

### Perspectivas para o melhoramento genético de peixes nativos

Jayme Aparecido Povh<sup>1\*</sup>, Carlos Antonio Lopes de Oliveira<sup>2</sup>, Ricardo Pereira Ribeiro<sup>2</sup>, Luciana Shiotsuki<sup>3</sup>,  
Susana Amaral Teixeira<sup>1</sup>, Darci Carlos Fornari<sup>4</sup>, Ruy Alberto Caetano Corrêa Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professores da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. \*Endereço de correspondência: jayme.povh@ufms.br

<sup>2</sup>Professores da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Departamento de Zootecnia

<sup>3</sup>Pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura

<sup>4</sup>Bolsista CAPES-PRINT da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

#### 1. Introdução

Os programas de melhoramento genético animal e vegetal têm sido o alicerce para o desenvolvimento agropecuário no mundo. Atualmente é impraticável pensar em produção de frango, suínos, bovinos, soja, milho, entre outras espécies, sem melhoramento genético. Na aquicultura, entretanto, são poucos os programas de melhoramento genético. Segundo Gjedrem (2012), isto ocorre principalmente devido à deficiência de informações quanto aos aspectos de produção e reprodução dos organismos aquáticos, o que se torna ainda mais evidente nas espécies de peixes nativos do Brasil, algumas das quais também são importantes para outros países da América do Sul.

As experiências com algumas espécies aquáticas (ex: tilápia-do-Nilo - *Oreochromis niloticus*, salmão - *Salmo salar*; e as carpas - *Cyprinus carpio* e *Labeo rohita*) pelo mundo mostram que o melhoramento genético pode contribuir com ganhos genéticos entre 8 e 12% por geração (Nguyen, 2016), podendo atingir até 15% por geração em programas bem conduzidos (Ponzoni et al., 2005). Considerando-se esses ganhos genéticos, a seleção dos peixes pela taxa de crescimento pode resultar em animais com o dobro do tamanho inicial, ao final de 7 gerações, resultado bastante significativo comparativamente ao obtido em animais terrestres. Isto se deve ao fato de os peixes apresentarem uma grande variabilidade genética para taxa de crescimento e alta fecundidade, possibilitando aplicar uma alta intensidade de seleção; bem como a ocorrência de fertilização externa, permitindo melhor controle na definição dos acasalamentos (Turra et al., 2013).

No Brasil, a história do melhoramento genético de peixes teve início em 2002, com importação da variedade de tilápia-do-Nilo GenoMar Supreme, proveniente da empresa norueguesa GenoMar (Oliveira et al., 2012), pela piscicultura Aquabel, situada em Rolândia, Paraná. A referida piscicultura comercializava apenas juvenis revertidos sexualmente, não havendo a possibilidade de comercialização de matrizes melhoradas dentro do Brasil. Em 2005, foi introduzida no Brasil a tilápia-do-Nilo da variedade GIFT (Genetically Improved Farmed Tilapia) na Estação Experimental de Piscicultura da Universidade Estadual de Maringá – UEM - Maringá, Paraná, sendo que esta iniciativa teve como intuito disseminar peixes geneticamente melhorados para os piscicultores responsáveis pela comercialização de juvenis, os quais recebiam juvenis que se tornariam futuras matrizes e reprodutores para iniciar um programa de melhoramento genético (Ribeiro e Legat, 2008). O melhoramento genético e a aplicação de tecnologias, como reversão sexual, incubação de ovos e utilização de aeradores, deram um grande impulso à tilapicultura brasileira.

Quanto aos peixes nativos, o marco do melhoramento genético ocorreu no período de 2009 a 2012 com o Programa Aquabrasil, quando se deu início ao desenvolvimento do programa de melhoramento genético do tambaqui (*Colossoma macropomum*) e cachara (*Pseudoplatystoma reticulatum*) com núcleo satélite na região Centro-Oeste, em Sorriso, Mato Grosso (Resende, 2009; Oliveira et al., 2013), utilizando como base o melhoramento genético da tilápia-do-Nilo (seleção dentro de famílias). Para a cachara, formou-se 71 famílias (Oliveira et al., 2013), mas não houve continuidade do programa de melhoramento genético. Para o tambaqui, alguns trabalhos foram realizados para continuidade do programa seleção (Marcos et al., 2016; Marcos et al., 2020). Entretanto, atualmente, parte do material genético selecionado foi transferido para Embrapa e algumas iniciativas têm sido estabelecidas para a execução do programa na Embrapa Aquicultura em Palmas, Tocantins (Silva et al., 2018; Shiotsuki et al., 2019).

O programa de melhoramento genético do tambaqui teve início em 2009 com a formação de 64 famílias para compor os plantéis de reprodutores (Oliveira et al., 2013), sendo a primeira geração (G1) selecionada para ganho em peso no período reprodutivo de 2011/2012 (Marcos et al., 2016), e a segunda geração (G2) foi obtida na estação reprodutiva de 2014/2015 (Marcos et al., 2020). Os ganhos genéticos obtidos na G1 foram altos, sendo que duas famílias apresentaram ganhos de 24,8% e 20,9% superior ao grupo controle para ganho de peso. Na G2 observou-se diferença entre as famílias produzidas em diferentes condições de produção (Estação Experimental de Piscicultura da UFMT, localizada ao entorno de Cuiabá-MT; e Estação Experimental de Piscicultura da UFMS, localizada em Campo Grande-MS), evidenciando que os ambientes de produção influenciaram o desempenho das famílias. Este resultado realça a importância da interação genótipo-ambiente, uma vez que a seleção de melhores progênes está diretamente relacionada ao ambiente de produção. Atualmente, parte do material selecionado foi transferido para Embrapa e iniciativas têm sido estabelecidas para a execução do programa na Embrapa Aquicultura em Palmas, Tocantins (Silva et al., 2018; Shiotsuki et al., 2019).

Dentre os peixes nativos do Brasil, o tambaqui, proveniente da bacia amazônica, é o mais cultivado, seguido pelos seus híbridos tambacu (fêmea de tambaqui com macho de pacu) e tambatinga (fêmea de tambaqui x macho de pirapitinga). O interesse na produção destes híbridos ocorre, principalmente, devido à ausência de um programa de melhoramento genético consolidado para a espécie, que forneça material genético de maior desempenho, padronizado e de qualidade, fato que também é observado para qualquer outra espécie nativa. Dessa forma, por falta de alternativas e almejando serem mais competitivos, os produtores de tambaqui e cachara desenvolveram híbridos interespecíficos (Resende, 2009).

Outro importante fator que contribui para o maior interesse no cultivo dos híbridos se refere às melhorias produtivas esperadas como fenômeno de heterose, também conhecido como vigor do híbrido. Entretanto, apesar de alguns trabalhos apontarem efeitos positivos da heterose na produção de híbridos de peixes nativos, tal como maior peso corporal no tambacu comparativamente aos parentais puros (tambaqui e pacu) cultivados durante o período de primavera e inverno (Mourad et al., 2018), Silva et al. (2022), observaram maior desempenho produtivo no tambaqui em comparação ao tambacu e tambatinga em condições de cultivo com temperatura adequada para peixes de clima tropical. Adicionalmente, Fantini et al. (2019) não encontraram diferenças no desempenho entre cachara e cachapinta (fêmea de cachara x macho de pintado). Diante do exposto, observa-se a necessidade de implementação de um programa de melhoramento genético para os peixes nativos, de forma a possibilitar a viabilidade produtiva destes, principalmente perante ao aumento do cultivo da tilápia-do-Nilo nos últimos anos.

## 2. Principais peixes nativos produzidos no Brasil

A produção brasileira de pescado tem crescido nos últimos anos, sendo, em 2021, de 841 mil toneladas, 4,74% superior ao ano de 2020, segundo os dados do anuário da Peixe BR (2022) (Figura 1). Cabe destacar que grande parte deste aumento se deve à produção de tilápia-do-Nilo, que representou 63,5% da produção total de peixes no Brasil, com 534 mil toneladas produzidas no ano de 2021, 9,8% superior ao ano anterior, segundo os dados do anuário. Por outro lado, o referido anuário mostra que o cultivo de peixes nativos apresentou uma redução de 5,85% no ano de 2021 em relação ao ano anterior, sendo produzidas 262,4 mil toneladas. Entre as espécies nativas, a produção de tambaqui se destaca no Brasil, sendo produzidas 100,6 mil toneladas em 2020, de acordo com os dados do IBGE (2022).

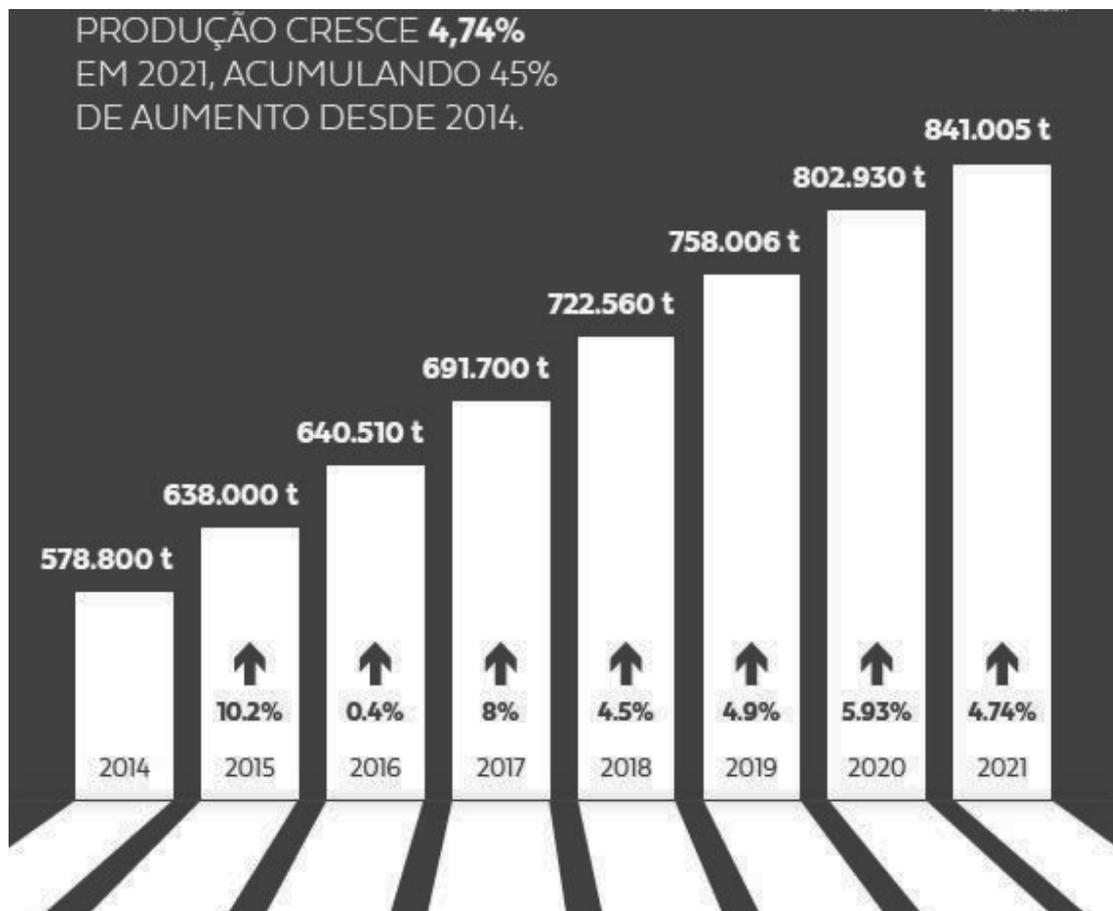


Figura 1 - Produção de peixes no Brasil nos últimos anos.

Fonte: Peixe BR (2022).

Dentre os fatores que contribuem para a menor produção de peixes nativos, pode-se destacar: (i) ausência de um programa de melhoramento genético consolidado; (ii) falta de aplicação de tecnologia na produção (ex: aeradores para aumentar a produção); e (iii) falta de planejamento da produção, com um adequado cronograma de entrada e saída de peixes. Este último fator tem prejudicado a disponibilidade dos peixes nativos, principalmente para o processamento nos frigoríficos, o que pode gerar prejuízo e aumentar o preço ao consumidor.

Além desses fatores, alguns outros entraves são característicos das principais espécies nativas atualmente produzidas, por exemplo, o tambaqui e seus híbridos (tambacu e tambatinga). Esses peixes apresentam a espinha em "y", o que desperta preocupação por parte do mercado consumidor, principalmente em relação ao consumo por crianças. Adicionalmente, a heterose positiva esperada na produção de híbridos pode não ocorrer, por exemplo, quando os animais são expostos a temperaturas adequadas durante o período de cultivo, sendo o desempenho dos nativos puros superior ao dos híbridos, como demonstrado por Silva et al. (2022) e, a melhoria genética, quando existe, é restrita apenas a uma geração, diferentemente do melhoramento genético obtido por seleção, em que os ganhos genéticos são permanentes e cumulativos ao longo das gerações. De forma similar, para a espécie nativa pacu/patinga (fêmea de pacu x macho de pirapitinga), a mesma problemática da espinha em "y" e da instabilidade quanto aos resultados da heterose ocorrem, como se pode observar no trabalho de Seraphim et al. (2020). No caso dos bagres, como pintado/cachara e seus híbridos (cachapinta/pintachara/surubim), os principais problemas estão relacionados ao fato de serem peixes carnívoros (necessitam de treinamento alimentar), o que leva à necessidade de maior aporte proteico na ração, encarecendo a produção dos juvenis; embora atualmente o principal surubim produzido seja proveniente do cruzamento da fêmea de uma espécie do gênero *Pseudoplatystoma* com macho jundiá da bacia amazônica (*Leiarius marmoratus*), peixe que aceita ração com menor nível de proteína. Aliado a isso, nos últimos anos, em várias localidades do Brasil, foi liberada a produção de tilápia-do-Nilo (ex: Mato Grosso e Tocantins) e, dessa forma, vários produtores têm optado em produzir essa espécie exótica em detrimento aos peixes nativos, pelos motivos mencionados acima, contribuindo para a redução do cultivo e da importância econômica dos peixes nativos nos últimos anos.

### 3. Entraves ao desenvolvimento de programa de melhoramento genético de espécies nativas brasileiras

A ausência de programas de melhoramento genético consolidados talvez seja um dos principais gargalos na produção dos peixes nativos, juntamente com a baixa aplicabilidade de tecnologias. Entre os fatores que contribuem para a baixa adesão de programas de melhoramento genético na produção de peixes nativos, destacam-se:

- (i) maturidade sexual tardia dos peixes nativos, aproximadamente aos 3 anos, tempo este bastante superior à maturidade sexual da tilápia-do-Nilo, que ocorre entre quatro e seis meses de vida;
- (ii) dificuldade de infraestrutura (instalações) para formação das famílias, principalmente para a produção das famílias separadamente até atingirem o tamanho para receber identificação individual por meio de microchip;
- (iii) falta de domínio reprodutivo, considerando-se que atualmente o protocolo usual para reprodução dos principais peixes nativos pode não ser efetivo e ocasionar mortalidade nos peixes. A reprodução dos peixes nativos em geral é realizada com o hormônio extrato de hipófise de carpa, o qual apresenta alguns questionamentos quanto à sua aplicação, dentre eles, a falta de padronização das concentrações das gonadotropinas, possível efeito imune (quando os peixes podem não responder ao indutor após sucessivas reproduções) e por não ser totalmente eficiente para reprodução induzida, como se pode observar nos trabalhos de Martins et al. (2017), Souza et al. (2018) e Konzen-Freitas et al. (2020). Por fim, alguns peixes nativos, tal como tambaqui, a ineficiência reprodutiva após a aplicação do hormônio pode levar os peixes à morte e, se este for um peixe de alto valor genético, isso representa um grande problema ao melhoramento genético, em especial para as fêmeas, uma vez que ainda não foi possível viabilizar material genético *ex situ* para as mesmas;
- (iv) dificuldade de sincronização reprodutiva entre machos e fêmeas, o que prejudica os direcionamentos reprodutivo para a formação das famílias.

### 4. Histórico do desenvolvimento do programa de melhoramento genético de peixes no Brasil

#### 4.1 Exemplo da tilápia-do-Nilo variedade GIFT

O surgimento da variedade GIFT (*Genetic Improvement of Farmed Tilapias*) resultou do programa de melhoramento genético da tilápia-do-Nilo desenvolvido durante 20 anos pelo *International Center for Living Aquatic Resources Management* (ICLARM), atualmente conhecido como *WorldFish Center* (sede em Penang, Malásia), o qual se caracteriza como uma organização internacional de pesquisa e inovação sem fins lucrativos que objetiva reduzir a fome, a desnutrição e a pobreza na África, Ásia e no Pacífico (<https://www.worldfishcenter.org/about-us>). A produção da variedade se deu pelo cruzamento de oito variedades, constituída de quatro populações selvagens da África (capturadas entre 1988-1989 em Gana, Egito, Quênia e Senegal) e quatro variedades cultivadas nas Filipinas (introduzidas neste país a partir das variedades cultivadas em Israel, Singapura, Tailândia e Taiwan). Os detalhes específicos destas variedades utilizadas na formação da

variedade GIFT podem ser consultadas no artigo "Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments" (Eknath et al., 1993). Neste trabalho os autores evidenciam que o principal objetivo do projeto GIFT foi construir uma população base com uma base genética mais ampla e iniciar um programa de melhoramento genético para desenvolver uma variedade de tilápia mais produtiva.

No Brasil, o programa de melhoramento da GIFT iniciou-se em 2005 com a introdução de famílias melhoradas na Universidade Estadual de Maringá (UEM; Maringá, Paraná), por meio de convênio desta com o WorldFish Center (Ribeiro e Legat, 2008). Inicialmente, foram introduzidos 600 peixes de 30 famílias de irmãos completos, provenientes do acasalamento hierárquico de duas fêmeas para cada macho, as quais pertenciam à oitava geração de seleção na Malásia. Os peixes foram alocados em hapas em um tanque de 400 m<sup>2</sup> na Estação Experimental de Piscicultura da UEM, Maringá-PR, e utilizados como população base do programa de melhoramento genético, sendo o objetivo de seleção o desempenho em crescimento anual dos peixes, devido à importância econômica e à facilidade de registro dessa característica, em sistema intensivo de produção em tanques-rede (Santos et al., 2011).

As etapas do melhoramento genético que tem sido aplicado na tilápia-do-Nilo seguem um esquema semelhante ao apresentado na Figura 2 por Nguyen (2016). Em geral, é possível observar as seguintes etapas que se repetem geração após geração: (i) acasalamento de, no mínimo, 60 famílias compostas de duas fêmeas e um macho (proporção de 2 fêmeas : 1 macho para análise do efeito materno, pois as fêmeas de tilápia-do-Nilo incubam ovos na boca), em hapas individualizadas, sendo uma para cada família; (ii) produção da progênie de cada família separadamente (tanques ou hapas) até atingirem cerca de 10 cm (4 a 8 semanas); (iii) identificação (microchip) e, em seguida, acompanhamento do desempenho em crescimento em ambiente comum; (iv) avaliação genética e seleção dos melhores peixes para serem os reprodutores na próxima geração; e (v) reprodução dos peixes selecionados de cada família. A disseminação da população melhorada desta espécie é baseada na multiplicação do estoque melhorador, sendo que após a produção das famílias de irmãos completos e de meios-irmãos, os parentes selecionados são utilizados para a produção em massa de juvenis. A progênie dos parentes selecionados, quando atingem a maturidade sexual, também são avaliadas e selecionadas com base no melhor valor genético e, dessa forma, é possível continuar o programa de melhoramento para aumento do ganho em peso e, ao mesmo tempo, distribuir, a cada geração, juvenis que serão matrizes/reprodutores para os produtores de juvenis (Ribeiro e Legat, 2008).

Yoshida et al. (2021) apresentaram os resultados de nove gerações (G1-G9; entre os anos de 2008 e 2017) de seleção da tilápia-do-Nilo para aumento da taxa de crescimento realizada em tanques-rede no Brasil. Os autores também observaram herdabilidade para a característica variando entre 0,20 e 0,33, e tendência genética (indicador de ganho genético realizado) de cerca de 3,3% por geração. Os autores evidenciaram ainda que este ganho por geração está abaixo das estimativas relatadas em outros trabalhos (7% a 20% por geração para o peso na despesca em tilápia-do-Nilo), fato que, segundo os autores, pode estar associado ao caráter conservador do programa de melhoramento genético desenvolvido no Brasil, em que peixes de todas as famílias são selecionados para evitar incremento na taxa de endogamia e manter a variabilidade genética.

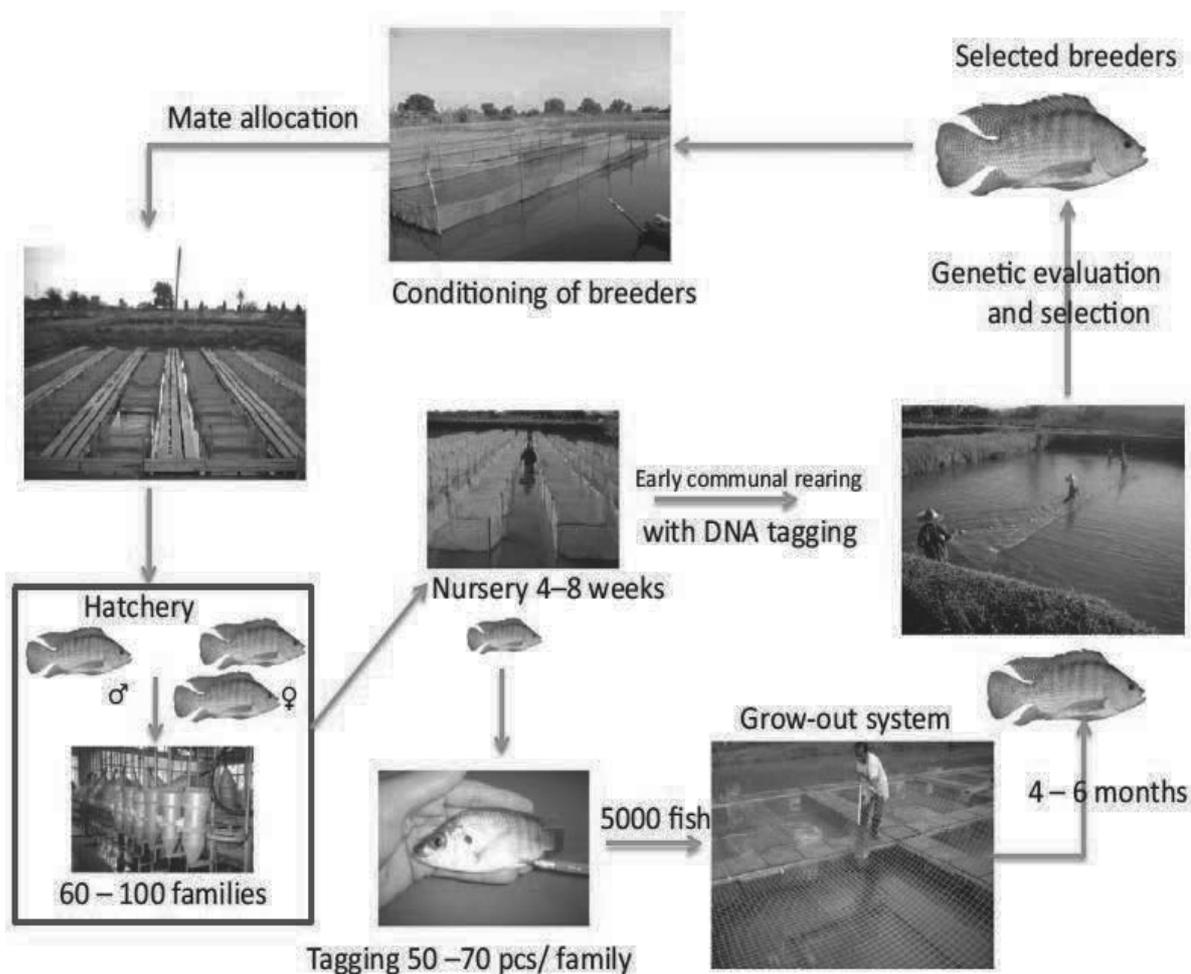


Figura 2. Esquema geral do programa de melhoramento genético da tilápia-do-Nilo.

Fonte: Nguyen (2016).

Atualmente, o melhoramento genético da variedade de tilápia-do-Nilo Tilamax (atual nome da variedade GIFT disponível na UEM) conta com mais duas gerações, além das nove gerações que foram evidenciadas no trabalho de Yoshida et al. (2021). Na Figura 3 é possível observar a evolução nos valores genéticos médios estimados (EBV) para esta variedade até a 12ª geração. De acordo com a figura, na 12ª geração, a média do EBV para peso corporal foi de 113 gramas (g), ou seja, em média, as famílias da 12ª geração apresentaram 113 g a mais de peso corporal em relação à média das famílias da primeira geração. Isto indica que para um mesmo tempo de produção, obteve-se animais mais pesados, ou ainda que os peixes da 12ª geração atingem o mesmo peso daqueles da primeira geração, mas em menor tempo de produção. Cabe salientar que, para os produtores que irão disseminar os juvenis melhorados para as pisciculturas de engorda, geralmente são encaminhados peixes provenientes de famílias de maior EBV e, portanto, este ganho pode ser muito mais expressivo.

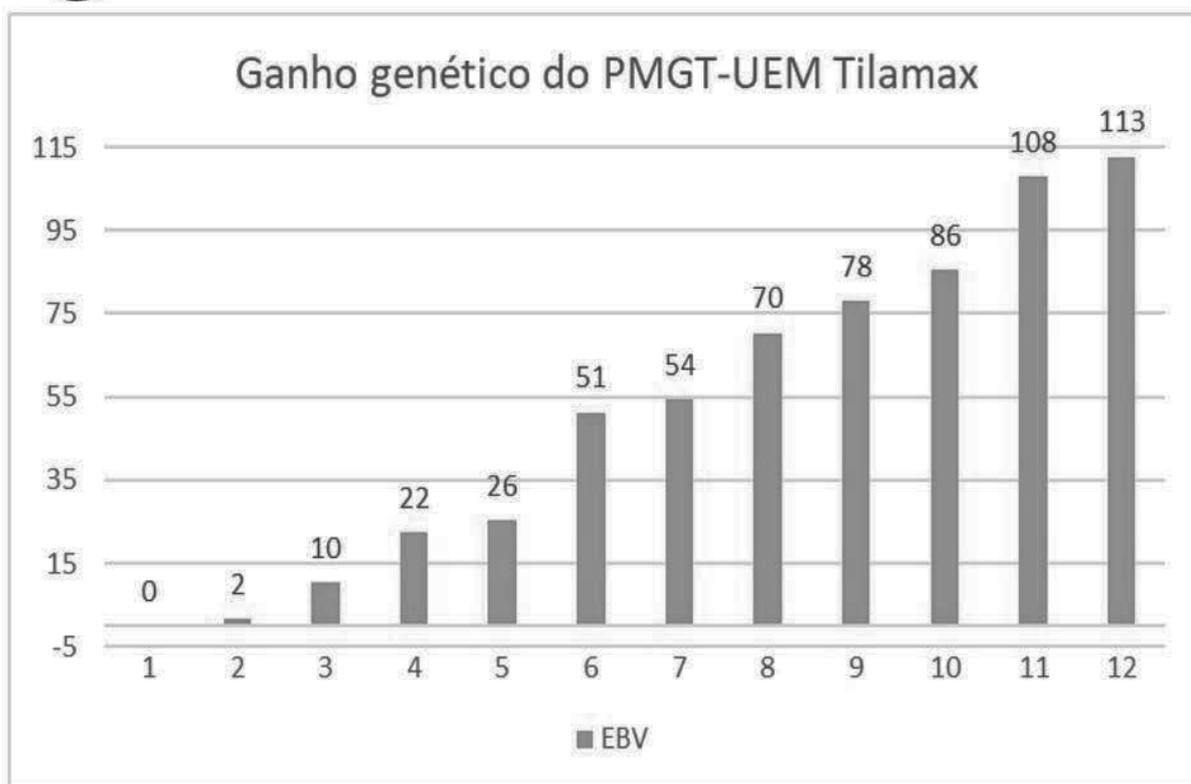


Figura 3. Evolução dos valores genéticos médios estimados (EBV) para peso corporal em gramas (g) de tilápia-do-Nilo da variedade Tilamax melhorada geneticamente no Brasil ao longo de 12 gerações. Fonte: Arquivo pessoal cedido por Oliveira e Ribeiro em 2022.

Considerando-se que o programa de melhoramento genético desenvolvido para GIFT/Tilamax ocorre em tanques-rede, trabalhos como o de Araújo et al. (2020) que avaliaram a interação genótipo × ambiente para peso na despesca e comprimento do tronco de tilápia-do-Nilo cultivadas em diferentes sistemas são de grande importância para o programa. Estes autores reportaram que as estimativas de herdabilidades para as características foram maiores nas populações de peixes em tanques escavados ( $0,52 \pm 0,12$ ) em relação àquelas em tanques-rede ( $0,33 \pm 0,08$ ). Além disso, os autores também observaram que a posição de classificação das 10 melhores famílias diferiu de acordo com o ambiente, assim como a resposta à seleção direta e indireta, indicando haver efeito de ambiente sobre a expressão do genótipo. Estes trabalhos são importantes indicadores dos rumos da seleção em programas de melhoramento genético, apontando para a necessidade ou não de praticar seleção em condições específicas de cultivo.

#### 4.2 Iniciativas de melhoramento genético de peixes nativos no Brasil

Em geral, o programa de melhoramento genético do tambaqui e da cachara seguiram a mesma lógica daquela apresentada na Figura 2 para tilápia-do-Nilo, exceto quanto à formação de famílias completas, uma vez que para os peixes nativos foram utilizados dois machos e uma fêmea, considerando-se que as principais espécies de peixes nativos produzidos no Brasil não incubam os ovos na boca, assim, o efeito materno observado para tilápia-do-Nilo não ocorre, embora nos peixes nativos, assim como à tilápia-do-Nilo, possa ocorrer efeito materno devido ao saco vitelínico. Isso foi importante pela maior facilidade de obtenção dos gametas dos machos comparativamente às fêmeas, o que facilitou um pouco a produção das famílias, tendo em vista que a indução reprodutiva das fêmeas precisa ser realizada no momento adequado durante o período reprodutivo para que ocorra a desova e que os gametas sejam viáveis, sendo que esta análise geralmente é subjetiva, o que pode gerar insucesso; no macho, o momento adequado à reprodução é facilmente observado mediante análise da liberação de uma pequena quantidade de sêmen após pressão no sentido encéfalo-caudal.

É importante destacar que alguns fatores tornaram o programa de melhoramento genético dos peixes nativos mais complexos de serem conduzidos, destacando-se a maturidade sexual tardia dos peixes nativos, aproximadamente aos 3 anos, comparativamente à tilápia-do-Nilo, em torno dos 6 meses, e a dificuldade de sincronizar os cruzamentos determinados. Neste ponto é importante destacar também a necessidade de protocolos efetivos de criopreservação de sêmen dessas espécies, os quais, em geral, carecem de maiores informações quanto à sua efetividade.

Outro aspecto importante quanto à reprodução dos peixes nativos é que há poucas informações científicas sobre a reutilização da fêmea ou do macho em um mesmo período reprodutivo. Em termos comparativos, há trabalhos que evidenciam que a tilápia-do-Nilo pode se reproduzir continuamente a cada 30 dias, a depender da temperatura sob as quais os peixes estão submetidos (Almeida et al., 2013). Contrariamente, a reprodução das fêmeas de peixes nativos só acontece uma vez no ano e, portanto, uma fêmea de alto valor genético tende a contribuir menos com o progresso genético nas diferentes características, embora a fecundidade dos peixes nativos por desova seja bastante superior ao observado para tilápia-do-Nilo. Recentemente, alguns trabalhos têm mostrado que tanto as fêmeas (Pires et al., 2018) quanto os machos (Pires et al., 2017) de tambaqui, assim como machos de jundiá da bacia amazônica *Leiarius marmoratus* (Spica et al., 2021), podem retornar à reprodução no mesmo período reprodutivo. No entanto, ainda se faz necessários ajustes para que isso possa ser efetivamente explorado na produção de peixes nativos.

As informações quanto às estimativas dos parâmetros genéticos para as diferentes características produtivas e reprodutivas em populações de peixes nativos são, em geral, escassas. Entre os trabalhos, pode ser destacar o de Mello et al. (2016), os quais encontraram estimativas de herdabilidade para peso corporal e características morfométricas de médias a altas em tambaqui, com valores variando entre 0,17 e 0,46 aos 12 meses e de 0,25-0,49 aos 24 meses; comprimento do corpo, com maior valor de estimativa de herdabilidade aos 12 meses (0,46); e ganho de peso diário, com maior valor de estimativa de herdabilidade aos 24 meses (0,49). Os autores mostraram ainda que o efeito de ambiente comum (resultante do fato dos irmãos compartilharem um ambiente comum até a marcação com microchip) para a característica largura do corpo representou 20% da variação total da característica; entretanto, para as outras características avaliadas, o efeito de ambiente comum foi menor, variando entre 7 e 11%, indicando que as variações para peso corporal, ganho de peso diário e características morfométricas entre os animais têm origem genética e, portanto, devem responder bem à seleção.

No trabalho de Campos et al. (2020) é possível verificar o efeito do melhoramento genético de tambaqui, sendo observado, mediante ajuste da curva de crescimento pelo modelo de Gompertz, melhora do peso assintótico dos peixes com EBV (valor genético estimado - *Estimated Breeding Value*) 5% superiores em relação aos peixes com EBV 5% inferiores, representando melhora de 45% no peso assintótico. Na Figura 4 do referido trabalho é possível verificar a superioridade na curva de crescimento para peso (BW, g) e taxa de crescimento absoluta (g/dia) nos peixes de maior EBV. Este cenário também foi evidenciado por Zardin et al. (2019) em tilápia-do-Nilo, os quais observaram crescimento bastante distinto tanto para machos quanto para fêmeas quanto ao peso assintótico entre famílias de alto, médio e baixo EBV para ganho de peso diário.

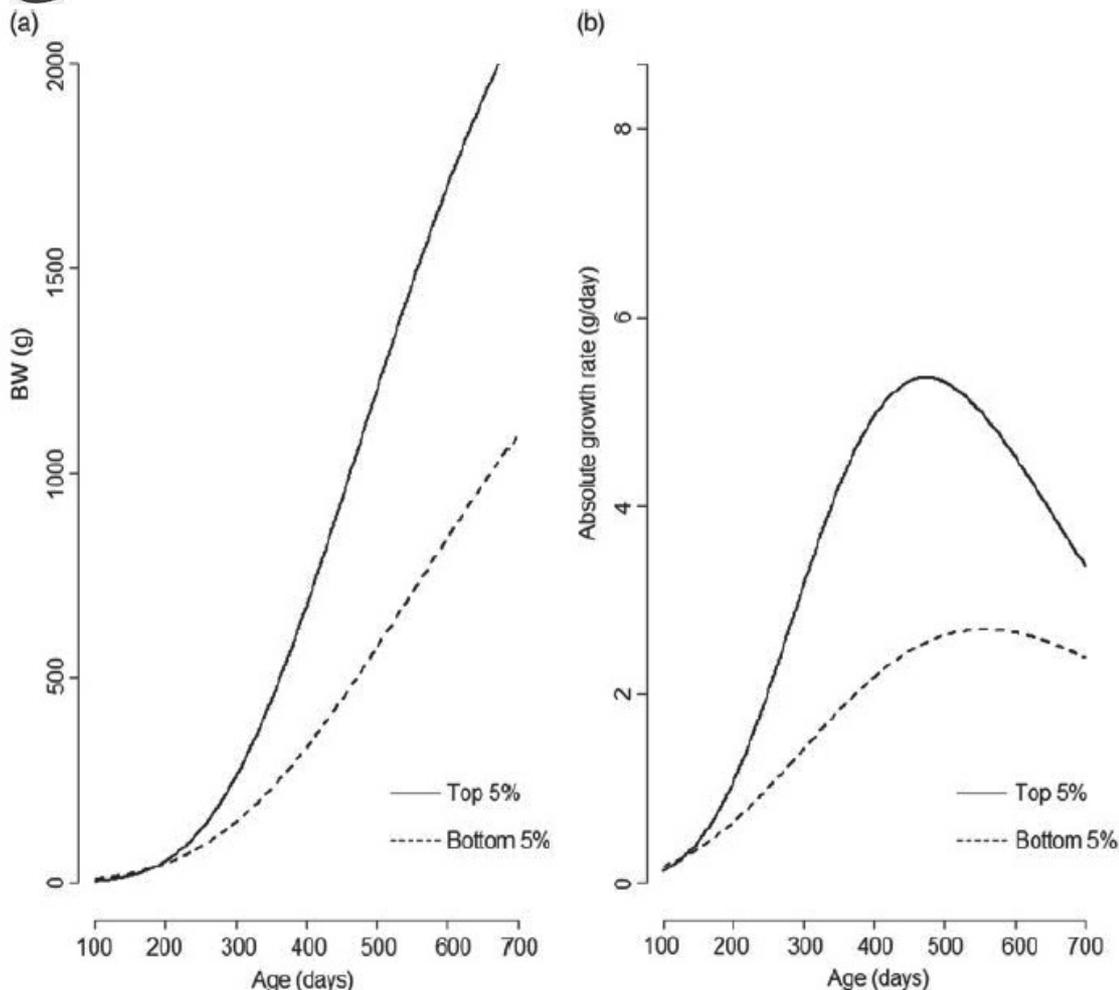


Figura 4. Curvas de crescimento do tambaqui ajustadas ao modelo de Gompertz. (a) Curva de crescimento; (b) taxa de crescimento absoluta.

Fonte: Campos et al. (2020).

Com relação ao programa da cachara, poucos resultados efetivos foram obtidos. Embora haja evidência de variabilidade genética (Albuquerque et al., 2020), poucos resultados foram obtidos e publicados. Atualmente, não há registros da continuidade do programa de melhoramento genético da referida espécie.

A presença de dimorfismo sexual em muitas características de interesse zootécnico é um fator importante para o melhoramento genético, uma vez que as diferenças entre machos e fêmeas podem influenciar as estimativas dos parâmetros genéticos e a seleção. Em tambaqui, Mello et al. (2015) não encontraram diferença entre machos e fêmeas até 2 kg de peso vivo para crescimento em peso, mas a partir deste peso até a maturidade sexual, as fêmeas apresentaram maior peso. Isto se contrasta ao que foi observado por Zardin et al. (2019) em tilápia-do-Nilo, pois, neste estudo, os machos apresentam maior peso assintótico em relação as fêmeas antes do período usual de abate no Brasil, indicando que mesmo com o melhoramento genético ainda há dimorfismo sexual para peso; mas fêmeas de alto EBV para taxa de crescimento apresentaram maior peso assintótico do que as fêmeas de médio EBV.

Embora seja desejável que não ocorra dimorfismo sexual até a idade de abate, como acontece em tambaqui e outros peixes nativos (é uma vantagem comparativamente à tilápia-do-Nilo), isso é um problema considerando a dificuldade na determinação do sexo no período anterior à maturidade sexual, o que pode influenciar as estimativas de herdabilidade e seleção, conforme evidenciado por Varela et al. (2021). Campos et al. (2020) avaliaram o tambaqui do programa de melhoramento genético atualmente desenvolvido pela Embrapa Aquicultura e Pesca (Palmas, Tocantins) e observaram herdabilidades moderadas a altas para características de desempenho aos 6 e 12 meses (0,23 a 0,81), as quais foram maiores antes da marcação com microchip (~159 dias de idade), e correlações genéticas positivas entre as características de crescimento aos 12 meses (0,84 a 0,99) e entre as características de crescimento aos 6 e 12 meses (0,80 a 0,92), evidenciando que a seleção dos animais pode ser realizada 6 meses após a marcação. No entanto, estes autores observaram em uma simulação que a determinação da razão sexual permite obter estimativas de herdabilidade mais precisas, o que evidencia a importância do

desenvolvimento de ferramentas precisas para determinar o sexo em estágios iniciais, contribuindo na melhora da resposta à seleção do tambaqui. Neste sentido, Varela et al. (2021) encontraram quatro marcadores moleculares ligados ao sexo em tambaqui com os quais é possível uma precisão na predição do sexo entre 90,0 e 96,7%.

A partir da implementação e evolução do programa de melhoramento genético de peixes nativos, novos critérios de seleção poderão ser considerados, como, por exemplo, a obtenção de famílias com perfil mais adequado de ácidos graxos, como ômega-3, melhorando a qualidade da carne e agregando valor comercial. A importância das variáveis relacionadas à qualidade do produto final já vem sendo pesquisada, por exemplo, para tilápia-do-Nilo, tal como reportado por Garcia et al. (2017). Esses autores evidenciaram moderada herdabilidade para teor de gordura no filé (0,2) e rendimento de filé (0,32), herdabilidade superior para peso corporal na despesca (0,41) e correlações não significativas das duas primeiras variáveis com o peso corporal e ganho em peso diário, indicando que não ocorrerá mudanças no rendimento do filé e no teor de gordura adotando-se como critério de seleção o desempenho em crescimento; mas há correlação genética significativa entre gordura do filé e rendimento do filé. Além disso, Araújo et al. (2022), observaram relações entre desempenho animal, ambiente e glicemia, evidenciando que a glicose pode ser utilizada como critério de seleção em programas de criação de tilápia-do-Nilo, sendo um possível indicador de melhor aproveitamento da glicose e condicionamento a situações de estresse, o que pode ser muito importante para obtenção de famílias mais adequadas para sistemas intensivos de produção.

## 5. Considerações finais

O desenvolvimento de um programa de melhoramento genético e a aplicação de tecnologias de produção são fundamentais para que os produtores de peixes nativos aumentem sua produção, subsidiados por maior viabilidade econômica e possibilidade de agregar pacotes tecnológicos na produção das principais espécies de peixes nativos do Brasil. Este cenário é fundamental para que a produção dos peixes nativos se torne mais competitiva nos próximos anos, principalmente considerando-se que o aumento acentuado observado na produção de peixes no Brasil ocorre, principalmente, devido à produção de tilápia-do-Nilo.

Por fim, é importante destacar que a falta de programas de melhoramento genético de peixes nativos é um indicativo da necessidade de envolvimento de políticas públicas e privadas com metas não imediatistas considerando-se algumas particularidades dos peixes nativos, por exemplo, longo intervalo de geração. A implementação de programas de melhoramento de peixes nativos não pode ficar à cargo apenas de Universidades e centros de pesquisas, e dependentes de projetos individualizados, face aos riscos de falta de recursos para continuidade do programa e, conseqüentemente, comprometimento de todo o trabalho conquistado nos primeiros anos. Dessa forma, programas com envolvimento de agências federais e estaduais aliado às instituições de ensino e pesquisa, bem como o apoio da iniciativa privada a longo prazo com projetos de longa duração (acima de 20 anos) são fundamentais para o êxito dos programas de melhoramento genético para as espécies nativas, conforme observado no histórico do melhoramento genético da tilápia-do-Nilo da variedade GIFT.

## Referências

- ALBUQUERQUE, D.M.; OLIVEIRA, C.A.L.; RODRIGUEZ RODRIGUEZ, M.D.P.; RIBEIRO, R.P. Genetic variability in *Pseudoplatystoma reticulatum* from a breeding program in Brazil. *Revista Ciencia Agronomica* 51, 1-10, 2020.
- ALMEIDA, D.B.; COSTA, M.A.P.; BASSINI, L.N.; CALABUIG, C.I.P.; MOREIRA, C.G.A.; RODRIGUES, M.D.N.; PÉREZ, H.J.; TAVARES, R.A.; VARELA JR, A.S.; MOREIRA, H. L.M. Reproductive performance in female strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International* 21, 1291-1300, 2013.
- ARAÚJO, F.C.T.; RIBEIRO, R.P.; CAMPOS, E.C.; TODESCO, H.; TSUJII, K.M.; MANTOVANI, L.S.C.; RIBEIRO, R.F.; CARVALHO, J.C.; CASSETTA, J.; LOPERA-BARRERO, N.M.; GASPARINO, E.; OLIVEIRA, C.A.L. Could serum glucose be a selection criterion in Nile tilapia breeding programs? *Aquaculture* 548, 737573, 2022.
- CAMPOS, E.C.; OLIVEIRA, C.A.L.; ARAÚJO, F.C.T.; TODESCO, H.; SOUZA, F.N.; ROSSI, R.M.; FORNARI, D.C.; RIBEIRO, R.P. Genetic parameters and response to selection for growth in tambaqui. *Animal* 1, 1-9, 2020.
- EKNATH, A.E.; TAYAMEN, M.M.; PALADA-DE VERA, M.S.; DANTING, J.C.; REYES, R.A.; DIONISIO, E.E.; CAPILI, J.B.; BOLIVAR, H.L.; ABELLA, T.A.; CIRCA, A.V.; BENTSEN, H.B.; GJERDE, B.; GJEDREM, T.; PULLIN, R.S.V. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. *Aquaculture* 111, 171-188, 1993.
- FANTINI, L.E.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; MARTINS, T.X.; LAICE, L.M.; SERAPHIM, G.N.; SILVA, A.L.N.; HANSON, T.; POVH, J.A. Growth curve comparison of native fish cachara (*Pseudoplatystoma reticulatum*) and cachapinta hybrid (*P. reticulatum* × *Pseudoplatystoma corruscans*). *Aquaculture* 506, 70-74, 2019.
- GARCIA, A.L.S.; OLIVEIRA, C.A.L.; KARIM, H.M.; SARY, C.; TODESCO, H.; RIBEIRO, R.P. Genetic parameters for growth performance, fillet traits, and fat percentage of male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Applied Genetics* 58, 527-533, 2017.

- GJEDREM, T. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: A personal opinion review. *Aquaculture* 12-22, 344-349, 2012.
- IBGE. Produção Pecuária Municipal, 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/3940>>.
- KONZEN-FREITAS, A.R.; ABREU, J.G.; ABREU, J.S.; DANTAS, V.L.Q.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; POVH, J.A. Tambaqui females (*Colossoma macropomum*) spawn after hormonal induction with busserelin acetate *Animal Reproduction Science* 221, 106594, 2020.
- MARCOS, R.; POVH, J.A.; FORNARI, D.C.; OLIVEIRA, C.A.L.; RIBEIRO, R.P.; LOPERA-BARRERO, N.M.; CORREA FILHO, R.A.C.; ABREU, J.S.; MURARI, P.J.F. Weight gain and morphometric growth of genetically improved tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Semina. Ciências Agrárias* 37, 2521-2528, 2016.
- MARCOS, R.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; ABREU, J.S.; SERAPHIM, G.N.; SILVA, A.C.C.; FORNARI, D.C.; RIBEIRO, R.P.; PIRES, L.B.; MARTINS, T.X.; POVH, J.A. Growth Curve of Selectively Bred Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Reared in Different Environments. *Journal of Agricultural Studies* 8, 585-600, 2020.
- MARTINS, E.F.F.; STREIT JR, D.P.; ABREU, J.S.; CORRÊA-FILHO, R.A.C.; OLIVEIRA, C.A.L.; LOPERA-BARRERO, N.M.; POVH, J.A. Ovopel and carp pituitary extract for the reproductive induction of *Colossoma macropomum* males. *Theriogenology* 98, 57-61, 2017.
- MELLO, F.; OLIVEIRA, C.A.L.; STREIT JR, D.P.; RESENDE, E.K.; OLIVEIRA, S.N.; FORNARI, D.C.; BARRETO, R.V.; POVH, J.A.; RIBEIRO, R.P. Estimation of Genetic Parameters for Body Weight and Morphometric Traits to Tambaqui *Colossoma macropomum*. *Journal of Fisheries Sciences* 10, 96-100, 2016.
- MELLO, F.; OLIVEIRA, C.A.L.; RIBEIRO, R.P.; RESENDE, E.K.; POVH, J.A.; DARCI, C.F.; BARRETO, R.V.; MCMANUS, C.; STREIT JR., D.P. Growth curve by Gompertz nonlinear regression model in female and males in Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87, 1-7, 2015.
- MOURAD, N.M.N.; COSTA, A.C.; FREITAS, R.T.F.; SERAFINI, M.A.; NETO, R.V.R.; FELIZARDO, V.O. 2018. Weight and morphometric growth of Pacu (*Piaractus mesopotamicus*), Tambaqui (*Colossoma macropomum*) and their hybrids from spring to winter. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 38, 544–550, 2018.
- NGUYEN, N.H. Genetic improvement for important farmed aquaculture species with a reference to carp, tilapia and prawns in Asia: achievements, lessons and challenges. *Fish and Fisheries* 17, 483–506, 2016.
- OLIVEIRA, C.A.L.; RIBEIRO, R.P.; BARBOSA, J.V.; SOUZA, R.M.R.; RESENDE, E.K. Melhoramento Genético: Uma ferramenta para aumentar a competitividade da piscicultura brasileira. *Informe Agropecuário*, 34, 7-13, 2013.
- OLIVEIRA, C.A.L.; RIBEIRO, R.P.; STREIT JR, D.P.; POVH, J.A.; RESENDE, E.K. Melhoramento genético de peixes: uma realidade para piscicultura brasileira. *Panorama da Aquicultura* 130, 38-47, 2012.
- PEIXE BR (2021). *Anuário PeixeBr da Piscicultura*. Associação Brasileira de Piscicultura.
- PIRES, L.B.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; SANCHES, E.A.; ROMAGOSA, E.; SILVA, T.G.; RECH, S.; STREIT JR, D.P.; POVH, J.A. *Colossoma macropomum* females can reproduce more than once in the same reproductive period. *Animal reproduction science* 196, 138-142, 2018.
- PIRES, L.B.; SANCHES, E.A.; ROMAGOSA, E.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; STREIT JR, D.P.; NASS, R.A.R.; POVH, J.A. Semen characteristics of *Colossoma macropomum* from three successive sample collections in the same reproductive cycle. *Aquaculture research* 48, 1-7, 2017.
- PONZONI, R.W.; HAMZAH, A.; TAN, S.; KAMARUZZAMAN, N. Genetic parameters and response for live weight in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 247, 203-210, 2005.
- RESENDE, E.K. Pesquisa em rede em aquicultura: bases tecnológicas para o desenvolvimento sustentável da aquicultura no Brasil. *Aquabrazil. Revista Brasileira de Zootecnia* 38, 52-57, 2009.
- RIBEIRO, R.P.; LEGAT, A.P. Delineamento de programas de melhoramento genético de espécies Aquícolas no Brasil. 21. ed. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2008, 01. 25p.
- SANTOS, A.I., RIBEIRO, R.P., VARGAS, L., MORA, F., ALEXANDRE FILHO, L., FORNARI, D.C.; OLIVEIRA, S. N. Bayesian genetic parameters for body weight and survival of Nile tilapia farmed in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46, 33–43, 2011.
- SERAPHIM, G.N.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; NUNES, A.L.; PIRES, L.B.; SILVA, T.G.; FERREIRA, Y.A.; ALMEIDA, L.C.; MARTINS, T.X.; LOPERA-BARRERO, N.M.; SPICA, L.N.; POVH, J.A. Growth curve of pacu and the patinga hybrid farmed in a semi-intensive system. *Semina: Ciências Agrárias* 41 suplemento 1, 2285-2296, 2020.
- SHIOTSUKI, L.; VILLELA, L.C.V.; KIRSCHNIK, L.N.G.; FREITAS, L.E.L.; REZENDE, F.P.; VARELA, E.S.; TORATI, L.S.; IANELLA, P.; CAETANO, A.R. Fundação das bases genéticas para um futuro Programa de Melhoramento de Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Aquaculture Brasil* 17, 10, 2019.
- SILVA, A.C.C.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; FORNARI, D.C.; ABREU, J.S.; BIGNARDI, A.B.; SEVERINO, M.F.G.; AMORIM, L.F.S.; ALBUQUERQUE, L.V.; CARNEIRO, I.L.; POVH, J.A. Production of tambaqui and of the tambatinga and tambacu hybrids: Performance, morphometric traits, and body yield. *Aquaculture* 554 738107, 2022.

- SILVA, G.F.; SHIOTSUKI, L.; TEIXEIRA, R.A.; DIAS, L.T.; VILLELA, L.C.V.; FREITAS, L.E.L.; KIRSCHNIK, L.N.G.; VARELA, E.S. Programas de melhoramento genético na piscicultura. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 58 p. 2018.
- SOUZA, F.N.; MARTINS, E.F.F.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; ABREU, J.S.; PIRES, L.B.; STREIT JR., D.P.; LOPERA-BARRERO, N.M.; POVH, J.A. Ovopel® and carp pituitary extract for induction of reproduction in *Colossoma macropomum* females. *Animal reproduction science* 195, 53-57, 2018.
- SPICA, L.N.; SANCHES, E.A.; STREIT JR, D.P.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; OLIVEIRA L.B.; RODRIGUES, R.B.; KASAI, R.Y.D.; POVH, J.A. Successive seminal collections from *Leiarius marmoratus* during the reproductive period. *Animal reproduction science* 234, 106852, 2021.
- TURRA, E.M.; OLIVEIRA, D.A.A.; VALENTE, B.D.; TEIXEIRA, E.A.; PRADO, S.A.; ALVARENGA, E.R.; MELO, D.C.; FELIPE, V.P.S.; FERNANDES, A.F.A.; SILVA, M.A. Longitudinal genetic analyses of fillet traits in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 356-357: 381-390. 2012.
- VARELA, E.S.; BEKAERT, M.; GANECO-KIRSCHNIK, L.N.; TORATI, L.S.; ALMEIDA, F.L.; VILLELA, L.C.V.; REZENDE, F.P.; BARROSO, A.S.; FREITAS, L.E.L.; TAGGART, J.B.; MIGAUD, H. A high-density linkage map and sex-linked markers for the Amazon Tambaqui *Colossoma macropomum*. *BMC Genomics* 22, 709, 2021.
- YOSHIDA, G.M.; OLIVEIRA, C.A.L.; CAMPOS, E.C.; TODESCO, H.; ARAÚJO, F.C.T.; KARIN, H.M.; ZARDIN, A.M.S.O. BEZERA JR, J.S.; ALEXANDRE FILHO, L.; VARGAS, L. RIBEIRO, R. A breeding program for Nile tilapia in Brazil: results from nine generation of selection to increase growth rate in cages. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 139, 127-135, 2021.
- ZARDIN, A.M.S.O.; OLIVEIRA, C.A.L.; OLIVEIRA, S.N.; YOSHIDA, G.M.; ALBUQUERQUE, D.T.; CAMPOS, C.M.; RIBEIRO, R.P. Growth curves by Gompertz nonlinear regression model for male and female Nile tilapias from different genetic groups. *Aquaculture* 511, 734243, 2019.