento genético de peixes, três estratégias podem ser aplicadas: a seleção, os cruzamentos e hibridizações, e a manipulação cromossômica.



### Seleção

Antes de se realizar a seleção, é preponderante que o início de um programa de melhoramento seja originado a partir de uma população base com grande variabilidade genética aditiva. Desta forma, é importante que o núcleo seja formado por lotes oriundos de várias fontes genéticas, como por exemplo, vários locais ou pontos de coleta de determinado rio. Podem ser citados, como exemplos, o programa norueguês do salmão do Atlântico, originado a partir de 41 fontes genéticas selvagens (Gjoen & Bentsen, 1997, Thodesen & Gjedrem, 2006) e o programa GIFT de tilápias do Nilo, originado do cruzamento dialélico de 8 linhagens da espécie (Eknath et al., 1993).

Linhagens, originadas a partir da população base, poderão ser selecionadas para atender cultivos em ambientes diferentes, uma vez que possa existir interação genótipo-ambiente, como avaliado por Bentsen et al. (2012) para a característica peso a despesca em tilápias do Nilo cultivadas em tanques-rede e viveiros. Contudo até então, pouca ou nenhuma interação foi encontrada em trutas arco-íris, salmão do Atlântico e bagre-do-canal, sugerindo não ser necessária a seleção de várias linhagens com este intuito para estas espécies. Há, porém, sempre a necessidade de estudos prévios para a confirmação da inexistência da interação genótipo-ambiente, principalmente pela grande variação entre e dentro de sistemas de produção existentes na piscicultura.

A manutenção da variabilidade genética aditiva na população do núcleo do programa deve ser garantida, havendo porém um redutor da mesma que deve ser evitado, a endogamia. Esta é normalmente danosa promovendo a redução do desempenho de organismos para características zootécnicas, a depressão endogâmica. Na piscicultura, com o aumento da endogamia está comprovada a piora de várias características zootécnicas, como a redução do desempenho reprodutivo e a sobrevivência larvária, bem como, o aumento de deformidades das mesmas. Na literatura são encontrados valores de 0,9% a > 20% de redução de desempenho de linhagens endogâmicas para cada 10% de aumento no coeficiente de endogamia da população controle original.

A seleção foi pouco aplicada de forma bem sucedida em peixes, estando restrita basicamente em salmonídeos, carpas e tilápias. Isto se deveu principalmente a falta de métodos eficientes de marcação individual (até recentemente) e, conseqüentemente, acasalamentos controlados e informação de pedigree para a melhoria da acurácia das estimativas.

Na piscicultura, a decisão do tipo de seleção a ser adotado dependerá dos objetivos de longo prazo do programa, dos recursos disponíveis, da natureza do objetivo e do valor da herdabilidade. Desenhos de programas ideais maximizam a probabilidade da correta ordenação dos organismos, quanto ao valor genético verdadeiro para o objetivo em questão. Contudo, programas perfeitos são raramente possíveis, restritos pela limitação da identificação individual e a separação física de famílias até a estocagem comunal (Mair, 2007). Os métodos de seleção praticados na piscicultura são:

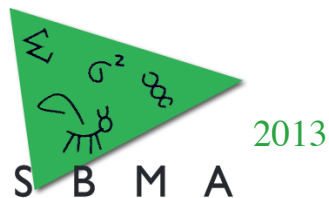
### Seleção individual

Método de seleção mais praticado na piscicultura. Restrito a seleção de características que podem ser mensuradas no próprio animal candidato, como ganho de peso, sendo ineficiente em características de baixa herdabilidade.

A falta de informação de pedigree leva muitas vezes ao rápido aumento das taxas de endogamia, principalmente em espécies em que a reprodução acontece de forma natural em ambiente de cultivo, como as tilápias. Há casos da herdabilidade para ganho de peso chegar a zero a partir de quatro gerações de seleção de carpas comuns no Vietnã (Mair, 2007). Normalmente nestas situações, poucos machos dominantes reproduziram com as fêmeas existentes. Em tilápias, há a possibilidade de contorno deste problema com o uso da prática da coleta de ovos nas bocas de fêmeas, mantidas em hapas com machos. Desta forma, é mais fácil separar animais de ambos os sexos que já reproduziram e contribuíram geneticamente com a progênie a ser selecionada.

Na opção pela seleção individual, é necessário que os animais avaliados estejam sob condições ambientais iguais. Logo, é importante a formação de grupos de animais contemporâneos, cultivados nos mesmos sistemas de produção, com controle similar da qualidade de água, densidade de estocagem, manejo e alimentação.

Em espécies de desova total, como os peixes redondos (tambaqui *Colossoma macropomum* e pacu *Piaractus mesopotamicus*), não é difícil estabelecer, ao mesmo tempo, mesmas condições para todos os animais candidatos, uma vez que todos os nascimentos acontecem em um intervalo de tempo pequeno.



## X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

Nas espécies de desova parcelada, como a tilápia, nas quais os reprodutores do núcleo de melhoramento reproduzem assincronicamente, é importante a formação de grupos contemporâneos e a seleção ser feita dentro dos mesmos.

### **Seleção entre famílias e dentro de famílias**

Métodos que foram muito utilizados na piscicultura para a seleção de características de baixa herdabilidade ou aquelas que exigem o sacrifício do animal para a mensuração. A dificuldade da marcação individual dos animais (o que é ainda um fato em crustáceos) levou ao uso recorrente destes métodos na piscicultura, com o empecilho constante do surgimento do efeito de família.

Existem duas grandes limitações no uso do método de seleção por família. Feita de forma intensa leva a uma rápida acumulação de endogamia porque famílias inteiras são selecionadas. Além disso, 50% da variância genética aditiva estão sendo exploradas, uma vez que os outros 50% estão expressos dentro das famílias.

Na seleção dentro de famílias há o inverso do método anterior. A seleção é baseada no desvio de cada animal da média de sua família. Há, então, a escolha de animais de todas as famílias, reduzindo a eficiência do método.

### **Seleção combinada**

Seleção que combina a informação individual do animal e seus parentes. Método mais eficiente, mas mais caro. A partir deste método é possível a predição dos valores genéticos dos animais por BLUP. Método adotado para o Programa Nacional Norueguês de Melhoramento Genético do salmão do Atlântico e do programa GIFT de tilápias do Nilo. Com a informação de parentes, passa a ser possível a seleção direta de características de qualidade carne e sobrevivência a doenças.

Os custos são maiores devido a necessidade de marcação dos animais avaliados com o cultivo de famílias em estruturas separadas até peso mínimo para a identificação. O cultivo das famílias em separado até parte do período de avaliação pode levar ao surgimento de efeito de família, provocando confundimento dos efeitos genéticos existentes e reduzindo a acurácia das predições dos valores genéticos.

Uma das grandes dificuldades destes programas, no melhoramento de peixes, é a marca utilizada para a identificação dos animais. A maior parte das disponíveis e acessíveis como as fitas numeradas que perpassam a musculatura ou os fios de nylon com pequenas etiquetas numeradas que também são fixados da mesma forma, têm altas taxas de perda. Assim, maior número de animais deve ser identificado para compensar as perdas de informação, aumentando-se os custos do programa. O surgimento de *microchips* (*pit tags*) de identificação melhorou consideravelmente as perdas de marcas (praticamente 0%), mas é a opção mais cara no mercado.

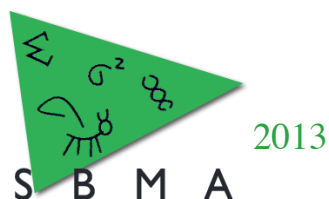
### **Características de interesse**

Eknath et al. (1991) e Gjedrem (2000) ressaltam que os objetivos de seleção de programas de melhoramento de organismos aquícolas podem ser mudados com certa facilidade, incluindo-se ou retirando-se características candidatas, redirecionando o programa para novos horizontes com presteza. Segundo os autores, isto é possível em razão da grande variabilidade genética aditiva das características de interesse nas populações aquícolas, da precocidade reprodutiva de várias espécies e da prolificidade das mesmas. Tais aspectos aceleram o ganho genético anual de determinada característica, uma vez que a alta prolificidade está relacionada ao aumento do grau de intensidade de seleção, à precocidade, ao intervalo de gerações curto e à variabilidade genética aditiva, a herdabilidade.

Segundo Gjedrem (2000), os objetivos de seleção mais comuns em programas de melhoramento genético de espécies aquícolas são:

### **Taxa de crescimento**

Em geral a resposta a seleção para taxa de crescimento é boa em organismos aquícolas e maior que as obtidas em animais domésticos, devido a maior variância genética nos organismos aquícolas, possivelmente pela pouca seleção artificial imposta e pela maior intensidade de seleção nestes organismos (Gjedrem, 2005).



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal  
Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

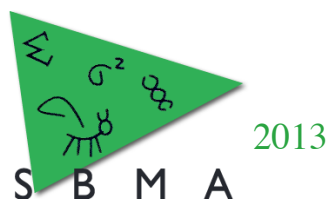
Mair (2007) fez um levantamento de programas experimentais de seleção para taxa de crescimento para 15 espécies aquícolas de importância econômica no mundo e encontrou ganho médio de até 20% em uma única geração em bagre-de-canal *Ictalurus punctatus*.

As estimativas de herdabilidade para ganho de peso variam entre populações em decorrência da magnitude da variância genética aditiva, influenciada pelas taxas de endogamia, e quanto a idade da mensuração da pesagem. Herdabilidades para pesos em idades próximas a fase de cultivo de famílias de irmãos-completos, em separado, são baixas (tab. 2), menores que 0,20. Para pesos a idades mais distantes desta fase, as estimativas podem chegar a valores maiores que 0,50.

O peso vivo à determinada idade também pode ser um exemplo de quando o objetivo não representa critério de seleção. Tilápias do Nilo são abatidas com pesos acima de 700 gramas para atender mercados exigentes, como o americano, japonês e europeu. Estes pesos são alcançados com mais de 300 dias de engorda. Contudo, normalmente os animais avaliados em programas de melhoramento são selecionados com cerca de 180 dias de nascimento. Isso é possível por haver forte associação positiva entre essas duas características. Rutten et al. (2005a) corroboram essa afirmação em um estudo genético longitudinal do peso corporal de tilápias do Nilo, no qual se utilizou um modelo de regressão aleatória. Os autores encontraram correlação genética de 0,8 entre peso aos 180 dias (cerca de 250 g de peso vivo) e 325 dias (cerca de 800 g de peso vivo), e de 0,7 entre peso aos 150 dias (cerca de 150 g de peso vivo) e 325 dias. A magnitude desta associação garante reduções nos custos de programas de melhoramento, uma vez que os animais não precisam ser mantidos até quase um ano de vida.

**Tabela 2.** Valores de herdabilidade para algumas características de interesse econômico em populações de peixes

<b>Espécie</b>	<b>Característica</b>	<b>h<sup>2</sup></b>	<b>Autor</b>
<b>Tilápia do Nilo</b>	Peso aos 120 dias	<b>0,12</b>	Rutten et al. (2005a)
	Peso aos 120 dias	<b>0,02</b>	Turra et al. (2012a)
	Peso aos 210 dias	<b>0,22</b>	Rutten et al. (2005a)
	Peso aos 210 dias	<b>0,42</b>	Turra et al. (2012a)
	Filé % aos 120 dias	<b>0,12</b>	Turra et al. (2012b)
	Filé % aos 180 dias	<b>0,37</b>	Turra et al. (2012b)
	Filé % aos 210 dias	<b>0,23</b>	Turra et al. (2012b)
	Filé %	<b>0,12</b>	Rutten et al. (2005b)
	Sobrevivência (%)	<b>0,08</b>	Ponzoni et al. (2003), citados por Gjedrem (2005)
<b>Carpa comum</b>	Peso vivo	<b>0,70</b>	Kocour et al. (2007)
	Gordura%	<b>0,58</b>	Kocour et al. (2007)
	Filé%	<b>0,38</b>	Kocour et al. (2007)
<b>Salmão do Atlântico</b>	Peso vivo	<b>0,35</b>	Rye & Refstie (1995)
	Gordura %	<b>0,30</b>	Rye & Gjerde (1996)
	Carcaça %	<b>0,20</b>	Rye & Gjerde (1996)
	Idade a maturidade sexual	<b>0,20</b>	Gjerde & Gjedrem (1984)



## X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

### **Conversão alimentar**

Conversão alimentar (C.A.) é raramente avaliada em animais candidatos em um programa de seleção. O custo alto de suas mensurações torna sua utilização proibitiva. Mas como há associação forte entre C.A. e a taxa de crescimento, o progresso genético para acelerar o ganho de peso resulta em melhoria na eficiência alimentar. Thodesen & Gjedrem (2006) confirmaram esta expectativa, na avaliação da quinta geração de salmões oriundos do programa nacional norueguês. Nesta análise, a resposta a seleção por geração para a característica taxa de crescimento foi de 14%, com uma resposta correlacionada por geração para a característica eficiência alimentar de 4 a 5%.

Os programas de seleção para ganho de peso em peixes devem considerar uma situação de sobra de ração na engorda dos animais candidatos. A escassez de alimento normalmente gera a seleção de animais mais agressivos que disputam o alimento evitando que outros indivíduos comam. Tal comportamento seria prejudicial no cultivo de lotes oriundos destes peixes pela redução do desempenho médio dos mesmos e aumento das desigualdades.

A relação genética entre crescimento e eficiência alimentar não é linear (Thodesen et al., 2001), indicando uma resposta decrescente na eficiência alimentar com o aumento da capacidade de crescimento. Isto implica na necessidade de, em algum momento, se realizar a seleção direta para eficiência alimentar ou a seleção indireta por outra característica, como redução da deposição de gordura na carcaça.

### **Resistência a doenças e sobrevivência**

A taxa de sobrevivência ou a resistência a doenças específicas, sob condições de cultivo, apresentam usualmente baixa herdabilidade (tab. 2). Contudo, a partir da seleção por famílias encontra-se melhora genética destas características em espécies, como trutas marrons e arco-íris. Os ganhos são grandes por geração, geralmente maiores que 10% (Gjedrem, 2005).

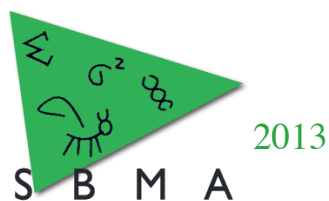
### **Qualidade e rendimento cárneo**

Várias organizações envolvidas em programas de melhoramento genético de espécies aquícolas no mundo avaliaram e eventualmente incluíram, como objetivos de seleção, características relacionadas ao rendimento e qualidade cárneos. Em salmão, por exemplo, quantidade de gordura e coloração de filés (Rye & Gjerde, 1996; Gjedrem, 1997, 2000). Em trutas, composição corporal (Kause et al., 2002, Quillet et al., 2005). Em bagre (*catfish*), peso, rendimento e percentual de gordura no filé (Van Sang et al., 2009).

Avaliar diretamente esses tipos de características nos próprios animais candidatos é impossível. Mas animais aparentados podem ser medidos e seus valores genéticos usados para a predição daqueles candidatos. Para tal, programas de melhoramento genético utilizando estruturas de meio-irmãos e/ou irmãos completos precisam ser montados. O programa nacional norueguês para o salmão do Atlântico é um exemplo (Gjedrem, 2000) em que são avaliadas 360 famílias por ano, estabelecendo-se como principais objetivos de seleção a percentagem de gordura e a coloração do filé. O sacrifício e filetagem de meio-irmãos e/ou irmãos-completos garantem a informação que é utilizada para predizer os valores genéticos dos peixes vivos remanescentes.

Estudos sobre as correlações fenotípicas e genéticas entre características morfométricas, rendimento e peso de filé têm sido realizados em várias espécies de peixe (Bosworth et al., 1998, Cibert et al., 1999; Rutten et al., 2004). Essas características, geneticamente correlacionadas, permitiram aos programas de melhoramento genético, baseados em seleção massal, sua inclusão como critérios para alcançar o objetivo de grande interesse para as indústrias de processamento. Programas que optam por gerar informação a partir de uma estrutura de parentesco, mas evitam o sacrifício dos animais que poderiam ter alto valor genético, também seriam beneficiados.

Aparentemente, a baixa herdabilidade da característica rendimento de filé favoreceria o uso de características correlacionadas para o seu melhoramento. As medidas morfométricas, ou de conformação, contribuem para a descrição da forma do corpo do peixe, que varia de acordo com as características de cada espécie, além de poderem influenciar o peso corporal e o rendimento do filé (Bosworth et al., 1998; Cibert et al., 1999). Segundo Contreras-Guzmán (1994), isto se deve à capacidade diferencial da acumulação de massa muscular em determinados pontos do corpo do animal durante seu crescimento o que caracteriza o seu formato e influencia os rendimentos cárneos.



### Idade para maturidade sexual e primeira desova

A redução da idade para a maturidade sexual e do dia para a primeira desova de peixes são possíveis a partir da seleção de animais sexualmente precoces (Oldorf et al., 1989, Kronert et al., 1989). É de se esperar com a melhoria destas características a redução dos custos de formação de reprodutores e do intervalo de gerações. Siitonen & Gall (1989) estimaram em 0,55 e 0,53 a herdabilidade para desova precoce em dois grupos contemporâneos de trutas arco-íris. Conseguiram ainda, após 6 gerações, a redução de 270 para 235 dias de idade para o dia a primeira desova.

Em tilápias do Nilo, ao contrário, já foi sugerido a seleção para o atraso da maturidade sexual. Como os animais da espécie entram em reprodução muito novos, leves (em torno de 50 gramas) e antes do peso de despesca, o desempenho do lote é prejudicado pelo grande gasto energético dos peixes com a reprodução. O atraso da maturidade reduziria estas perdas. Contudo, esta estratégia só teria sentido nas situações de despesca para mercados de animais menores (entre 100 e 200 gramas), comuns em países pobres do sudeste asiático e África. Nestes, o aporte em tecnologias para o controle reprodutivo desta espécie é pequeno.

### Cruzamentos e Hibridização

Hibridização é a formação de um indivíduo a partir do cruzamento de duas espécies, enquanto o cruzamento é o acasalamento de duas raças ou linhagens diferentes da mesma espécie. Ambos são complementos de programas de seleção. O principal objetivo é explorar a variância genética não-aditiva, a partir da identificação da heterose para características de interesse econômico (Mair, 2007).

São técnicas simples, porém de resultados imediatos em uma geração, com benefícios finitos presentes nas primeiras gerações (cruzamento), ou somente na F1 (hibridização). Há, portanto, necessidade que as linhas/espécies parentais sejam melhoradas, por meio da seleção, para a contínua evolução do programa. Uma vez não existindo, o programa será pouco competitivo no longo prazo.

A hibridização é prática comum no Brasil e no mundo. Híbridos entre pacus *Piaractus mesopotamicus* e tambaquis *Colossoma macropomum*, surubins pintado *Pseudoplatystoma coruscans* e cachara *Pseudoplatystoma fasciatum* e mais recentemente, jundiá onça *Leiarius marmoratus* e surubim cachara *Pseudoplatystoma fasciatum* são exemplos, dentre vários outros produzidos no Brasil. O resultado principal destas hibridizações, contudo, não tem sido o efeito de heterose em determinada característica, mas na verdade, a combinação de características das espécies. A constante e errônea busca de novos híbridos praticada de forma sistemática no país é sempre a partir de lotes silvestres, sem nenhum avanço zootécnico das linhas puras a partir de programas de melhoramento.

Dois problemas com esta prática são possíveis e acontecem em vários países, inclusive no Brasil:

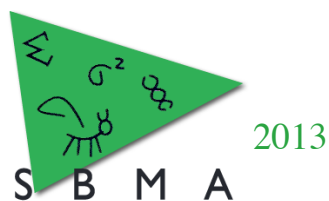
- introgressão de híbridos nas linhas parentais, reduzindo os efeitos positivos no suposto F1 e a falta de previsão dos resultados;
- escape de híbridos na natureza.

Na cadeia produtiva do salmão do Atlântico, as avaliações de cruzamentos mostraram pouca heterose para ganho de peso e, desta forma, nenhuma razão para o uso desta estratégia. Ao contrário, no cultivo de carpas comuns em Israel, é técnica realizada regularmente.

Em tilápias, a prática foi muito comum na tentativa de controle reprodutivo a partir do cruzamento entre espécies com sistemas cromossômicos sexuais diferentes, como *O. niloticus* (XX/XY) e *O. hornorum* (ZZ/ZW), no qual a progênie resultante (ZX) é 100% macho. A introgressão de híbridos nos lotes puros, alterando os resultados esperados das hibridizações, limitou o uso da técnica com este fim.

### Manipulações cromossômicas

A alteração dos conjuntos cromossômicos em peixes, é praticável devido à facilidade com que os gametas desses animais podem ser manipulados e fertilizados artificialmente (Oliveira, 1999). Comparativamente aos vertebrados superiores, aqueles organismos possuem um sistema biológico menos especializado que permite certas manipulações impraticáveis em outros animais domésticos. Algumas dessas facilidades são a fecundação externa, a alta fecundidade, a diferenciação sexual controlável e o intervalo entre gerações curto (Tsukamoto & Rigolino, 1993).



As manipulações podem contribuir com os programas de melhoramento genético de organismos aquícolas principalmente por meio da repetição maciça de material genético superior (androgênese e ginogênese) e da formação de organismos geneticamente superiores com carga genética aumentada (poliploidia).

#### **Ginogênese e androgênese**

Quando um zigoto é formado somente pelo material genético do espermatozóide, o processo chama-se androgenia, e o contrário, ginogenia (Komen & Thorgaard, 2007). O principal motivo para a realização de ambas as técnicas é a repetição em grande quantidade do material genético de algum animal de valor genético superior.

O método mais comum de androgênese segue três etapas: (a) irradiação por ultra-violeta de ovócitos secundários com a desnaturação de seu material genético; (b) fertilização destes ovócitos pelos espermatozoides do animal de alto valor genético; (c) choque físico na primeira divisão mitótica deste ovo para retenção do material genético do espermatozóide, agora já dobrado (Pandian & Koteeswaran, 1998; Arai, 2001; Herbst, 2002; Komen & Thorgaard, 2007). O produto resultante possui 100% de homozigose.

Dois métodos podem gerar indivíduos ginogênicos, a ginogênese mitótica e a meiótica. Em ambas, as primeiras duas etapas são iguais: (a) irradiação por ultra-violeta de espermatozoides com a desnaturação de seu material genético; (b) fertilização dos ovócitos da fêmea de alto valor genético pelos espermatozoides desnaturados. Na ginogênese meiótica há então uma terceira etapa com um choque físico para a retenção do segundo corpúsculo polar. Na ginogênese mitótica, a terceira etapa é um choque físico na primeira divisão mitótica do ovo formado para a retenção do material genético do ovócito, agora já dobrado (Arai, 2001; Piferrer et al., 2009). O primeiro método gera animais com alto percentual de homozigose e o segundo método, com 100% de homozigose.

Independente da espécie, a sobrevivência em processos androgênicos e ginogênicos é baixa. Exemplo é o trabalho de Marengoni & Onoue (1998) no qual os pesquisadores obtiveram sobrevivência de apenas 1,6% para androgênicos de tilápia do Nilo. O percentual de homozigose dos indivíduos resultantes de ambos os processos é uma das explicações possíveis da baixa viabilidade (Pandian & Koteeswaran, 1998; Arai, 2001; Herbst, 2002; Komen & Thorgaard, 2007).

#### **Triploidia e tetraploidia**

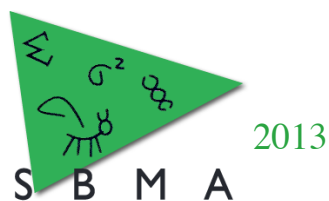
A triploidia é um tipo de poliploidia, na qual os organismos possuem três conjuntos cromossômicos base. É a técnica de manipulação cromossômica mais utilizada na piscicultura. Arai (2001) cita a importância econômica da produção de alevinos triploides de ciprinídeos e salmonídeos comercializados no Japão. O autor comenta, ainda, a significativa importância do mesmo comércio de triploides nos EUA, principalmente com salmonídeos e bagre-de-canal *Ictalurus punctatus*.

O interesse no uso de triploides deve-se não só à expectativa da esterilidade, como também por apresentarem maior peso e comprimento em relação aos animais diplóides (Le Comber & Smith, 2004). Sob o aspecto teórico, espera-se que os triploides sejam estéreis pela divisão meiótica irregular e consequente formação de gametas aneuploides (Tiwary et al., 2004). Esta esterilidade evitaria o gasto energético com desenvolvimento de gônadas normais, corte, reprodução e cuidados com a prole, além de que, suas células conteriam 33% mais informação genética para o crescimento (Melo et al., 2006).

Em salmonídeos têm-se verificado que diplóides e triploides crescem igualmente até o início da idade da primeira maturação. Durante o período de maturação sexual os diplóides de ambos os sexos sofrem uma redução no crescimento devido ao desenvolvimento das gônadas. Entretanto, as fêmeas estéreis triploides continuam aumentando em peso e comprimento e superam as fêmeas diplóides em 5% a 20% ao final do período de maturação.

De fato, fêmeas triploides apresentam somente gônadas residuais e níveis de hormônios sexuais semelhantes aos das diplóides jovens. Ao contrário, machos triploides apresentam desenvolvimento gonadal, níveis de hormônios sexuais semelhantes aos dos diplóides adultos, características sexuais secundárias e comportamento de corte ocasionando desempenho similar aos diplóides. Estes machos triploides também produzem quantidade limitada de sêmen bastante fluído, com poucos espermatozoides móveis que, quando empregados em fecundações artificiais produzem abortos precoces sugerindo ser





## X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

pouco provável que estes venham a produzir descendência normal e fértil (Tabata et al., 2000; Lee & Donaldson, 2001).

Na comparação entre machos e fêmeas triplóides e diplóides invertidos de tilápias do Nilo, Pechsiri & Yakupitiyage (2005) não encontraram diferenças para ganho de peso, conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, composição corporal e sobrevivência.

A produção de triplóides pode ser realizada por dois métodos: o direto, por meio de choque externo (temperatura ou pressão), ou pelo método chamado de triplóide interplóide (Myers, 1986; El Gamal et al., 1999; Piferrer et al., 2009).

O método direto através de choques físicos é o mais explorado em pesquisas com peixes (Hussain et al., 1995; Piferrer et al., 2001; Herbst, 2002; Tiwary et al., 2004; Piferrer, et al. 2009). Ele consiste na retenção do segundo corpúsculo polar logo após a fecundação do ovócito secundário pelo espermatozóide (Tiwary et al., 2004). Isto formará um ovo com três conjuntos base de cromossomos. Mitoses sucessivas acontecem e o organismo se desenvolve com todas as células triplóides.

A retenção do segundo corpúsculo polar pode acontecer por erro natural do processo de formação do ovo e indivíduos triplóides podem surgir na natureza sem a intervenção humana (Le Comber & Smith, 2004; Tiwary et al., 2004; Piferrer et al., 2009). Mas, artificialmente, pode-se provocar o mesmo erro através de choque físico dos ovos recém-fecundados por alteração térmica ou de pressão hidrostática.

As metodologias através de choques de pressão são difíceis de serem executadas, por exigirem equipamentos específicos que comportam poucos ovos por vez, além de serem perigosas, mesmo em escala laboratorial (Herbst, 2002).

O processo mais empregado é o de choques térmicos pela sua facilidade de execução. Podem ser choques quentes ou frios. Em peixes tropicais, como a tilápia do Nilo, choques frios mostraram-se mais eficientes (Don, 1988). Porém, o contrário também foi registrado (El Gamal, 1999; Herbst, 2002). Em choques frios, as temperaturas variam de 9 a 13°C e a duração é de 30 a 60 minutos de exposição. Em choques quentes, a temperatura variando de 40 a 42°C é mais usual, com durações de exposição de 3 a 5 minutos. Em ambos os tipos de metodologia o processo é executado 3 a 5 minutos depois da fertilização dos ovócitos secundários, sendo considerados como choques precoces.

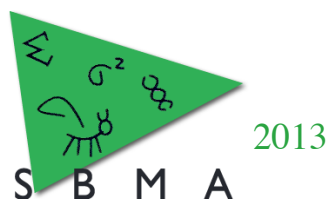
Apesar de poder produzir lotes com alta percentagem de indivíduos triplóides, a metodologia do choque direto em ovos não é normalmente 100% efetiva e resulta muitas vezes em indivíduos com baixa viabilidade e com outros efeitos deletérios (Myers, 1986; Lutz, 2001, citado por Herbst, 2002).

A temperatura em que os ovos recém-fecundados estão sendo mantidos antes do choque e a homogeneidade do estágio de desenvolvimento dos ovócitos secundários extrusados parecem ser fatores importantes no resultado final (El Gamal, 1999; Herbst, 2002). Outro fator limitante ao sucesso desta técnica é a característica reprodutiva de desovas assíncronas, em espécies de desova parcelada (Bombardelli & Hayashi, 2005). Isto dificulta o processo de extrusão de ovócitos e sincronização das fêmeas, fato que torna a metodologia inviável técnica e financeiramente em larga escala (Piferrer et al., 2009).

O método triplóides interplóides, apesar de pouco explorado, é o mais promissor para a produção de indivíduos triplóides. Este método consiste na utilização de reprodutores tetraplóides em acasalamentos com diplóides produzindo progênie triplóide interplóide. Essa alternativa evita os efeitos deletérios dos choques externos nos ovos, além da extrusão sistemática dos reprodutores.

O processo já se provou confiável em trutas arco-íris *Oncorhynchus mykiss* (Myers & Hershberger, 1990, citados por Herbst, 2002; Piferrer et al., 2009); porém, em tilápias do Nilo ainda não existem relatos de linhas tetraplóides vivas à idade reprodutiva.

A obtenção de indivíduos tetraplóides se dá através do choque físico, novamente térmico, bórico, ou químico (colchicina), na primeira divisão mitótica do ovo, causando o rompimento dos fusos mitóticos e a manutenção do material genético dobrado na mesma célula. Esta volta a se dividir normalmente formando um organismo tetraplóide (Piferrer et al., 2009). Como na metodologia de formação direta de triplóides, choques térmicos são mais fáceis de serem empregados. Porém, os choques são executados com pelo menos 30 minutos após a fertilização dos ovócitos para que o momento da primeira divisão mitótica possa ser alcançado. São chamados de choques tardios. El Gamal et al. (1999) sugerem dois choques como a metodologia mais eficiente, um aos 65 minutos e o outro aos 80 minutos pós-fecundação (*Oreochromis niloticus*). O resultado obtido foi de 80% de tetraplóides.



## X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

Contudo, a inexistência de divulgação nos meios científicos de linhas tetraplóides vivas de tilápias do Nilo à idade de reprodução é reflexo claro da ineficiência dos processos já estudados, da fragilidade da espécie frente à agressividade dos choques, ou à condição tetraplóide. Faz-se mister maiores estudos para que um número mínimo de reprodutores possam ser formados e multiplicados para a manutenção de uma linhagem.

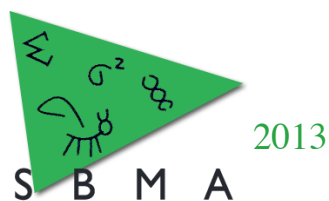
Uma vez conseguido este número mínimo para a perpetuação da linhagem, estudos devem ser feitos quanto à sua capacidade reprodutiva. Avaliações com trutas arco-íris mostram dois empecilhos para machos tetraplóides: a dificuldade de formação de gametas por problemas na segregação dos cromossomos homólogos na meiose I, produzindo gametas aneuplóides, e o grande tamanho da cabeça do espermatozóide diplóide dificultando a fertilização do ovócito (Piferrer et al., 2009).

### Considerações finais

Conforme salientamos, menos de 20% da produção mundial de peixes de águas interiores é oriunda de estoques melhorados geneticamente. Esse quadro indica que há grande necessidade de se investir esforços (investimentos públicos ou privados, formação de pessoal) para preencher essa lacuna. Considerando os bons resultados obtidos nos poucos programas de melhoramento genético implantados para algumas espécies de peixes de águas interiores (tilápia nilótica, carpa), espera-se que a difusão e utilização das ferramentas de melhoramento genético na piscicultura aumente consideravelmente nos próximos anos dado o histórico de suas baixas utilizações (mesmo das tradicionais) e que os ganhos em produtividade melhorem a eficiência da utilização de recursos naturais (água e terras) necessários para o cultivo, o que poderá contribuir com a crescente necessidade de proteína animal para consumo humano.

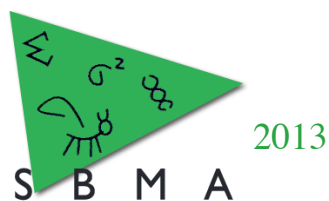
### Literatura citada

- AKVAFORSK. Institute of Aquaculture Research AS [2010]. Disponível em <[www.afgc.no/SideMal.asp?ID=57](http://www.afgc.no/SideMal.asp?ID=57)>. Acesso em 02 de fev., 2011.
- ARAI, K. Genetic improvement of aquaculture finfish species by chromosome manipulation techniques in Japan. **Aquaculture**, v.197, p.205-228, 2001.
- BENTSEN, H.B.; GJERDE, B.; NGUYEN, N.H. et al. Genetic improvement of farmed tilapias: Genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during five generations of testing in multiple environments. **Aquaculture**, v.338-341, p.56-65, 2012.
- BOMBARDELLI, R.A.; HAYASHI, C. Masculinização de larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) a partir de banhos de imersão com 17 $\alpha$ -metiltestosterona. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.365-372, 2005.
- BOSWORTH, B.G.; LIBEY, G.S.; NOTTER, D.R. Relationship among total weight, body shape, visceral components, and fillet traits in palmetto bass (Striped bass female *Morone saxatilis* x white bass male *M. chrysops*) and paradise bass (Striped bass female *Morone saxatilis* x yellow bass male *M. mississippiensis*). **Journal of World Aquaculture Society**, v.29, p.40-50, 1998.
- CIBERT, C.; FERMON, Y.; VALLOD, D. et al. Morphological screening of carp *Cyprinus carpio*: relationship between morphology and fillet yield. **Aquatic Living Resources**, v.12, n.1, p.1-10, 1999.
- CONTRERAS-GUZMÁN, E.S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 409p.
- DON, J. Comparative study on the induction of triploidy in tilapias, using cold- and heat-shock techniques. **Journal of Fish Biology**, v.32, p.665-672, 1988.
- EKNATH, A.E.; BENTSEN, H.B.; GJERDE, B. et al. Approaches to national fish breeding programs: pointers from a tilapia pilot study. **NAGA, The Iclarm Quarterly**, v.14, p.10-12, 1991.
- EKNATH, A.E.; TAYAMEN, M.M.; PALADA-DE VERA, M.S. et al. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. **Aquaculture**, v.111, p.171-188, 1993.
- EL GAMAL, A.A.; DAVIS, K.B.; JENKINS, J.A. et al. Induction of Triploidy and Tetraploidy in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Journal of the World Aquaculture Society**. v.30, p.269-275, 1999.
- GJEDREM, T. Selective breeding to improve aquaculture production. **World Aquaculture**, v.28, p.33-45, 1997.



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal  
Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

- GJEDREM, T. Genetic improvement of cold-water fish species. **Aquaculture Research**, v.31, p.25-33, 2000.
- GJEDREM, T. **Selection and breeding programs in aquaculture**, Springer: The Netherlands, 2005. 364 p.
- GJEDREM, T. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: A personal opinion review. **Aquaculture**, v.12-22, p.344-349, 2012.
- GJERDE, B.; GJEDREM, T. Estimates of phenotypic and genetic parameters for carcass traits in Atlantic salmon and rainbow trout. **Aquaculture**, v.36, p.97-110, 1984.
- GJOEN, H.M.; BENTSEN, H.B. Past, present and future of genetic improvement in salmon aquaculture. **Journal of marine science**, v.54, p.1009-1014, 1997.
- HERBST, E.C. **Induction of tetraploidy in zebrafish *Danio rerio* and Nile tilapia *Oreochromis niloticus***. 2002, 127 f. Dissertação (Mestrado na The School of Renewable Natural Resources) Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College/University of North Carolina, Charlotte.
- HULATA, G. Genetic manipulations in aquaculture, a review of stock improvement by classical and modern technologies. **Genetica**, v.111, p.155-173, 2001.
- HUSSAIN, M.G.; RAO, G.P.S; HUMAYUN, N.M. et al. Comparative performance of growth, biochemical composition and endocrine profiles in diploid and triploid tilapia *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture**, v.138, p.87-97, 1995.
- KAUSE, A.; RITOLA, O.; PAANANEN, T. et al. Coupling body weight and its composition: a quantitative genetic analysis in rainbow trout. **Aquaculture**, v.211, p.65-79. 2002.
- KOCOUR, M.; MAUGER, S.; RODINA, M. et al. Heritability estimates for processing and quality traits in common carp (*Cyprinus carpio* L.) using a molecular pedigree. **Aquaculture**, v.270, p.43-50, 2007.
- KOMEN, H.; THORGAARD, G.H. Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: A review. **Aquaculture**, v.269, p.150-173, 2007.
- KRONERT, U.; HÖRSTGEN-SCHWARK, G.; LANGHOLZ, H. J. Prospects of selecting late maturing in tilapia (*Oreochromis niloticus*). Family studies under laboratory conditions. **Aquaculture**, v.77, p.113-121, 1989.
- LE COMBER, S.C.; SMITH, C. Biological relevance of poliploidy: ecology to genomics. **Biological Journal of the Linnean Society**, v.82 p.431-442, 2004.
- LEE C-S.; DONALDSON, E.M. General discussion on reproductive biotechnology in finfish aquaculture. **Aquaculture**, v.193 p.303-320, 2001.
- MAIR, G.C. Genetics and breeding in seed supply for inland aquaculture. In: Bondad-Reantaso, M.G. (Ed.). **Assessment of freshwater fish seed resources for sustainable aquaculture**. FAO Fisheries Technical Paper: Rome, 2007. p. 519-547.
- MARENGONI, N.G.; ONOUE, Y. Ultraviolet-induced androgenesis in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), and hybrid Nile x blue tilapia *O. aureus* (Steindachner). **Aquaculture Research**, v.29 p.359-366, 1998.
- MELO, D.C.; OLIVEIRA, D.A.A.; SOUSA, A.B. et al. Manipulação cromossômica: aplicações práticas na aquicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.30, p.105-112, 2006.
- MYERS, J.M. Tetraploid induction in *Oreochromis* spp. **Aquaculture**, v.57 p.281-287, 1986.
- OLDORF, W.; KRONERT, U.; BALARIN, J. et al. Prospects of selecting for late maturity in tilapia (*Oreochromis niloticus*) II. Strain comparison under laboratory and field conditions. **Aquaculture**, v.77, p.123-133, 1989.
- OLIVEIRA, J.S. Manipulação genômica em peixes (indução de triploidia). **Panorama da Aqüicultura**, v.9, p.43-47, 1999.
- PANDIAN, T.J.; KOTEESWARAN, R. Ploidy induction and sex control in fish. **Hydrobiologia**, v.384, p.167-243, 1998.
- PECHSIRI, J.; YAKUPITIYAGE, A. A comparative study of growth and feed utilization efficiency of sex-reversed diploid and triploid Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture Research**, v.36, p.45-51, 2005.
- PIFERRER, F. Endocrine sex control strategies for the feminilization of teleost fish. **Aquaculture**, v.197, p.229-281, 2001.



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal  
Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

- PIFERRER, F.; BEAUMONT, A.; FALGUIERÈ, J.C. et al. Polyploid fish and shellfish: Production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. **Aquaculture**, v.293 p.125-156, 2009.
- QUILLET, E.; GUILLOU, S.L.; AUBIN, J. et al. Two-way selection for muscle lipid content in pan-size rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.245, p.49–61, 2005.
- RUTTEN, M.J.M.; BOVENHUI, H.; KOMEN, H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v.231, p.113–122, 2004.
- RUTTEN, M.J.M.; KOMEN, H.; BOVENHUIS, H. Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model. **Aquaculture**, v.246, p. 101–113. 2005a.
- RUTTEN, M.J.M.; BOVENHUIS, H.; KOMEN, H. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v.246, p.125–132. 2005b.
- RYE, M.; REFSTIE, T. Phenotypic and genetic parameters of body size traits in Atlantic salmon. **Aquaculture Research**, v.26, p.875-885, 1995.
- RYE, M.; GJERDE, B. Phenotypic and genetic parameters of composition traits and flesh colour in Atlantic salmon. **Aquaculture Research**, v.27, p.121–133, 1996.
- SIITONEN, L.; GALL, G.A.E. Response to selection for early spawn date in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. **Aquaculture**, v.78, p.153-161, 1989.
- TABATA, Y.A.; RIGOLINO, M.G.; NAGATA, M.K. Produção de fêmeas masculinizadas de truta arco-íris com ductos espermáticos funcionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 2000, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Santa Catarina. 2000, [s.n.]
- TIWARY, B.K.; KIRUBAGARAN, R.; RAY, A.K. The biology of triploid fish. **Reviews in Fish Biol.** **Fish**, v.14, p.391-402, 2004.
- THODESEN, J.; GJERDE, B.; GRISDALE-HELLAND, B. et al. Genetic variation in feed intake, growth and feed utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v.194, p.273–281. 2001.
- THODESEN, J.; GJEDREM, T. *Breeding programs on Atlantic salmon in Norway: lessons learned*. In: DEVELOPMENT OF AQUATIC ANIMAL GENETIC IMPROVEMENT AND DISSEMINATION PROGRAMS: CURRENT STATUS AND ACTION PLANS, 22-26., 2006, Penang, **Anais...** Penang: WorldFish Center Conference Proceedings, 2006. p.50.
- TSUKAMOTO, R.Y.; RIGOLINO, M.G. Aplicações da biotecnologia à aquicultura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA, 10., 1993, São Paulo, **Anais...** São Paulo, Universidade de São Paulo, 1993. p.314-338.
- TURRA, E.M.; OLIVEIRA, D.A.A.; VALENTE, B.D. et al. Estimation of genetic parameters for body weights of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* using random regression models. **Aquaculture**, v.354-355, p.31-37, 2012a.
- TURRA, E.M.; OLIVEIRA, D.A.A.; VALENTE, B.D. et al. Longitudinal genetic analyses of fillet traits in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v.356-357, p.381–390, 2012b.
- VAN SANG, N.; THOMASSEN, M.; KLEMETSDAL, G. et al. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). **Aquaculture**, v.288, p.166–171, 2009.