

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INTERAÇÕES GENÉTICAS E AMBIENTAIS SOBRE O
CRESCIMENTO E OS NÍVEIS DE GLICOSE NO CULTIVO
DE TILÁPIAS-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Autora: Gisele Ferreira da Silva
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira

MARINGÁ
Estado do Paraná
fevereiro – 2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INTERAÇÕES GENÉTICAS E AMBIENTAIS SOBRE O
CRESCIMENTO E OS NÍVEIS DE GLICOSE NO CULTIVO
DE TILÁPIAS-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Autora: Gisele Ferreira da Silva
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira

Tese apresentada, como parte das exigências para
obtenção do título de DOUTORA EM
ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá –
Área de Concentração Produção Animal.

MARINGÁ
Estado do Paraná
fevereiro – 2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S586i

Silva, Gisele Ferreira da

Interações genéticas e ambientais sobre o crescimento e os níveis de glicose no cultivo de tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) / Gisele Ferreira da Silva. -- Maringá, PR, 2023. xii, 78 f.: il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2023.

1. Piscicultura. 2. Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) - Melhoramento genético. 3. Eficiência alimentar - - Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). 4. Sistemas de cultivo. 5. Herdabilidade - Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). I. Oliveira, Carlos Antonio Lopes de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 23.ed. 639.37



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INTERAÇÕES GENÉTICAS E AMBIENTAIS
SOBRE O CRESCIMENTO E OS NÍVEIS DE
GLICOSE NO CULTIVO DE TILÁPIAS-DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)

Autora: Gisele Ferreira da Silva
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira

TITULAÇÃO: Doutora em Zootecnia – Área de Concentração Produção
Animal

APROVADA em 28 de fevereiro de 2023.

Prof. Dr. Ricardo Pereira
Ribeiro

Prof. Dr. Rodrigo de Almeida
Texeira

Profª Drª Luciana
Shiotsuki

Prof. Dr. Rafael Vilhena Reis
Neto

Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira
Orientador

“HÁ TRÊS CAMINHOS PARA O FRACASSO: NÃO ENSINAR O QUE SE SABE, NÃO PRATICAR O QUE SE ENSINA E NÃO PERGUNTAR O QUE SE IGNORA.”

SÃO BEDA

“TALVEZ NÃO TENHA CONSEGUIDO FAZER O MELHOR, MAS LUTEI PARA QUE O MELHOR FOSSE FEITO. NÃO SOU O QUE DEVERIA SER, MAS GRAÇAS A DEUS, NÃO SOU O QUE ERA ANTES.”

MARTIN LUTHER KING

DEDICO ESTE TRABALHO A DEUS E A MINHA FAMÍLIA, MEU BEM MAIOR.
A TODOS QUE DE ALGUMA FORMA CONTRIBUÍRAM PARA A REALIZAÇÃO DESTE SONHO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a minha mãezinha Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada, renovando sempre a minha fé.

Aos meus pais Carmelina (Rosa) e Pery, por todo o amor que me deram, além da educação, dos ensinamentos e do apoio em todos os momentos. A vocês devo tudo!

A minha irmã Suellen e meu cunhado Márcio, que mesmo de longe apoiaram e indiretamente contribuíram para que este trabalho se realizasse. As minhas sobrinhas Alice e Aurora, pela alegria contagiante que sempre me animavam nos momentos de dificuldade, amo vocês!

Ao meu companheiro Alan, que aceitou enfrentar este sonho comigo, caminhando ao meu lado, apoiando, acalmando e aguentando todos os meus momentos de estresse e angústia.

Ao Professor Doutor Carlos Antonio Lopes de Oliveira, pela orientação, por toda sua atenção, dedicação e esforço ao longo destes quatro anos, para que eu pudesse ter confiança na realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Ricardo Pereira Ribeiro, pela oportunidade de participar e coordenar o grupo PeixeGen, pela confiança, aprendizado e crescimento profissional alcançado.

A todos os atuais e ex-membros do Núcleo de Pesquisa PeixeGen, pelo empenho, dedicação e ajuda na realização deste trabalho.

Aos amigos conquistados, minha segunda família, Simone Siemer, Luiz Fernando, Carolina Schlotefeldt, Satia Bomfim, Karla Tsujii, Bruno Pires, Elisângela De Cesaro, Mônica Dótoli, Juan Manzano (Charlie), Nelson Tobias (Nerso) e João Paulo Malagutti, vocês sempre farão parte da minha vida!

Aos funcionários da Estação de Piscicultura Codapar, Vitão, Cleiton e Zé Geraldo, pelos ensinamentos durante as atividades, companheirismo e dedicação, assim como, aos funcionários da estação no Rio do Corvo, Teba, Mário e Sérgio.

A Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, por terem me dado a oportunidade de realizar este doutorado, bem como todos os seus funcionários que me auxiliaram de alguma forma.

Ao CNPq, pela bolsa concedida.

Meu muito obrigada!

BIOGRAFIA

Gisele Ferreira da Silva, filha de Carmelina Aparecida Palhano da Silva e Pery Ferreira da Silva, nasceu na cidade de Curitiba, Paraná em 27 de junho de 1990.

Em dezembro de 2016, concluiu o curso de bacharelado em Zootecnia, pela Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Campus Curitiba.

Em fevereiro de 2019, concluiu o mestrado na área de concentração Produção Animal e Meio-Ambiente, na linha de pesquisa Sistemas de Produção Animal, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Paraná.

Em março de 2019, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, em nível de Doutorado, na área de concentração Produção Animal.

Em fevereiro de 2023, submeteu-se à banca examinadora para defesa da Tese de Doutorado.

ÍNDICE

| | Página |
|-----------------------|--------|
| LISTA DE TABELAS..... | ix |
| LISTA DE FIGURAS..... | x |
| LISTA DE QUADROS..... | xi |
| RESUMO..... | xii |
| ABSTRACT..... | xv |

INTRODUÇÃO

| | |
|---|----|
| 1. Piscicultura Brasileira..... | 17 |
| 2. Tilápia-do-Nilo | 19 |
| 3. Sistemas de cultivo | 21 |
| 3.1. Interação genótipo x ambiente (IGE)..... | 23 |
| 4. Dimorfismo sexual | 25 |
| 4.1. Interação genótipo x sexo (IGS) | 26 |
| 4.2. Índice de dimorfismo sexual (SDI) | 27 |
| 5. Glicose em peixes..... | 28 |
| 6. Referências | 29 |
| OBJETIVOS GERAIS..... | 35 |

INTERAÇÕES GENÉTICAS E AMBIENTAIS E ESTUDO DO DIMORFISMO SEXUAL SOBRE O PESO CORPORAL DE TILÁPIAS-DO-NILO EM DOIS

SISTEMAS DE CULTIVO

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 37 |
| 2. Material e métodos | 38 |
| 2.1. Animais e características..... | 38 |
| 2.2. Estimativa da interação genótipo x ambiente | 40 |
| 2.2.1 Estatística descritiva e avaliação genética | 40 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.2.2 | Estimação de componentes de (co)variância e parâmetros genéticos | 41 |
| 2.3. | Estimação da interação genótipo x sexo e avaliação do dimorfismo sexual.... | 42 |
| 2.3.1 | Estatística descritiva e avaliação genética | 42 |
| 2.3.2 | Estimação de componentes de (co)variância e parâmetros genéticos | 43 |
| 3. | RESULTADOS | 44 |
| 3.1. | Estatística descritiva e avaliação genética..... | 44 |
| 3.2. | Componentes de (co)variância e parâmetros genéticos | 46 |
| 3.3. | Índice de dimorfismo sexual (SDI) | 51 |
| 4. | DISCUSSÃO | 52 |
| 4.1. | Estatística descritiva e avaliação genética..... | 52 |
| 4.2. | Componentes de (co)variância e parâmetros genéticos | 53 |
| 4.3. | Interação genótipo x ambiente (IGE)..... | 55 |
| 4.4. | Interação genótipo x sexo (IGS) | 56 |
| 4.5. | Índice de dimorfismo sexual (SDI) | 57 |
| 5. | Conclusão | 58 |
| 6. | Referências | 59 |
| 7. | Apêndice..... | 62 |
| AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS SÉRICOS DE GLICOSE EM TILÁPIAS-DO-NILO | | |
| MELHORADAS GENETICAMENTE EM TANQUES-REDE | | |
| 1. | Introdução..... | 65 |
| 2. | Material e métodos | 67 |
| 2.1. | Animais e características..... | 67 |
| 2.2. | Estatística descritiva e avaliação genética..... | 68 |
| 2.3. | Estimação de componentes de (co)variância e parâmetros genéticos..... | 68 |
| 3. | Resultados..... | 70 |
| 4. | Discussão..... | 72 |
| 5. | Conclusão | 73 |
| 6. | Referências | 74 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | | 77 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|--------|
| INTERAÇÕES GENÉTICAS E AMBIENTAIS E ESTUDO DO DIMORFISMO SEXUAL SOBRE O PESO CORPORAL DE TILÁPIAS-DO-NILO EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO | |
| Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de tilápias-do-Nilo cultivada em tanque-rede e viveiro escavado para avaliação da interação genótipo x ambiente (IGE) | 45 |
| Tabela 2. Estatística descritiva dos dados de tilápias-do-Nilo cultivada em tanque-rede e viveiro escavado para avaliação da interação genótipo x sexo (IGS) e do índice de dimorfismo sexual (SDI) | 46 |
| Tabela 3. Estimativas da herdabilidade, participação do ambiente comum e variâncias para peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com os dados não transformados..... | 47 |
| Tabela 4. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em tanque-rede, com efeito de sexo do animal | 48 |
| Tabela 5. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal | 49 |
| Tabela 6. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal | 49 |
| Tabela 7. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal | 50 |
| Tabela 8. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal | 50 |

| | |
|--|----|
| Tabela 9. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em viveiro escavado, com efeito de sexo do animal..... | 51 |
| Tabela 10. Estatística descritiva do índice de dimorfismo sexual das famílias em tanque-rede e viveiro escavado..... | 51 |
| Tabela 11. Estimativas da herdabilidade, participação do ambiente comum e variâncias para peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo com os dados transformados em log..... | 62 |
| Tabela 12. Valores genéticos, ranqueamentos e índices de dimorfismo sexual para as famílias avaliadas em tanques-rede e viveiro escavado..... | 62 |
| AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS SÉRICOS DE GLICOSE EM TILÁPIAS-DO-NILO MELHORADAS GENETICAMENTE EM TANQUES-REDE | |
| Tabela 1. Estatística descritiva das características avaliadas em tilápia-do-Nilo | 70 |
| Tabela 2. Efeitos que compuseram os modelos estatísticos para a avaliação genética das características estudadas | 71 |
| Tabela 3. Estimativas da herdabilidade e variâncias genética, fenotípica e residual para as características avaliadas em tilápia-do-Nilo | 71 |
| Tabela 4. Estimativas das correlações genética e fenotípica e dos componentes de (co)variâncias genética, fenotípica e residual para as características avaliadas em tilápia-do-Nilo | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| INTRODUÇÃO | |
| Figura 1. Espécies de peixes produzidas no Brasil nos anos de 2020 e 2021, em | 18 |
| Figura 2. Exemplo de sistema de cultivo de tilápia-do-Nilo em tanque-rede | 22 |
| Figura 3. Exemplo de sistema de cultivo de tilápia-do-Nilo em viveiro escavado | 23 |
| Figura 4. Esquema das papilas urogenitais de machos e fêmeas de tilápia-do-Nilo (Fonte: Adaptado de Turra <i>et al.</i> , 2010; Kubitza, 2011c) | 26 |

LISTA DE QUADROS

| | Página |
|--|--------|
| INTRODUÇÃO | |
| Quadro 1. Características do cultivo de tilápias-do-Nilo em tanque-rede e viveiro escavado (Fonte: Adaptado de Kubitza, 2011b; Rezende e Bergamin, 2013)..... | 22 |

RESUMO

Os objetivos desta tese de doutorado foram verificar os efeitos da interação genótipo x ambiente e da interação genótipo x sexo, além de avaliar o índice de dimorfismo sexual, sobre o peso corporal de tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede no estado do Paraná e em viveiro escavado no estado de Santa Catarina e avaliar o nível sérico de glicose sanguínea em famílias de tilápia-do-Nilo melhoradas geneticamente em tanques-rede para o peso final a despesca. O primeiro artigo, intitulado “Interações genéticas e ambientais e estudo do dimorfismo sexual sobre o peso corporal de tilápias-do-Nilo em dois sistemas de cultivo”, foi realizado para atender ao primeiro objetivo. A tilápia-do-Nilo está presente em todos os estados brasileiros, com maior ou menor relevância, sendo assim o vasto território do País e os diversos sistemas de cultivo podem afetar o fenótipo final de uma característica, os estudos dos efeitos das interações genótipo x ambiente (IGE), genótipo x sexo (IGS) e do índice de dimorfismo sexual (SDI) se faz necessário. Para avaliação das interações e do índice de dimorfismo sexual foram utilizados dados de 5112 animais da décima geração do programa TILAMAX. As estimativas de herdabilidade encontradas nos dois ambientes de cultivo foram distintas, sendo considerada alta em tanque-rede (0,32) e baixa em viveiro escavado (0,18). O efeito de ambiente comum estimados para os cultivos em tanque-rede e viveiro escavado foram baixos (0,11 e 0,08, respectivamente). A correlação genética entre os sistemas foi de $0,76 \pm 0,28$, com indicativo da presença de IGE ($<0,80$). As herdabilidades variaram de 0,29 a 0,44 para os pesos corporais de machos e fêmeas em tanque-rede e viveiro escavado. As correlações genéticas indicaram a presença da IGS, exceto entre o peso corporal de machos e fêmeas cultivados em tanque-rede. O SDI apresentou maior diferença entre os pesos de machos e fêmeas em viveiro escavado (1,3049) em relação ao tanque-rede

(1,2210), ou seja, os machos em viveiro foram 30% mais pesados que as fêmeas e em tanque-rede essa diferença foi de 22%. Conclui-se que houve IGE e IGS para peso corporal entre os animais cultivados em tanque-rede e aqueles criados em viveiro escavado. Porém, o ranqueamento dos valores genéticos das famílias, mostra que não há a necessidade de programas de melhoramento genético específico para cada ambiente, bastando apenas a utilização de animais das famílias com melhores desempenhos nos dois sistemas de cultivo. O SDI mostrou que o cultivo em tanque-rede proporciona menores diferenças no peso corporal de machos e fêmeas quando comparado a criação em viveiro escavado, havendo diferenças entre os índices da mesma família nos dois sistemas. No segundo artigo, “Avaliação dos níveis séricos de glicose em tilápias-do-Nilo melhoradas geneticamente em tanques-rede”, os níveis séricos de glicose em tilápias-do-Nilo podem estar associados a taxa de ganho de peso, dessa forma, os animais com maior peso final de cultivo apresentaram maior ou menor nível de glicose sanguínea, esta característica poderá ser utilizada como critério de seleção para criação de linhagens específicas em eficiência alimentar. Para isso, foram utilizados dados de peso corporal e glicose de 1197 animais da décima primeira geração do programa TILAMAX. As estimativas de herdabilidades para as características peso corporal e glicose foram consideradas de baixa magnitude, com valores de $0,29 \pm 0,07$ e $0,19 \pm 0,05$, respectivamente. A correlação genética entre elas não foi significativa ($-0,19 \pm 0,20$), este valor aponta que a seleção direta para peso corporal não poderá promover ganhos genéticos em glicose sanguínea. Conclui-se que o nível sérico de glicose sanguínea encontra-se dentro da amplitude esperada para peixes livres de estresse. Não existindo correlação genética entre o peso a despesca e o nível de glicose, não foi possível estabelecer a relação entre eles.

Palavras-chave: correlação genética, eficiência alimentar, herdabilidade, inferência bayesiana, tanque-rede, viveiro escavado

ABSTRACT

The objectives of this doctoral thesis were to verify the genotype x environment interaction and the genotype x sex interaction effects, in addition to evaluating the sexual dimorphism index, on the body weight of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in net cages in the Paraná State and in an excavated pond in Santa Catarina State and to evaluate the serum level of blood glucose in families of Nile tilapia genetically improved in net cages for the final weight at harvest. The first article, entitled “Genetic and environmental interactions and study of sexual dimorphism on body weight of Nile tilapia in two culture systems”, was carried out to meet the first objective. Nile tilapia is present in all Brazilian states, with greater or lesser extent, so the vast country territory and the different cultivation systems can affect the final phenotype of a trait, thus studies about the interaction effects of genotype x environment (IGE), genotype x sex (IGS) and the sexual dimorphism index (SDI) are necessary. To evaluate interaction and sexual dimorphism index, data from 5112 animals from the tenth generation of the TILAMAX program were used. The heritability estimates found in the two cultivation environments were different, being considered high in net cages (0.32) and low in excavated ponds (0.18). The environment effect is estimated for the net cages and excavated nursery cultures were low (0.11 and 0.08, respectively). The genetic correlation between the systems was 0.76 ± 0.28 , indicating the IGE presence (<0.80). Heritabilities ranged from 0.29 to 0.44 for body weights of males and females in net cages and excavated ponds. Genetic correlations indicated the presence of IGS, except between the body weight of males and females reared in cages. The SDI showed the greatest difference between the weights of males and females in an excavated pond (1.3049) in relation to the net cage (1.2210), that is, the males in the pond were 30% heavier than the females and in the net

cage this difference was 22%. It was concluded that there was IGE and IGS for body weight among animals reared in net cages and those reared in excavated ponds. However, the ranking of the genetic values of the families shows that there is no need for specific genetic improvement programs for each environment, just using animals from the families with the best performances in the two cultivation systems. The SDI showed that cultivation in smaller net cages provides a difference in the body weight of males and females when compared to creation in an excavated pond, with a difference between the indexes of the same family in both systems. In the second article, "Assessment of serum glucose levels in Nile tilapia genetically improved in net cages", serum glucose levels in Nile tilapia may be associated with the weight gain rate, thus animals with higher final weight of cultivation presented higher or lower blood glucose levels, this characteristic can be used as a selection support for the creation of specific strains in terms of feed efficiency. For this, body weight and glucose data from 1197 animals from the eleventh generation of the TILAMAX program were used. The heritabilities estimates for the body weight and glucose characteristics were considered of low magnitude, with values of 0.29 ± 0.07 and 0.19 ± 0.05 , respectively. The genetic correlation between them was not significant (-0.19 ± 0.20), this value indicates that direct selection for body weight cannot promote genetic gains in blood glucose. It is concluded that the serum level of blood glucose is within the expected range for stress-free fish. Since there is no genetic correlation between the weight at harvest and the glucose level, it was not possible to establish a relationship between them.

Keywords: genetic correlation, feed efficiency, heritability, bayesian inference, net cage, earthen pond

INTRODUÇÃO

1. Piscicultura Brasileira

No Brasil, o setor pesqueiro abrange a pesca extrativista e a aquicultura, em toda a sua extensão continental e marinha, regulados pela Lei nº11.959, de 29 de junho de 2009. Porém, a aquicultura tem aumentado consideravelmente em relação a pesca (Moreno, 2018). A aquicultura corresponde ao cultivo de organismos cujo ciclo de vida em condições naturais se dá total ou parcialmente em meio aquático (Lei nº 11.959), como por exemplo, peixes (piscicultura), crustáceos (carcinicultura, cultivo de camarões), moluscos, ostras e mexilhões (malacocultura), algas (algicultura) ou outros organismos, geralmente em espaços confinados/controlados seja em água doce (aquicultura continental) ou em água salgada (aquicultura marinha/maricultura) (Schulter & Vieira Filho, 2017; Moreno, 2018).

No Brasil 70% da produção aquícola nacional deve-se a piscicultura, sendo um dos setores que mais cresce, alcançando a produção de 559,0 mil toneladas de peixes em 2021, segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). A região Sul do Brasil apresentou a maior produção, com cerca de 35,4% do total, sendo o estado do Paraná sozinho responsável por 25,9% (144,8 mil toneladas) dessa produção nacional de peixes (IBGE, 2021). Já segundo o Anuário do PeixeBR (2023), a produção de peixes de cultivo em 2022 foi de 860.355 toneladas, sendo que 194.100 toneladas foram produzidas pelo estado do Paraná (22,6%), considerado o maior produtor nacional.

Em relação as espécies produzidas, a produção de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) no Brasil supera a de peixes nativos (Figura 1). Os dados apresentados pelo

IBGE (2021), demonstram que a produção de tilápias no ano de 2021 representou 64,6% do total de peixes produzidos no Brasil (361,3 mil toneladas). A região Sul se destaca nessa criação, correspondendo a 48,9% (176,7 mil toneladas) do total da espécie produzida no país. A maior produção dessa espécie é do estado do Paraná, sendo responsável por 38,5% do total de tilápia produzido no Brasil (137,6 mil toneladas) (IBGE, 2021).

Para o Anuário do PeixeBR (2023), os valores de produção para o ano de 2022 aumentam, porém os ranqueamentos, em relação as espécies, regiões e estados não se alteram. A produção de tilápia-do-Nilo foi de 550.060 toneladas, referente a 63,93% do total produzido no país. A região Sul foi responsável por 43,5% desta produção (cerca de 239.300 t), sendo o estado do Paraná o maior produtor no Brasil, com 187.800 toneladas (34% do total de tilápias produzidas no Brasil). O Brasil é o quarto maior produtor de tilápia-do-Nilo do mundo, estando atrás apenas da China, Indonésia e Egito (PeixeBR, 2023).

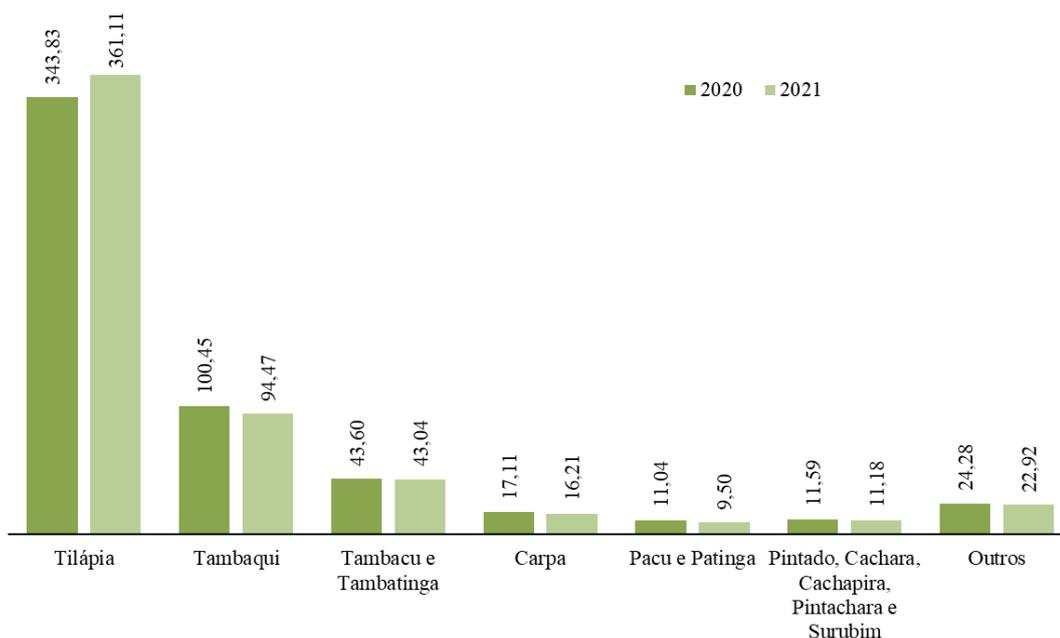


Figura 1. Espécies de peixes produzidas no Brasil nos anos de 2020 e 2021, em toneladas (Fonte: Adaptado de IBGE 2020; 2021).

2. Tilápia-do-Nilo

Como visto anteriormente, a tilápia-do-Nilo é a espécie de peixe mais produzida no país, estando presente em todos os estados brasileiros (PeixeBR, 2022). Esta espécie apresenta um intervalo entre gerações que pode variar de 6 a 12 meses, dependendo da região; são peixes onívoros, que começam a se reproduzir muito cedo, atingindo a maturidade sexual com alguns meses de vida; apresentam ótima relação custo/benefício para os consumidores; alta qualidade da carne, com sabor suave, cor branca, textura firme e baixo teor de gordura (Kubitza, 2011a). Além disso, dentre os peixes utilizados para cultivo, a tilápia se sobressai por sua tolerância ao cultivo em altas densidades e ambientes estressantes, com baixos níveis de oxigênio dissolvido na água, aliando rusticidade e alto desempenho (Figueiredo Junior & Valente Junior, 2008; SENAR, 2018).

A tilápia é um peixe originário do continente africano, tendo a primeira introdução no Brasil no ano de 1953, no estado de São Paulo pela empresa “Light” (empresa de energia), com a importação da *Tilapia rendalli* do Congo. Posteriormente, em 1971, o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), importou um número pequeno de exemplares de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) de Bouaké - Costa do Marfim, para a cidade de Pentecostes no Ceará. Essas duas importações não obtiveram sucesso, pois o baixo índice de crescimento da primeira espécie e a alta prolificidade e consanguinidade da segunda espécie, gerando anomalias genéticas, foram os principais problemas encontrados (Oliveira *et al.*, 2007).

Em 1996, houve a importação de 20.800 juvenis da espécie Chitralada, procedentes da Tailândia, para Londrina e Assis Chateaubriand - Paraná. A sua introdução junto com técnica de incubação artificial melhorou o desempenho e resolveu os problemas de baixa eficiência da técnica de reversão sexual tradicional (Massago *et al.*, 2010).

Quando se considera animais geneticamente superiores, aqueles que passaram por algum processo de melhoramento genético, a primeira linhagem de tilápia-do-Nilo melhorada chegou no Brasil em 2002, através da Piscicultura Aquabel na cidade de Rolândia - Paraná, a linhagem *GenoMar Supreme Tilapia* (GST), produzida pela empresa norueguesa Genomar, que desde 1999 desenvolveu um programa de melhoramento genético dessa linhagem e distribuiu para diversos países (Oliveira *et al.*, 2007; Massago *et al.*, 2010).

Em 2005, foi introduzida no Paraná por pesquisadores da Universidade Estadual de Maringá (UEM) em parceria com os governos estadual e federal, a linhagem GIFT (*Genetically Improved Farmed Tilapia*) de tilápia-do-Nilo, proveniente da Malásia (Oliveira *et al.*, 2012). Essa linhagem foi desenvolvida pelo ICLARM (*International Center for Living Aquatic Resources Management*), atual *WorldFish Center*, envolvendo quatro linhagens africanas selvagens de tilápias coletadas em 1988-1989 do Egito, Gana, Quênia e Senegal, e quatro linhagens domésticas asiáticas introduzidas nas Filipinas entre os anos de 1979-1984 (Israel, Singapura, Tailândia e Taiwan) (Eknath *et al.*, 1993; Bentsen *et al.*, 1998). Desta forma, a população base foi formada por animais puros e pela progênie oriunda de um cruzamento com 64 combinações dialélicas (Hiltsdorf & Orfão, 2011; Gjedrem, 2012).

Esta introdução marca o início do primeiro programa de melhoramento genético de tilápias-do-Nilo no Brasil. Este programa é desenvolvido na Estação de Piscicultura UEM-CODAPAR no distrito de Floriano em Maringá - PR e na Unidade Demonstrativa de Produção em Tanques-rede da UEM no Rio do Corvo, no município de Diamante do Norte - PR. No programa de melhoramento genético de tilápias-do-Nilo da UEM (PMGT/UEM), o objetivo da seleção, desde seu estabelecimento, aumentar a velocidade de crescimento, produzindo animais com maior peso ao final do período de cultivo; para isso, atualmente, o peso à despesca tem sido utilizado como critério de seleção. Este programa avalia e seleciona os animais em sistema de tanques-rede e atualmente está avaliando a 13ª geração de seleção.

Embora a tilápia a espécie mais produzida no Brasil e vários programas de melhoramento genético serem estabelecidos, as diferentes situações encontradas no País, quanto às condições climáticas, de solo e água, bem como aos tipos de sistemas de cultivo utilizados, podendo ser, em sua maioria, viveiro escavado ou tanque-rede, com diferentes volumes e níveis de intensificação de produção. Tais variações apresentam-se como desafio para o desenvolvimento de linhagens genéticas produtivas para as diferentes condições, visando que poderá haver a interação genótipo x ambiente, interação genótipo por sexo e o dimorfismo sexual.

3. Sistemas de cultivo

Um sistema de produção pode ser caracterizado como a relação entre componentes de entradas (insumos) e saídas (produtos), por intervenção de um método pré-definido (sistemas de produção). Dentro da piscicultura, a infraestrutura, a água e o meio ambiente, por exemplo, são fatores que quando controlados podem converter entradas (água, peixes, adubos, ração) em saídas (peixes de tamanho comercial, resíduos e água de descarte) (Lima, 2013).

Os sistemas de cultivo de peixes diferenciam-se conforme a infraestrutura, a dependência dos animais em relação a ração, a densidade de cultivo, o manejo necessário, entre outros fatores. Podendo ser categorizados quanto ao uso da água (com água parada ou estático, com renovação de água ou com recirculação de água), à intensificação da produção (extensivo, semi-intensivo ou intensivo) ou a utilização das espécies (cultivos consorciados, policultivo ou monocultivo) (Lima, 2013).

A produção comercial em água doce de tilápia-do-Nilo no Brasil é realizada em sistemas semi-intensivos e intensivos, tendo como meios produtivos mais utilizados o cultivo em viveiros escavados e a produção em tanques-rede (Sebrae, 2014; Schulter & Vieira Filho, 2017). As diferenças fundamentais entre estes dois sistemas são quanto a alta densidade de estocagem e a alta taxa de renovação de água presente em tanque-rede; e a necessidade de fitoplâncton e zooplâncton, bem como, com os cuidados que se deve ter com os parâmetros da água em viveiro escavado (Kubitza, 2011b; Schulter & Vieira Filho, 2017).

Existem vantagens e desvantagens quanto a utilização destes dois sistemas no cultivo de tilápias-do-Nilo, exemplificadas no Quadro 1. As Figuras 2 e 3 demonstram os dois sistemas de cultivo, tanque-rede e viveiro escavado, respectivamente. Estes cultivos foram os utilizados na avaliação da interação genótipo x ambiente deste trabalho.

Quadro 1. Características do cultivo de tilápias-do-Nilo em tanque-rede e viveiro escavado (Fonte: Adaptado de Kubitza, 2011b; Rezende e Bergamin, 2013).

| Cultivos/ Características | Tanque-rede | Viveiro escavado |
|--------------------------------------|---|--|
| Vantagens | Facilidade no manejo; Controle de estoque; Baixo custo de implantação; Aproveitamento de recursos aquáticos disponíveis; Alta densidade; Alta taxa de renovação de água. | Acesso ao alimento natural; Menor custo com ração; Menor custo de produção; Menor estresse (baixa densidade). |
| Desvantagens | Acesso limitado ao alimento natural; Maior custo com ração; Maior estresse (alta densidade); Maior custo de produção; Risco de fuga dos peixes. | Dificuldade no controle de estoque (reprodução); Dificuldade no manejo; Alto custo de implantação; Local de implantação adequado; Baixa densidade; Controle dos parâmetros de água; Baixa taxa de renovação de água (aerador). |



Figura 2. Exemplo de sistema de cultivo de tilápia-do-Nilo em tanque-rede (Fonte: arquivo pessoal).



Figura 3. Exemplo de sistema de cultivo de tilápia-do-Nilo em viveiro escavado (Fonte: arquivo pessoal).

3.1. Interação genótipo x ambiente (IGE)

As tilápias-do-Nilo, como os demais animais, são avaliadas pelo seu fenótipo, que são características que podem ser observadas e/ou mensuradas, como por exemplo, o peso à despesca, citado anteriormente. O fenótipo é uma consequência do genótipo sob a influência do ambiente, conforme a fórmula matemática $P = G + E$, e P é o fenótipo observado, G é o valor genotípico e E é o efeito do ambiente. Sendo assim, faz-se necessário avaliar se existe efeito significativo quando a espécie é avaliada em diferentes ambientes (Ponzoni *et al.*, 2008). A interação entre os dois fatores (genéticos e ambientais) é chamado de interação genótipo x ambiente (IGE).

Segundo Sae-Lim *et al.* (2016) nas análises genéticas quantitativas, o genótipo remete a uma categoria de animais aparentados, uma linhagem ou cepa, como por exemplos irmãos completos ou meio irmãos. Enquanto o ambiente (E), em geral, refere-se as diferenças encontradas em um único fator ambiental, denominado de macroambiente, como por exemplo, diferentes tratos alimentares, dietas, temperaturas da água ou ambientes de cultivo.

A IGE foi definida por Bowman (1972) como a alteração no desempenho de dois ou mais genótipos medidos em dois ou mais ambientes. Falconer & Mackay (1996) ressaltaram que uma característica, em ambientes diferentes, pode ser considerada como

sendo características distintas, pois os genes que a controlam em um primeiro ambiente, podem ser diferentes, pelo menos parcialmente, daqueles que a controlam em um segundo ambiente.

Segundo Agha *et al.* (2018) havendo a influência da IGE, o melhor genótipo em um ambiente pode não ser o melhor em outros ambientes, implicando na reclassificação dos genótipos entre ambientes em relação ao mérito genético, que poderia possivelmente diminuir o êxito dos programas de melhoramento.

Para o cultivo de tilápias no Brasil, os efeitos da interação genótipo x ambiente podem ser importantes, porque os programas de melhoramento genético são normalmente conduzidos em sistemas específicos e controlados, mas, os peixes geneticamente melhorados são vendidos para propriedades que podem desenvolver-se em condições distintas das utilizadas nos programas (Sae-Lim *et al.*, 2010; Khaw *et al.*, 2012). Uma vez que, alterar as variáveis ambientais nos locais de cultivo de produção para serem semelhantes ao ambiente de criação de núcleos de melhoramento pode ser caro e impraticável pelo produtor (Agha *et al.*, 2018).

No Brasil, os estudos com tilápias publicados são poucos e em fase de implantação, Santos (2009) realizou um experimento para analisar a existência de IGE para peso corporal em dois ambientes (tanques-rede e viveiros de terra sob diferentes dietas) e Oliveira *et al.* (2017) avaliaram o peso médio diário de tilápia-do-Nilo GIFT em diferentes regiões do estado do Paraná (Palotina, Florianópolis e Diamante do Norte). Em estudo mais recente, Araújo *et al.* (2020) trabalharam com tilápias melhoradas de três gerações seguidas em dois ambientes de cultivo, tanque-rede e viveiro escavado, avaliando a existência da IGE para peso a despesca, comprimento padrão e porcentagem de cabeça.

Em outros países, estudos de IGE com diferentes espécies de tilápias (*Oreochromis* spp.) já foram realizados, como por exemplo, Charo-Karisa *et al.* (2006) avaliaram o desempenho de duas linhagens de tilápia-do-Nilo em dois ambientes distintos: 1º) tanques de terra fertilizados diariamente com esterco de galinha, chamado de ambiente baixo e 2º) tanques de terra em que os peixes receberam 25% de pellets de proteínas, identificado como ambiente alto. No Malawi, país da África Ocidental, Maluwa *et al.* (2006) analisaram o peso corporal de *O. shiranus* em três diferentes pisciculturas, de acordo com a altitude (alta, média e baixa). Khaw *et al.* (2009) consideraram dois ambientes, denominados de baixo e alto, para avaliar o peso corporal a despesca de tilápia-do-Nilo. Em estudo com tilápia vermelha, Nguyen *et al.* (2017)

mensuraram o ganho genético de quatro características de crescimento e sobrevivência em dois ambientes distintos de criação (viveiro e tanque). Em estudo mais recente, Agha *et al.* (2018) avaliaram a presença da IGE para peso corporal em tilápia GIFT criadas em três países diferentes (Malásia, China e Índia).

As tilápias cultivadas em tanque-rede no PMGT/UEM, foram selecionadas e melhoradas para este sistema de cultivo específico, sendo assim a criação em viveiro escavado, em uma região com clima diferente poderia interferir no desempenho final (fenótipo) da progênie, tendo o efeito da interação genótipo x ambiente.

4. Dimorfismo sexual

A tilápia-do-Nilo apresenta dimorfismo sexual, sendo possível diferenciar machos de fêmeas de maneira secundária, ou seja, através da observação da papila urogenital (Turra *et al.*, 2010; Kubitzka, 2011c). Observando a Figura 4, nos machos a papila é mais afastada do ânus, com formato mais fino na extremidade posterior, apresentando um único orifício para excreção da urina e liberação do sêmen. Já nas fêmeas, a extremidade da papila é mais arredondada ou achatada, sendo que a papila apresenta dois orifícios distintos, a uretra (para excreção da urina) e o oviduto (para a saída dos ovos) (Turra *et al.*, 2010; Kubitzka, 2011c).

Em relação as características de desempenho e morfométricas de machos e fêmeas (peso corporal, comprimento total, altura do corpo, largura do corpo, entre outras), em geral, há diferenças no padrão de crescimento, sendo que os machos apresentam maior taxa de crescimento em relação as fêmeas, confirmando a presença do dimorfismo sexual (Yoshida *et al.*, 2015). Oliveira *et al.* (2013) apontam que após os 165 dias de idade as fêmeas de tilápia-do-Nilo apresentam crescimento mais lento, podendo ser justificado pela entrada na reprodução, em que as fêmeas redirecionam a energia utilizada no crescimento corporal para o crescimento das gônadas.

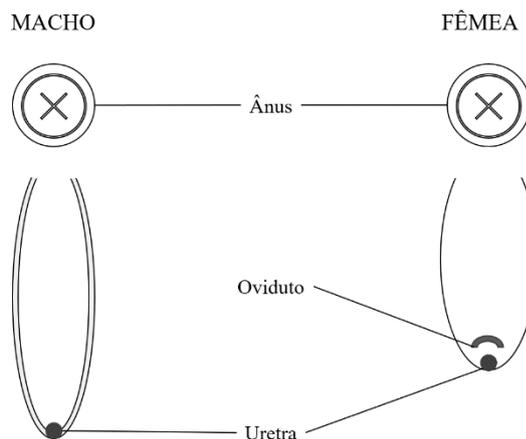


Figura 4. Esquema das papilas urogenitais de machos e fêmeas de tilápia-do-Nilo (Fonte: Adaptado de Turra *et al.*, 2010; Kubitza, 2011c).

4.1. Interação genótipo x sexo (IGS)

A interação genótipo x ambiente pode ser associada ao fator sexo do animal, gerando a interação genótipo por sexo, que pode ser avaliado o desempenho de machos em fêmeas, dentro do mesmo sistema de cultivo e entre sistemas diferentes, por exemplo. Esperando que haja diferença entre os desempenhos de machos e fêmeas, pelas peculiaridades de cada sexo, em relação a reprodução e maturação sexual.

Em todas as espécies, as diferenças fenotípicas entre os sexos estão intimamente relacionadas ao valor comercial do animal. Segundo Nguyen *et al.* (2007) se a expressão das características em ambos os sexos for determinada por muitos genes diferentes, as características expressas por machos e fêmeas precisariam ser analisadas como características diferentes. Sendo que, dependendo da situação, necessitaria de programas de melhoramento separados para ambos os sexos. Embora o padrão geral observado entre as espécies que a interação genótipo por sexo é de pouca ou nenhuma significância para características relacionadas ao crescimento, ainda há muito a ser aprendido sobre a genética das características sexualmente dimórficas, especialmente em peixes.

Em estudo com tilápia-do-Nilo, Rutten *et al.* (2005) encontraram maiores valores de herdabilidade para o peso corporal em fêmeas do que para os machos entre os períodos de medição avaliados, mas os resultados apresentaram erro padrão relativamente alto. Enquanto os mesmos autores relataram correlações genéticas entre os sexos para o peso corporal em diferentes idades muito altas e próximas da unidade, concluindo que o peso em tilápias machos e fêmeas é provavelmente controlado pelos mesmos genes.

Maluwa *et al.* (2006) em estudo com *Oreochromis shiranus*, criadas em três ambientes de cultivo distintos, relataram correlação genética entre os pesos corporais de machos e fêmeas de $0,85 \pm 0,15$, concluindo que não houve interação genótipo por sexo nesta população em estudo.

Bentsen *et al.* (2012) relatam haver efeitos da maturação sexual no desempenho de machos e fêmeas de tilápia-do-Nilo, sendo que o efeito da idade sobre o peso corporal sugere que o crescimento foi muitas vezes interrompido pela maturação e reprodução dos indivíduos mais velhos. Segundo Yoshida *et al.* (2015), em idades mais avançadas e com melhores condições de cultivo, o desempenho dos machos pode melhorar, ou seja, esses fatores devem proporcionar melhores condições para sua capacidade genética e evidenciar as diferenças no crescimento dos animais.

4.2. Índice de dimorfismo sexual (SDI)

O índice de dimorfismo sexual (SDI) para o peso corporal pode ser calculado como a razão entre o peso corporal médio do macho e o peso corporal médio da fêmea, em cada ambiente de cultivo, conforme a equação descrita abaixo por Lovich & Gibbons (1992):

$$SDI = \frac{\mu PCm}{\mu PCf}$$

em que, μPCm = média do peso dos machos e μPCf = média do peso das fêmeas. Também podendo ser calculada como a razão entre o peso médio da fêmea e o peso médio do macho, expresso em porcentagem.

O grau de SDI existente na tilápia-do-Nilo da linhagem GIFT pode variar dentro da espécie cultivada, sendo dependente de diferentes fatores relatados na literatura. Rutten *et al.* (2005) relataram que o peso corporal médio de machos e fêmeas era significativamente diferente já em idades jovens, ou seja, com a presença do dimorfismo sexual. Por volta dos 290 dias, a relação fêmea/macho para o peso corporal ficou próximo a 56%, sendo que os machos apresentavam quase o dobro do peso corporal das fêmeas, além disso, os autores observaram que as curvas de crescimento das fêmeas permaneceram lineares, mesmo após a maturidade sexual. Neste período, era esperado que a energia fosse utilizada mais para a reprodução do que para o crescimento, os autores sugeriram que as condições ambientais pudessem suspender a reprodução, sendo o motivo pelo qual as fêmeas continuaram a crescer.

A forma de cultivo em que se encontram machos e fêmeas e suas interações sociais, podendo ser de populações mistas ou cultura monossexuada, pode interferir no grau do SDI. Schreiber *et al.* (1998) observaram em uma população de *O. niloticus* em que machos e fêmeas foram criados separadamente, que o peso final e a taxa de ganho peso das fêmeas foram significativamente maiores que os resultados encontrados para os machos, sendo assim, os autores concluíram que as fêmeas são menores que os machos em populações mistas, ambiente em que são cultivados juntos, pode ser causada por elementos comportamentais e não por fatores fisiológicos. Além, da uniformidade do produto ficar especialmente comprometida quando são utilizadas populações mistas de sexo para a produção.

Lind *et al.* (2015) em estudo com tilápias de diferentes espécies e linhagens, estimaram para tilápia-do-Nilo da linhagem GIFT, um SDI de 84,7%. Os autores concluíram, que para esta espécie e linhagem específica a diferença no peso corporal de machos e fêmeas é menor em relação as demais espécies abordadas em seu estudo, sendo o peso corporal relativamente estável por um período prolongado. Atualmente, o quanto da variação dentro da mesma espécie tem relação com a maturidade sexual e as influências ambientais ou genéticas não é bem conhecida, sendo necessário mais estudos sobre o SDI em tilápias-do-Nilo (Lind *et al.*, 2015).

5. Glicose em peixes

A glicose em peixes é considerada uma substância importante que é mobilizada pelo organismo como resultado de uma variedade de condições fisiológicas, ambientais e farmacológicas, ocorrendo essas alterações glicêmicas, indicam a sensibilidade dos níveis de glicose no sangue (Polakof *et al.*, 2012).

Segundo Polakof *et al.* (2012) aumentos elevados dos níveis glicêmicos em peixes são resultados de testes de intolerâncias a glicose, alterações osmorregulatórias sazonais, presença de diferentes estressores e mudanças na composição da dieta. Além disso, há aumentos significativos após o tratamento com diferentes hormônios ou com a adição de metabólitos específicos. A diminuição do nível de glicemia pode ocorrer com a privação alimentar, hipóxia e tratamento com hormônios. Para os autores, métodos relativos a desafios ambientais, como por exemplo, o cultivo em sistemas distintos, parecem

indutores glicêmicos mais eficientes do que aqueles relacionados à homeostase interna, como por exemplo, o uso de hormônios.

O sistema de cultivo e o fato do animal estar sendo criado em cativeiro pode gerar algum estresse e interferir no bem-estar do peixe, neste sentido, alguns estudos são realizados com a finalidade de avaliar o nível de estresse diante a algum agente estressor (uso de anestésicos, eletrochoque, estressores sociais, transporte simulado, exposição ao ar, níveis de proteína, frequência alimentar, taxa de arraçoamento etc.), estes estudos utilizam como um dos parâmetros de avaliação o nível de glicose sanguínea (Deriggi *et al.*, 2006; Barreto & Volpato, 2006; Okamura *et al.*, 2007; Moreira *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012; Freitas, 2015; Cadorin, 2020), por apresentar alguma relação com o cortisol, principal hormônio do estresse.

As tilápias do PMGT/UEM apresentam maior peso final a despesca quando comparadas a animais comerciais, mas, será que pode haver alteração no nível de glicose sanguínea e este componente ser avaliado juntamente com outras características, de forma a ser utilizado como possível indicador de eficiência alimentar? Visto que a eficiência alimentar está associada à taxa de ganho de peso, porém existe dificuldade em obtê-la, por ter que avaliar individualmente o consumo alimentar dos animais em todo o período de cultivo (Nascimento, 2011).

A avaliação da eficiência alimentar é importante, visto que reconhecer os animais que melhor aproveitam os nutrientes presentes na ração e os convertem em produto (carne) teriam grande impacto sobre a lucratividade, pela economia de alimentos e maior produção de carne/unidade área (Nascimento, 2011). Se for comprovado que o nível de glicose sanguínea pode estar associado a taxa de ganho de peso, ou seja, que os animais com maior peso final de cultivo apresentam maior ou menor nível de glicose sanguínea, esta característica poderá ser utilizada como critério de seleção para criação de linhagens específicas em eficiência alimentar.

6. Referências

Agha, S.; Mekky, W.; Ibanez-Escriche, N.; Lind, C.E.; Kumar, J.; Mandal, A.; Benzie, J.A.H.; Doeschl-Wilson, A. Breeding for robustness: investigating the genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity of Genetically Improved Farmed Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Animal Genetics**, v.49, p.421-427, 2018.

- Araújo, F.C.T.; Oliveira, C.A.L.; Campos, E.C.; Yoshida, G.M.; Lewandowski, V.; Todesco, H.; Nguyen, N.H.; Ribeiro, R.P. Effects of genotype × environment interaction on the estimation of genetic parameters and gains in Nile tilapia. **Journal of Applied Genetics**, v.61, p.575-580, 2020.
- Barreto, R.E. & Volpato, G.L. Stress responses of the fish Nile tilapia subjected to electroshock and social stressors. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v.39, n.12, p.1605-1612, 2006.
- Bentsen, H.B.; Eknath, A E.; Palada-de Vera, M.S.; Danting, J.C.; Bolivar, H.L.; Reyes, R.A.; Dionisio, E.E.; Longalong, F.M.; Circa, A.V.; Tayamen, M.M.; Gjerde, B. Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v.160, p.145-173, 1998.
- Bentsen, H.B.; Gjerde, B.; Nguyen, N.H.; Rye, M.; Ponzoni, R.W.; Vera, M.S.P.; Bolivar, H.L.; Velasco, R.R.; Danting, J.C.; Dionisio, E.E.; Longalong, F.M.; Reyes, R.A.; Abella, T.A.; Tayamen, M.M.; Eknath, A.E. 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.
- Bowman, J.C. Genotype × environment interactions. **Genetics Selection Evolution**, v.4, p.117-123, 1972.
- Brasil. **Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009**. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei nº 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei nº 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências.
- Cadorin, D.I. **Efeito da frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho zootécnico, composição corporal e metabólitos plasmáticos em juvenis de tilápia-do-Nilo**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Curso de Aquicultura. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2020.
- Charo-Karisa, H.; Bovenhuis, H.; Rezk, M.A.; Ponzoni, R.W.; van Arendonk, J.A.M. and Komen, H. Genotype by environment interaction in two lines of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) divergently selected for growth in different pond environments. p.109-127. In: **Selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in low-input environments**. Chapter 7, PhD Thesis, Wageningen University. 2006.
- Deriggi, G.F.; Inoue, L.A.K.A.; Moraes, G. Stress responses to handling in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus): assessment of eugenol as an alternative anesthetic. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v.28, n.3, p.269-274, 2006.
- 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. 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.

Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**, 4th ed. Edinburgh: Longman Group Limited. 1996.

Figueiredo Junior, C.A. & Valente Junior, A.S. Cultivo de tilápia no Brasil: origens e cenário atual. **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Rio Branco – Acre, 2008.

Freitas, J.M.A. **Desempenho produtivo e respostas hematológicas da tilápia-do-Nilo submetida a diferentes níveis de proteína e condições de estresse**. 2015. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, SP, Brasil, 2015.

Gjedrem, T. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: a personal opinion review. **Aquaculture**, v.344, p.12-22, 2012.

Hilsdorf, A.W.S. & Orfão, L.H. Aspectos gerais do melhoramento genético em peixes no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, n.40, p.317-324, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2020. Rio de Janeiro, v.48, p.1-12, 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2021. Rio de Janeiro, v.49, p.1-12, 2021.

Khaw, H.L.; Bovenhuis, H.; Ponzoni, R.W.; Rezk, M.A.; Charo-Karisa, H. and Komen, H. Genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selection line reared in two input environments. **Aquaculture**, v.294, p.37-42, 2009.

Khaw, H.L.; Ponzoni, R.W.; Hamzah, A.; Abu-Bakar, K.R.; Bijma, P. Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.326, p.53-60, 2012.

Kubitza, F. Espécies, linhagens e híbridos da tilápia. In: Kubitza, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: Campus “Luiz de Queiroz” / USP, p.13-24, 2011a.

Kubitza, F. Sistemas de produção de tilápias. In: Kubitza, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: Campus “Luiz de Queiroz” / USP, p.37-58, 2011b.

Kubitza, F. Reprodução e estratégias de produção de pós-larvas de tilápia. In: Kubitza, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: Campus “Luiz de Queiroz” / USP, p.125-154, 2011c.

Lima, A.F. Sistemas de produção de peixes. In: Lima, A. F.; Rodrigues, A.A.O.; Alves, A.L.; Luiz, D.B.; Hashimoto, D.T.; Varela, E.S.; Rezende, F.S.; Matos, F.P.; Bergamin, G.T.; Moro, G.V.; Lima, L.K.F.; Lundstedt, L.M.; Torati, L.S.; Kirschnik,

- L.N.G.; Iwashita, M.K.P.; Chicrala, P.C.M.S.; Maciel, P.O.; Kirschnik, P.G.; Barroso, R.M.; Santos, V.R.V. **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos**. Brasília, DF: Embrapa, p.97-140, 2013.
- Lind, C. E.; Safari, A.; Agiakwah, S.K.; Attipoe, F.Y.K.; El-Naggar, G.O.; Hamzah, A.; Hulata, G.; Ibrahim, N.A.; Khaw, H.L.; Nguyen, N. H.; Maluwa, A.O.; Zaid, M.; Zak, T.; Ponzoni, R.W. Differences in sexual size dimorphism among farmed tilapia species and strains undergoing genetic improvement for body weight. **Aquaculture Reports**, v.1, p.20-27, 2015.
- Lovich, J. E. & Gibbons, J. W. A review of techniques for quantifying sexual size dimorphism. **Growth Development and Aging**, v.56, p.269-269, 1992.
- Maluwa, A.O.; Gjerde, B. and Ponzoni, R.W. Genetic parameters and genotype by environment interaction for body weight of *Oreochromis shiranus*. **Aquaculture**, v.259, p.47-55, 2006.
- Massago, H.; Castagnolli, N.; Malheiros, E.B.; Koberstein, T.C.R.D.; Santos, M.A.; Ribeiro, R.P. Crescimento de quatro linhagens de tilápia *Oreochromis niloticus*. **Revista Acadêmica, Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v.8, n.4, p.397-403, 2010.
- Moreira, A.G.L.; Teixeira, E.G.; Moreira, R.L.; Farias, W.R.L. Glicose plasmática em juvenis de tilápia do Nilo anestesiados com óleo de cravo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.3, p.794-804, 2011.
- Moreno, L.T. A “nova” aquicultura brasileira: mais uma frente de expansão do agrohidronegócio. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais (UEG)**, v.7, n.4, p.102-120, 2018.
- Nascimento, M.L. **Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore**. 2011. Tese (Doutorado) – Curso de Ciência Animal e Pastagens. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, Brasil, 2011.
- Nguyen, H.N.; Khaw, H.L.; Ponzoni, R.W.; Hamzah, A.; Kamaruzzaman, N. Can sexual dimorphism and body shape be altered in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by genetic means? **Aquaculture**, v.272, p.S38-S46, 2007.
- Nguyen, H.N.; Hamzah, A.; Thoa, N.P. Effects of genotype by environment interaction on genetic gain and genetic parameter estimates in red tilapia (*Oreochromis spp.*). **Frontiers in Genetics**, v.8, p.1-9, 2017.
- Okamura, D.; Araújo, F.G.; Logato, P.V.R.; Murgas, L.D.S.; Freitas, R.T.F.; Araújo, R. V. Efeito da vitamina C sobre o hematócrito e glicemia de alevinos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) em transporte simulado. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.4, p.883-888, 2007.
- Oliveira, E.G.; Santos, F.J.S.; Pereira, A.M.L.; Lima, C.B. Produção de tilápia: Mercado, espécie, biologia e recria. Embrapa – Circular Técnica, 45. Teresina: PI, 2007.

- Oliveira, C.A.L.; Ribeiro, R.P.; Streit Junior, D.; Povh, J.A.; Resende, E.K. Melhoramento genético de peixes: Uma realidade para a piscicultura brasileira. **Panorama da Aquicultura**, v.22, n.139, p.38-47, 2012.
- Oliveira, A.M.S.; Oliveira, C.A.L.; Matsubara, B.J.A.; Oliveira, S.N.; Kunita, N.M.; Yoshida, G.M.; Ribeiro, R.P. Padrões de crescimento de machos e fêmeas de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) da variedade GIFT. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.4, p.1891-1899, 2013.
- Oliveira, S.N.; Ribeiro, R.P.; Oliveira, C.A.L.; Alexandre Filho, L.; Oliveira, A.M.S.; Lopera-Barrero, N.M.; Santander, V.F.A. and Santana, R.A.C. Interactive effects of genotype x environment on the live weight of GIFT Nile tilapias. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.89, p.2931-2943, 2017.
- PeixeBR – Anuário Peixe BR da Piscicultura 2023. Disponível em: < <https://www.peixebr.com.br/anuario2023/>>. Acesso em: 12 de março de 2023.
- Polakof, S.; Panserat, S.; Soengas, J. L.; Moon, T.W. Glucose metabolism in fish: a review. **Journal of Comparative Physiology B**, v.182, n.8, p.1015-1045, 2012.
- Ponzoni, R.W.; Nguyen, N.H.; Khaw, H.L. and Ninh, N.H. Accounting for genotype by environment interaction in economic appraisal of genetic improvement programs in common carp *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, v.285, p.47-55, 2008.
- Rezende, F.P. & Bergamin, G.T. Implantação de piscicultura em viveiros escavados e tanques-rede. In: Lima, A. F.; Rodrigues, A.A.O.; Alves, A.L.; Luiz, D.B.; Hashimoto, D.T.; Varela, E.S.; Rezende, F.S.; Matos, F.P.; Bergamin, G.T.; Moro, G.V.; Lima, L.K.F.; Lundstedt, L.M.; Torati, L.S.; Kirschnik, L.N.G.; Iwashita, M.K.P.; Chicrala, P.C.M.S.; Maciel, P.O.; Kirschnik, P.G.; Barroso, R.M.; Santos, V.R.V. **Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos**. Brasília, DF: Embrapa, p.109-140, 2013.
- 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, 2005.
- Sae-Lim, P.; Komen, H.; Kause, A. Bias and precision of estimates of genotype-by-environment interaction: a simulation study. **Aquaculture**, v.310, p.66-73, 2010.
- Sae-Lim, P.; Gjerde, B.; Nielsen, H.M.; Mulder, H.; Kause, A. A review of genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity in aquaculture species. **Reviews in Aquaculture**, v.8, p.369-393, 2016.
- Santos, A.I. **Interação genótipo-ambiente e estimativas de parâmetros genéticos em tilápias**. 2009. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil, 2009.
- SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Criação de tilápia em tanques escavados. Natal: SEBRAE/RN, 2014. 32 p.

- Schreiber, S.; Focken, U.; Becker, K. Individually reared female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) can grow faster than males. **Journal of Applied Ichthyology**, v.14, n.1-2, p.43-47, 1998.
- Schulter & Vieira Filho. Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia. Texto para Discussão, No. 2328, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**. Brasília: Rio de Janeiro, 2017.
- SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, Coleção SENAR 208. Piscicultura: criação de tilápias em tanques-rede. Brasília: SENAR, 2018. 108 p.
- Silva, R.D.; Rocha, L.O.; Fortes, B.D.A.; Vieira, D.; Fioravanti, M.C.S. Parâmetros hematológicos e bioquímicos da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) sob estresse por exposição ao ar. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.32, p.99-107, 2012.
- Turra, E.M.; Oliveira, D.A.A.; Teixeira, E.A.; Luz, R.K.; Prado, S.A.; Melo, D.C.; Faria, P.M.C.; Sousa, A.B. Controle reprodutivo em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por meio de manipulações sexuais e cromossômicas. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.34, n.1, p.21-28, 2010.
- Yoshida, G.M.; Oliveira, C.A.L.; Kunita, N.M.; Rizzato, G.S.; Alexandre Filho, L.; Ribeiro, R.P. Genotype by sex interaction at different phases during Nile tilapia culture period. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.37, n.4, p.343-349, 2015.

OBJETIVOS GERAIS

Verificar os efeitos da interação genótipo x ambiente e da interação genótipo x sexo, além de avaliar o índice de dimorfismo sexual, sobre o peso corporal de tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede no estado do Paraná e em viveiro escavado no estado de Santa Catarina.

Avaliar o nível sérico de glicose sanguínea em famílias de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) melhoradas geneticamente em tanques-rede para o peso final a despesca.

INTERAÇÕES GENÉTICAS E AMBIENTAIS E ESTUDO DO DIMORFISMO SEXUAL SOBRE O PESO CORPORAL DE TILÁPIAS-DO-NILO EM DOIS SISTEMAS DE CULTIVO

Resumo: A tilápia-do-Nilo está presente em todos os estados brasileiros, com maior ou menor relevância, o vasto território do País e os diversos sistemas de cultivo podem afetar o fenótipo final de uma característica, sendo assim, os estudos dos efeitos das interações genótipo x ambiente (IGE), genótipo x sexo (IGS) e do índice de dimorfismo sexual (SDI) faz-se necessário. O presente estudo tem como objetivos verificar os efeitos da IGE e da IGS, além de avaliar o SDI, sobre o peso corporal de tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede no estado do Paraná e em viveiro escavado no estado de Santa Catarina. Para avaliação das interações e do SDI foram utilizados dados de 5112 animais da décima geração do programa TILAMAX. As estimativas de herdabilidade encontradas nos dois ambientes de cultivo foram distintas, sendo em tanque-rede de 0,32 e em viveiro escavado de 0,18. O efeito de ambiente comum estimados para os cultivos em tanque-rede e viveiro escavado foram baixos (0,11 e 0,08, respectivamente). A correlação genética entre os sistemas foi de $0,76 \pm 0,28$, com indicativo da presença de IGE ($<0,80$). As herdabilidades variaram de 0,29 a 0,44 para os pesos corporais de machos e fêmeas em tanque-rede e viveiro escavado. As correlações genéticas indicaram a presença da IGS, exceto entre o peso corporal de machos e fêmeas cultivados em tanque-rede. O SDI apresentou maior diferença entre os pesos de machos e fêmeas em viveiro escavado (1,3049) em relação ao tanque-rede (1,2210), ou seja, os machos em viveiro foram 30% mais pesados que as fêmeas e em tanque-rede essa diferença foi de 22%. Conclui-se que houve IGE e IGS para peso corporal entre os animais cultivados em tanque-rede e aqueles criados em viveiro escavado, o ranqueamento dos valores genéticos das famílias, mostra que não há a necessidade de programas de melhoramento genético específico para cada ambiente, bastando apenas a utilização de animais das famílias com melhores desempenhos nos dois sistemas de cultivo. O SDI mostrou que o cultivo em tanque-rede proporciona menores diferenças no peso corporal de machos e fêmeas quando comparado a criação em viveiro escavado, havendo diferenças entre os índices da mesma família nos dois sistemas.

Palavras-chave: correlação genética, herdabilidade, sexo, tanque-rede, viveiro escavado

1. Introdução

A piscicultura brasileira é um dos setores da aquicultura que mais cresce, alcançando a produção de 860 mil toneladas de peixes em 2022. Sendo que, 63,9% da produção total é representado pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), cerca de 550 mil toneladas. A região Sul do Brasil lidera a produção de tilápia, representando 43,5% do total, sendo o estado do Paraná o maior produtor com 188 mil toneladas de tilápias produzidas em 2022 (PeixeBR, 2023).

Segundo o Anuário PeixeBR 2022, a tilápia está presente em todos os estados brasileiros, com maior ou menor relevância, sendo assim, o vasto território do País e os diversos sistemas de cultivo podem afetar o fenótipo final de uma característica. Isto porque o fenótipo é uma consequência do genótipo sob a influência do ambiente, por isso, faz-se necessário avaliar se existe efeito significativo quando a espécie é avaliada em diferentes ambientes (Ponzoni *et al.*, 2008). A interação entre os dois fatores (genéticos e ambientais) é chamado de interação genótipo x ambiente (IGE).

Para Sae-Lim *et al.* (2016) nas análises genéticas quantitativas, o genótipo remete a uma categoria de animais aparentados, uma linhagem ou cepa, como por exemplos irmãos completos ou meio irmãos. Enquanto o ambiente, em geral, refere-se as diferenças encontradas em um único fator ambiental, denominado de macroambiente, como por exemplo, diferentes tratos alimentares, dietas, temperaturas da água ou ambientes de cultivo. A IGE foi definida por Bowman (1972) como a alteração no desempenho de dois ou mais genótipos medidos em dois ou mais ambientes. Falconer & Mackay (1996) ressaltam que uma característica, em ambientes diferentes, pode ser considerada como sendo características distintas, pois os genes que a controlam em um primeiro ambiente, podem ser diferentes, pelo menos parcialmente, daqueles que a controlam no segundo ambiente.

Outra forma de avaliar a IGE, é vinculando o fator sexo do animal, ou seja, tendo a interação genótipo x sexo, além do ambiente. Na Tilapicultura, a diferenciação entre machos e fêmeas é visivelmente verificada, tanto pelas características físicas, em que as fêmeas são menores e apresentam corpo mais baixo quando comparadas aos machos; quanto pela observação da papila urogenital, sendo que os machos apresentam a papila mais afastada do ânus, com formato mais fino na extremidade posterior, enquanto a extremidade da papila nas fêmeas é mais arredondada ou achatada. Os machos apresentam um único orifício urogenital passando tanto a urina como o sêmen; já as

fêmeas possuem dois orifícios: a uretra, para excreção da urina e, o oviduto, para a saída dos ovos (Kubitza, 2011a). Essas diferenças são chamadas de dimorfismo sexual, sendo de extrema importância para a produção de tilápias.

Segundo Nguyen *et al.* (2007) se a expressão das características em ambos os sexos for determinada por muitos genes diferentes, as características expressas por machos e fêmeas precisariam ser analisadas como características diferentes. Sendo que, dependendo da situação, necessitaria de programas de melhoramento separados para ambos os sexos. Embora o padrão geral observado entre as espécies seja que a interação genótipo x sexo é de pouca ou nenhuma significância para características relacionadas ao crescimento, ainda há muito a ser aprendido sobre a genética das características sexualmente dimórficas, especialmente em peixes (Nguyen *et al.*, 2007).

Segundo Agha *et al.* (2018) havendo a influência da IGE, o melhor genótipo em um ambiente pode não ser o melhor em outros ambientes, implicando na reclassificação dos genótipos entre ambientes em relação ao mérito genético, podendo, possivelmente diminuir o êxito dos programas de melhoramento. Quando não é adequadamente identificada, pode causar predição viesada dos valores genéticos, resultando na redução do progresso genético (Cardoso, 2009).

O presente experimento tem como objetivos verificar os efeitos das interações genótipo x ambiente e genótipo x sexo, além de estimar o índice de dimorfismo sexual, sobre o peso corporal de tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede no estado do Paraná e em viveiro escavado no estado de Santa Catarina, para avaliar a necessidade de um programa de melhoramento genético específico para cada cultivo/sexo.

2. Material e métodos

Todos os procedimentos de manejo dos animais e utilizados nas coletas dos dados obedeceram às normas éticas e foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Maringá (CEUA/UEM) na reunião de 08/10/2020, protocolo – CEUA: 2340160720.

2.1. Animais e características

A população de melhoramento considerada neste estudo consistiu em 89 famílias de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), da linhagem GIFT, obtidas do Programa de

Melhoramento Genético de Tilápias da Universidade Estadual de Maringá (TILAMAX – UEM), Paraná, Brasil. Este grupo de peixes pertence a décima geração melhorada geneticamente em tanque-rede, totalizando 5.112 animais, entre machos e fêmeas, todos devidamente identificados através de PIT Tags® (Passive Integrated TransponderI), microchips que foram implantados na cavidade celomática. Os dados de pedigree continham informações da 7^a, 8^a e 9^a gerações do programa TILAMAX/UEM.

Os acasalamentos foram realizados na proporção de 1 macho:1 fêmea para obtenção de progênie avaliada. Na reprodução, as fêmeas (matrizes) foram mantidas individualmente em hapas de acasalamentos, avaliadas quanto à condição de maturidade para a desova e acasaladas com o respectivo macho. Os ovos eram coletados da boca das fêmeas, para posterior incubação, sendo anotado a data de desova. Após a completa absorção do saco vitelínico, os alevinos eram colocados em hapas individuais (tamanho padrão de 1x1x1), por família de irmãos completos, para aguardar o momento de serem identificados e transportados para os locais de cultivo. A identificação foi feita quando os peixes estavam com média de 5g, sendo que 80 peixes de cada grupo de irmãos completos foram individualmente identificados, por meio de microchips implantáveis e foi realizada a biometria inicial.

Posteriormente, a avaliação do crescimento foi conduzida em dois sistemas de cultivo distintos com intuito de observar a possível interação genótipo x ambiente (IGE), da interação genótipo x sexo (IGS):

(a) no primeiro sistema os animais foram cultivados em quatro tanques-rede, localizados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Rosana (baixo Paranapanema) situado na região dos Municípios de Diamante de Norte – Paraná e Porto Primavera – São Paulo (coordenadas 22°36' S e 52°50' W), este sistema foi composto por 88 famílias, totalizando 3.194 animais;

(b) o segundo sistema é caracterizado por cultivo em viveiro escavado, em uma propriedade privada, localizada na cidade de Ilhota – Santa Catarina (coordenadas 26°51' S e 48°51' W), composto por 83 famílias, totalizando 1.918 animais.

Os dados biométricos foram coletados no momento da identificação dos animais, ou seja, na chipagem e ao final do período de cultivo em cada sistema. As informações coletadas foram referentes ao peso à identificação e ao peso corporal à despesca, ambos em gramas (g). A idade calculada considerou o período entre as datas de desova e de despesca, em dias.

Para a biometria final, os animais foram privados de alimento por 24h, após o jejum, foram anestesiados com eugenol (184,26 mg/L) (Vidal *et al.*, 2008) até a completa perda dos sentidos (cessação dos movimentos operculares), logo após foram lidos os números de microchips, realizado a pesagem e sexagem individual de cada animal. O peso corporal foi mensurado usando balança eletrônica (modelo 9094 – Toledo).

2.2. Estimação da interação genótipo x ambiente

Para a estimação da interação genótipo x ambiente (IGE), a característica avaliada foi o peso corporal (PC), sendo considerada como uma característica diferente em cada sistema de cultivo, ou seja, tendo o PC_{tanque} (peso corporal em tanque-rede) e o PC_{viveiro} (peso corporal em viveiro escavado). Em função, de peculiaridades dos sistemas de cultivo, no modelo estatístico foi considerado efeito de idade aninhado ao sistema de cultivo.

2.2.1 Estatística descritiva e avaliação genética

Os dados foram submetidos à consistência e análise estatística descritiva através do programa R (R Development Core Team, 2019). O total de 5.112 animais foram avaliados, sendo 3.194 peixes em tanque-rede e 1.918 peixes em viveiro escavado (Tabela 1). A matriz de parentesco continha informações genealógicas de 5.512 animais, incluindo filhos, pais e avós.

Foram utilizados diferentes modelos estatísticos para analisar a característica peso corporal. Diferentes combinações de efeitos genéticos aditivos diretos, de ambiente comum e fixos foram testados. Foi necessário considerar os efeitos comuns de irmãos completos porque as famílias foram criadas em hapas separadas até a identificação dos animais. Os efeitos fixos de local de cultivo (tanque-rede e viveiro escavado) e sexo, assim como os efeitos lineares e quadráticos da idade (IDD) e peso a chipagem (PC) foram avaliados. Os modelos de melhor ajuste foram definidos com base no critério de informação de Akaike - AIC (Akaike, 1974). As análises foram realizadas usando REMLF90 (Misztal *et al.*, 2018).

2.2.2 Estimação de componentes de (co)variância e parâmetros genéticos

Para definição do modelo estatístico de melhor ajuste foram estimados os componentes da (co)variância e os parâmetros genéticos de acordo com o modelo animal descrito a seguir:

$$y = X\beta + Z\alpha + Wc + e$$

sendo y é o vetor de observações; X , Z e W são as matrizes de incidência para efeitos fixos, efeitos genéticos aditivos e de ambiente comum, respectivamente; β é o vetor de efeitos fixos; α é o vetor de efeitos genéticos diretos; c é o vetor de efeitos de ambiente comum; e é o vetor de efeitos residuais.

Utilizando os modelos de melhor ajuste para cada sistema de cultivo, foram estimados os componentes de (co)variância e a correlação genética para característica de peso corporal em ambos os ambientes de cultivo. Para tanto utilizou-se um modelo bicaracterístico conforme descrito abaixo:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

sendo y_1 é o vetor dos valores fenotípicos de peso corporal no tanque-rede; y_2 é o vetor dos valores fenotípicos de peso corporal no viveiro escavado; X_1 X_2 , Z_1 Z_2 e W_1 W_2 são as matrizes de incidência dos efeitos considerados no modelo; β_1 e β_2 são os vetores dos efeitos fixos; α_1 e α_2 são os vetores dos efeitos genéticos aditivos diretos; c_1 e c_2 são os vetores dos efeitos de ambiente comum de família; e_1 e e_2 são os vetores dos efeitos residuais e 0 são os vetores ou matrizes de valores nulos.

As seguintes premissas foram feitas para as análises bicaracter:

$$\alpha \sim N(0, G \otimes A), c \sim N(0, C \otimes I_m), e \sim N(0, R \otimes I_n)$$

em que: \otimes é o produto de Kronecker; A é matriz de parentesco; G é a matriz de (co) variâncias genéticas; I_m é a matriz identidade, de ordem igual ao número de grupos de irmãos completos; C é a matriz de (co) variâncias do efeito de ambiente comum; I_n é a matriz identidade, de ordem n , igual ao número de animais e R é a matriz de (co) variâncias residuais. A estrutura variância-covariância pode ser escrita como:

$$V \begin{pmatrix} a \\ c \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \otimes G & 0 & 0 \\ 0 & I \otimes C & 0 \\ 0 & 0 & I \otimes R \end{pmatrix}$$

sendo A é a matriz de relação genética aditiva; G , C e R são as matrizes de (co)variâncias genéticas aditivas, variâncias de ambientais comuns e variâncias residuais, respectivamente, I é a matriz de identidade e \otimes denota o produto Kronecker.

Para a estimação dos componentes de (co)variância e valores genéticos, foi usada a abordagem Bayesiana, via algoritmo de Gibbs, pertencente aos métodos de Monte Carlo – Cadeias de Markov (MCMC). As inferências bayesianas foram realizadas usando GIBBS1F90 e POSTGIBBSF90 (Misztal *et al.*, 2018). A convergência foi avaliada usando o pacote CODA em R (Plummer *et al.*, 2006; R Development Core Team, 2019). As análises unicaracterísticas usaram uma amostra de 500.000 ciclos, com 10% de *burn-in* e intervalo de diluição de 10 ciclos. Para análises bicaracterísticas, a amostragem foi realizada usando um comprimento de cadeia de 3.000.000 ciclos, 10% de *burn-in* e um intervalo de diluição de 50 ciclos.

Os valores dos pesos corporais nos diferentes sistemas de cultivo foram transformados em log com intuito de minimizar o efeito de escala, segundo Sae-Lim *et al.* (2015) a transformação logarítmica é uma maneira de reduzir a dependência da variação em relação à média, uma vez que a variação logarítmica representa parâmetro semelhante ao coeficiente de variação.

2.3. Estimação da interação genótipo x sexo e avaliação do dimorfismo sexual

Para a avaliação do índice de dimorfismo sexual (SDI) e da interação genótipo x sexo (IGS), a característica avaliada foi o peso corporal (PC), sendo considerada como uma característica diferente em cada sistema de cultivo e cada sexo, ou seja, tendo o PC_{machoTR} (peso corporal do macho em tanque-rede), $PC_{\text{fêmeaTR}}$ (peso corporal da fêmea em tanque-rede), PC_{machoVE} (peso corporal do macho em viveiro escavado) e o $PC_{\text{fêmeaVE}}$ (peso corporal da fêmea em viveiro escavado). Com relação à idade, como os dois sistemas de cultivo não foram finalizados no mesmo momento, os animais não apresentaram a mesma idade ao final do experimento, respeitando o tempo de cultivo necessário que cada sistema precisa para que os animais atinjam o peso de abate.

2.3.1 Estatística descritiva e avaliação genética

Os dados foram submetidos à consistência e análise estatística descritiva por meio do programa R (R Development Core Team, 2019). O total de 5.090 animais foram avaliados, sendo 3.173 peixes em tanque-rede e 1.917 peixes em viveiro escavado (Tabela 2). A matriz de parentesco continha 5.490 animais, incluindo filhos, pais e avós. O número de animais foi diferente da análise para IGE, pois foram descartados os indivíduos

sem a informação de sexo, necessário para a avaliação do dimorfismo sexual e da interação genótipo x sexo.

Foram utilizados diferentes modelos estatísticos para analisar a característica peso corporal. Diferentes combinações de efeitos genéticos aditivos diretos e de ambiente comum. Era necessário considerar os efeitos comuns de irmãos completos porque as famílias eram criadas em hapas separadas até a identificação dos animais. O efeito fixo de local de cultivo (tanque-rede e viveiro escavado), assim como os efeitos lineares e quadráticos da idade (IDD) e peso a chipagem (PC). Os modelos de melhor ajuste foram definidos com base no critério de informação de Akaike – AIC (Akaike, 1974). As análises foram realizadas usando REMLF90 (Misztal *et al.*, 2018).

2.3.2 Estimação de componentes de (co)variância e parâmetros genéticos

Os componentes da (co) variância e os parâmetros genéticos foram estimados de acordo com o modelo animal descrito a seguir:

$$y = X\beta + Z\alpha + Wc + e$$

sendo y é o vetor de observações; X , Z e W são as matrizes de incidência para efeitos fixos, efeitos genéticos aditivos e de ambiente comum, respectivamente; β é o vetor de efeitos fixos; α é o vetor de efeitos genéticos diretos; c é o vetor de efeitos de ambiente comum; e é o vetor de efeitos residuais.

As análises bicaracterísticas foram usadas para avaliar a correlação genética entre as características de peso corporal em ambos os ambientes de cultivo e sexos. O seguinte modelo matricial foi utilizado:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

sendo y_1 e y_2 são os vetores dos valores fenotípicos de peso corporal, combinando o sistema de cultivo e sexo; X_1 X_2 , Z_1 Z_2 e W_1 W_2 são as matrizes de incidência dos efeitos considerados no modelo; β_1 e β_2 são os vetores dos efeitos fixos; α_1 e α_2 são os vetores dos efeitos genéticos aditivos diretos; c_1 e c_2 são os vetores dos efeitos de ambiente comum de família; e_1 e e_2 são os vetores dos efeitos residuais e 0 são os vetores ou matrizes de valores nulos.

As seguintes premissas foram feitas nas análises bivariadas:

$$\alpha \sim N(0, G \otimes A), c \sim N(0, C \otimes I_m), e \sim N(0, R \otimes I_n)$$

em que: \otimes é o produto de Kronecker; A é matriz de parentesco; G é a matriz de (co) variâncias genéticas; I_m é a matriz identidade, de ordem igual ao número de grupos de

irmãos completos; C é a matriz de (co) variâncias do efeito de ambiente comum; I_n é a matriz identidade, de ordem n , igual ao número de animais e R é a matriz de (co) variâncias residuais. A estrutura variância-covariância pode ser escrita como:

$$V \begin{pmatrix} a \\ c \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \otimes G & 0 & 0 \\ 0 & I \otimes C & 0 \\ 0 & 0 & I \otimes R \end{pmatrix}$$

Para a estimação dos componentes de (co)variância e valores genéticos foram aplicadas a máxima verossimilhança restrita através do REMLF90 (Misztal *et al.*, 2018). As análises bicaracterísticas foram usadas para avaliar a interação genótipo x sexo, através da avaliação da correlação genética, sendo que o peso corporal foi considerado como característica diferente em cada ambiente de cultivo e sexo, sendo assim, quatro características. A covariância residual foi considerada como sendo zero entre os ambientes, pois os resíduos não são correlacionados, sendo que um animal só pode ser criado apenas em um ambiente de cultivo e ter apenas um sexo (James, 2009; Sae-Lim *et al.*, 2016). O que também significa que a correlação fenotípica não pode ser estimada.

Adicionalmente, foi estimado o índice de dimorfismo sexual (SDI), utilizou-se a equação descrita por Lovich & Gibbons (1992):

$$SDI = \frac{\mu PCm}{\mu PCf}$$

em que, μPCm = média do peso dos machos e μPCf = média do peso das fêmeas. O SDI foi calculado dentro do sistema de cultivo e entre as famílias avaliadas, os SDIs das famílias foram comparados entre tanque-rede e viveiro escavado através do teste T de Student ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS

3.1. Estatística descritiva e avaliação genética

As estatísticas descritivas dos dados para tilápias-do-Nilo criadas em tanque-rede e viveiro escavado são mostradas nas Tabelas 1 e 2. O peso corporal médio (PC) dos animais criados em tanque-rede foi consideravelmente mais alto quando comparado aos peixes cultivados em viveiro, sendo que os animais de tanque-rede são mais novos, enquanto os coeficientes de variação, tanto para peso corporal quanto para a idade, foram menores para os peixes cultivados em viveiro escavado.

Em relação ao peso corporal por ambiente de cultivo aliado ao sexo do animal (Tabela 2), observa-se que os machos e as fêmeas em tanque-rede são mais pesados que

os machos e as fêmeas em viveiro escavado. Sendo que, tanto os machos em tanque-rede como em viveiro escavado, são mais pesados que as fêmeas em tanque-rede e viveiro escavado.

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de tilápias-do-Nilo cultivada em tanque-rede e viveiro escavado para avaliação da interação genótipo x ambiente (IGE).

| | Parâmetros | Tanque-rede | Viveiro escavado | Total geral |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | N-animais | 3194 | 1918 | 5112 |
| | N-fêmeas | 1442 | 897 | 2339 |
| | N-machos | 1731 | 1020 | 2751 |
| | N-famílias | 88 | 83 | 89 |
| | TMF | 36 | 23 | 57 |
| PC (g) | Média | 600,02 | 414,94 | 530,58 |
| | DP | 207,61 | 98,91 | 196,54 |
| | Mínimo | 48 | 111 | 48 |
| | Máximo | 1468 | 753 | 1468 |
| | CV (%) | 34,60 | 23,84 | 37,04 |
| IDD (dias) | Média | 243,64 | 366,37 | 289,68 |
| | DP | 17,21 | 17,86 | 61,94 |
| | Mínimo | 213 | 337 | 213 |
| | Máximo | 271 | 393 | 393 |
| | CV (%) | 7,06 | 4,87 | 21,38 |

N-animais = número de animais; N-fêmeas = número de fêmeas; N-machos = número de machos; N-famílias = número de famílias; TMF = tamanho médio de família; DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de variação; PC = peso corporal; IDD = idade.

De acordo com o ajuste com base no critério de informação de AIC (Akaike, 1974), na análise unicaracterística da interação genótipo x ambiente, o efeito da idade foi significativo para peso corporal no tanque-rede e viveiro escavado (efeito linear e quadrático). Os efeitos fixos de local de cultivo (quatro níveis em tanque-rede e um nível em viveiro escavado) e sexo (macho e fêmea) foi significativo para ambas às características. Os efeitos de ambiente comum, ou seja, aquele em que os animais da mesma família (irmãos completos) foram mantidos na mesma hapa até o momento da identificação foi significativo para o peso corporal dos animais em ambos os ambientes de cultivo.

Para a análise da interação genótipo x sexo, o efeito das covariáveis idade linear e quadrática foram significativos para todas as características avaliadas. O efeito fixo de local de cultivo foi significativo para todos os pesos analisados, já o efeito de ambiente comum não foi significativo apenas o peso corporal de machos em viveiro escavado.

Tabela 2. Estatística descritiva dos dados de tilápias-do-Nilo cultivada em tanque-rede e viveiro escavado para avaliação da interação genótipo x sexo (IGS) e do índice de dimorfismo sexual (SDI).

| | Parâmetros | Machos - TR | Fêmeas - TR | Machos - VE | Fêmeas - VE |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | N-animais | 1731 | 1442 | 1020 | 897 |
| | N-famílias | 88 | 88 | 83 | 83 |
| | TMF | 20 | 16 | 12 | 11 |
| PC (g) | Média | 653,83 | 540,95 | 465,48 | 357,30 |
| | DP | 213,46 | 177,66 | 91,17 | 72,22 |
| | Mínimo | 111 | 100 | 184 | 111 |
| | Máximo | 1468 | 1280 | 753 | 601 |
| | CV (%) | 32,65 | 32,84 | 19,59 | 20,21 |
| IDD (dias) | Média | 243,96 | 243,33 | 367,30 | 365,31 |
| | DP | 16,98 | 17,51 | 17,82 | 17,86 |
| | Mínimo | 213 | 213 | 337 | 337 |
| | Máximo | 271 | 271 | 393 | 393 |
| | CV (%) | 6,96 | 7,20 | 4,85 | 4,89 |

N-animais = número de animais; N-famílias = número de famílias; TMF = tamanho médio de família; DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de variação; PC = peso corporal; IDD = idade; TR = tanque-rede; VE = viveiro escavado.

3.2. Componentes de (co)variância e parâmetros genéticos

As estimativas dos parâmetros fenotípicos e genéticos para a característica peso corporal em cada ambiente de cultivo, estimadas usando um modelo animal bicaracterística, são mostradas na

Tabela 3 (dados não transformados). Variações fenotípicas, de ambiente comum, genéticas aditivas e residual distintas foram observadas na tilápia criada em tanque-rede (35020, 3790, 11260 e 19970, respectivamente) e em viveiro escavado (7170, 550, 1276 e 5344, respectivamente). As estimativas de herdabilidade (h^2) encontradas nos dois ambientes de cultivos foram distintas, sendo considerada alta em tanque-rede (0,32) e

baixa em viveiro escavado (0,18). O efeito de ambiente comum (c^2) estimados para os cultivos em tanque-rede e viveiro escavado foram baixos (0,11 e 0,08, respectivamente).

Tabela 3. Estimativas da herdabilidade, participação do ambiente comum e variâncias para peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com os dados não transformados.

| Características | Parâmetros | Média | EP | IC (95%) | |
|---|--------------|--------|------|----------|-------|
| PC_{tanque} | h^2 | 0,32 | 0,14 | 0,04 | 0,58 |
| | c^2 | 0,11 | 0,06 | 0,02 | 0,24 |
| | σ_a^2 | 11260 | 5267 | 1330 | 22130 |
| | σ_p^2 | 35020 | 1856 | 31870 | 39130 |
| | σ_c^2 | 3790 | 2048 | 668 | 8559 |
| | σ_e^2 | 19970 | 2712 | 14380 | 25000 |
| PC_{viveiro} | h^2 | 0,18 | 0,08 | 0,04 | 0,35 |
| | c^2 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,15 |
| | σ_a^2 | 1276 | 599 | 313 | 2635 |
| | σ_p^2 | 7170 | 323 | 6594 | 7862 |
| | σ_c^2 | 550 | 253 | 133 | 1106 |
| | σ_e^2 | 5344 | 359 | 4581 | 5985 |
| PC_{tanque} - PC_{viveiro} | cov_a | 2797 | 1470 | -20,40 | 5669 |
| | cov_c | -30,45 | 605 | -998,80 | 1316 |
| | r_g | 0,76 | 0,28 | -0,02 | 1,00 |

h^2 = herdabilidade; c^2 = efeito de ambiente comum; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; cov_c = covariância de ambiente comum; r_g = correlação genética; PC_{tanque} = peso corporal no tanque; PC_{viveiro} = peso corporal no viveiro; EP = erro-padrão; IC = intervalo de credibilidade. O intervalo de credibilidade dos 95% mais altos.

A correlação genética para peso corporal em tilápias cultivadas em tanque-rede e viveiro escavado foi de $0,76 \pm 0,28$ (

Tabela 3), com indicativo da presença de interação genótipo x ambiente (<0,80).

Observa-se na Tabela 11 no apêndice, com os dados transformados em log, em que os resultados são semelhantes aos encontrados na

Tabela 3 (dados não transformados), não havendo alteração na magnitude das herdabilidades e correlação genética, permanecendo alta, positiva e favorável, com valor inferior a 0,80, indicando a presença de IGE.

Verificou-se que as herdabilidades variaram de 0,29 a 0,44 para os pesos corporais de machos e fêmeas em tanque-rede e viveiro escavado. As correlações genéticas indicaram a presença da IGS, exceto entre o peso corporal de machos e fêmeas cultivados em tanque-rede (Tabelas 4 a 9).

Tabela 4. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em tanque-rede, com efeito de sexo do animal.

| Características | Parâmetros | Média |
|--|--------------|-------|
| PC_{machoTR} | h^2 | 0,29 |
| | σ_a^2 | 10160 |
| | σ_p^2 | 35260 |
| | σ_c^2 | 4470 |
| | σ_e^2 | 25100 |
| PC_{fêmeaTR} | h^2 | 0,38 |
| | σ_a^2 | 9186 |
| | σ_p^2 | 24456 |
| | σ_c^2 | 2698 |
| | σ_e^2 | 15270 |
| PC_{machoTR} x PC_{fêmeaTR} | cov_a | 9412 |
| | r_g | 0,97 |

h^2 = herdabilidade; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; r_g = correlação genética; PC_{machoTR} = peso corporal do macho em tanque-rede; PC_{fêmeaTR} = peso corporal da fêmea em tanque-rede.

Tabela 5. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal.

| Características | Parâmetros | Média |
|--|--------------|-------|
| PC_{machoTR} | h^2 | 0,30 |
| | σ_a^2 | 10740 |
| | σ_p^2 | 35680 |
| | σ_c^2 | 4112 |
| | σ_e^2 | 24940 |
| PC_{machoVE} | h^2 | 0,38 |
| | σ_a^2 | 3201 |
| | σ_p^2 | 8519 |
| | σ_e^2 | 5318 |
| PC_{machoTR} X PC_{machoVE} | cov_a | 2740 |
| | r_g | 0,47 |

h^2 = herdabilidade; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; r_g = correlação genética; PC_{machoTR} = peso corporal do macho em tanque-rede; PC_{machoVE} = peso corporal do macho em viveiro escavado.

Tabela 6. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal.

| Características | Parâmetros | Média |
|--|--------------|-------|
| PC_{machoTR} | h^2 | 0,24 |
| | σ_a^2 | 8284 |
| | σ_p^2 | 34444 |
| | σ_c^2 | 5089 |
| | σ_e^2 | 26160 |
| PC_{fêmeaVE} | h^2 | 0,33 |
| | σ_a^2 | 1732 |
| | σ_p^2 | 5209 |
| | σ_c^2 | 1,890 |
| | σ_e^2 | 3477 |
| PC_{machoTR} X PC_{fêmeaVE} | cov_a | 1920 |
| | r_g | 0,51 |

h^2 = herdabilidade; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; r_g = correlação genética; PC_{machoTR} = peso corporal do macho em tanque-rede; PC_{fêmeaVE} = peso corporal da fêmea em viveiro escavado.

Tabela 7. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal.

| Características | Parâmetros | Média |
|--|--------------|-------|
| PC_{fêmeaTR} | h^2 | 0,44 |
| | σ_a^2 | 11430 |
| | σ_p^2 | 25710 |
| | σ_c^2 | 1435 |
| | σ_e^2 | 14280 |
| PC_{machoVE} | h^2 | 0,38 |
| | σ_a^2 | 3231 |
| | σ_p^2 | 8536 |
| | σ_e^2 | 5305 |
| PC_{fêmeaTR} x PC_{machoVE} | cov_a | 2968 |
| | r_g | 0,49 |

h^2 = herdabilidade; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; r_g = correlação genética; PC_{fêmeaTR} = peso corporal da fêmea em tanque-rede; PC_{machoVE} = peso corporal do macho em viveiro escavado.

Tabela 8. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo, com efeito de sexo do animal.

| Características | Parâmetros | Média |
|--|--------------|-------|
| PC_{fêmeaTR} | h^2 | 0,41 |
| | σ_a^2 | 10180 |
| | σ_p^2 | 25080 |
| | σ_c^2 | 1861 |
| | σ_e^2 | 14900 |
| PC_{fêmeaVE} | h^2 | 0,33 |
| | σ_a^2 | 1720 |
| | σ_p^2 | 5206 |
| | σ_c^2 | 4,344 |
| | σ_e^2 | 3486 |
| PC_{fêmeaTR} x PC_{fêmeaVE} | cov_a | 1904 |
| | r_g | 0,46 |

h^2 = herdabilidade; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; r_g = correlação genética; PC_{fêmeaTR} = peso corporal da fêmea em tanque-rede; PC_{fêmeaVE} = peso corporal da fêmea em viveiro escavado.

Tabela 9. Parâmetros genéticos para o peso corporal de tilápias-do-Nilo em viveiro escavado, com efeito de sexo do animal.

| Características | Parâmetros | Média |
|--|--------------|-------|
| PC_{machoVE} | h^2 | 0,39 |
| | σ_a^2 | 3344 |
| | σ_p^2 | 8569 |
| | σ_e^2 | 5225 |
| PC_{fêmeaVE} | h^2 | 0,35 |
| | σ_a^2 | 1829 |
| | σ_p^2 | 5246 |
| | σ_c^2 | 3,908 |
| | σ_e^2 | 3417 |
| PC_{machoVE} x PC_{fêmeaVE} | cov_a | 1216 |
| | r_g | 0,49 |

h^2 = herdabilidade; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; r_g = correlação genética; PC_{machoVE} = peso corporal do macho em viveiro escavado; PC_{fêmeaVE} = peso corporal da fêmea em viveiro escavado.

3.3. Índice de dimorfismo sexual (SDI)

O índice de dimorfismo sexual (SDI) apresentou maior diferença entre os pesos de machos e fêmeas em viveiro escavado (1,3049) em relação ao tanque-rede (1,2210), ou seja, os machos em viveiro foram 30% mais pesados que as fêmeas e em tanque-rede essa diferença foi de 22%.

Quando se compara o SDI entre as famílias (Tabela 12, em apêndice) através do teste T de Student, encontra-se o valor de $p = 0,000503$, valor este menor que 0,05, existindo diferença entre o SDI na mesma família em cultivos diferentes (tanque-rede e viveiro escavado). A Tabela 10 apresenta a estatística descritiva para o SDI entre as famílias em tanque-rede e viveiro escavado, reforçando que há maior diferença entre os pesos em viveiro escavado.

Tabela 10. Estatística descritiva do índice de dimorfismo sexual das famílias em tanque-rede e viveiro escavado.

| Características | Média | DP | Mínimo | Máximo |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| SDI-TR | 1,2210 | 0,1151 | 0,9110 | 1,6688 |
| SDI-VE | 1,3049 | 0,1539 | 0,9635 | 1,6832 |

DP = desvio padrão; SDI-TR = índice de dimorfismo sexual em tanque-rede; SDI-VE = índice de dimorfismo sexual em viveiro escavado.

4. DISCUSSÃO

4.1. Estatística descritiva e avaliação genética

O peso vivo médio dos peixes no cultivo em tanque-rede foi 44,6% maior do que no ambiente de viveiro escavado, sendo que as idades finais dos animais nos dois ambientes de cultivo foram distintas (Tabela 1), com aproximadamente 4 meses de diferença. Isto ocorreu, porque o tempo de cultivo nos dois sistemas foram diferentes, enquanto em tanque-rede os animais permaneceram por cerca de 5 meses, em viveiro escavado os peixes ficaram por aproximadamente 7 meses, visto que o tempo para atingir o peso comercial é maior no cultivo em viveiro (Araújo *et al.*, 2020).

Considerando os locais em que os sistemas estavam implantados e o período dos cultivos (meses do ano), além do fato que as tilápias são animais tropicais com conforto térmico entre 26-30°C, segundo Kubitzka (2011b) temperaturas acima ou abaixo desta faixa podem afetar o crescimento, a conversão alimentar, a reprodução, a saúde e a tolerância ao manejo. As temperaturas na cidade de Ilhota/SC no período de abril a novembro de 2019, variaram de 18,54°C a 19,33°C em viveiro escavado, enquanto as temperaturas em Diamante do Norte/PR variam de 23,16°C a 24,40°C de fevereiro a julho de 2019 em tanque-rede (INMET, 2020).

O consumo de alimento e o crescimento destes animais podem ser reduzidos em temperaturas abaixo de 25°C, sendo que abaixo de 20°C comem muito pouco e ficam mais susceptíveis a doenças (Kubitzka, 2011b). Sendo assim, os animais criados em viveiro escavado, na cidade de Ilhota/SC, podem ter sido prejudicados por serem cultivados em um período em que a temperatura se manteve abaixo dos 20°C, mesmo permanecendo por mais tempo em cultivo, além de estarem em ambiente mais restritivo, que impõe menor desempenho. Considerando estes aspectos, o cultivo em viveiro escavado, neste trabalho, foi considerado como situação de desafio para os animais do programa TILAMAX/UEM.

O número de animais utilizados por família em cada cultivo de 36 e 23 peixes/família em tanque-rede e viveiro escavado (Tabela 1), respectivamente, atende ao proposto por Sae-Lim *et al.* (2016), de 10 peixes/família em características de herdabilidade moderada, para correta estimação da interação genótipo x ambiente.

O coeficiente de variação (CV) do peso no tanque-rede foi maior do que o CV do peso em viveiro (Tabela 1), o mesmo ocorreu quando analisado o PC para os dois sexos em tanque-rede em relação ao viveiro (Tabela 2). Apesar dessa diferença ser considerada

pequena, segundo Khaw *et al.* (2012) o que pode ter ocorrido em ambiente de tanque-rede é a maior competição, isso seria possível, pois a densidade de estocagem é maior no tanque-rede em comparação ao viveiro escavado, que apresentou baixo CV, sugerindo menos competição e bom ambiente social dentro da população. Para James (2009), a competição é um aspecto ambiental importante que leva à IGE.

4.2. Componentes de (co)variância e parâmetros genéticos

A herdabilidade para o peso corporal apresentou magnitudes diferentes, sendo considerada baixa em viveiro escavado e moderada em tanque-rede, tanto nos dados não transformados ou na escala real (

Tabela 3) quanto nos transformados (Tabela 11, em apêndice), mostrando que mesmo após a transformação em log dos dados, as estimativas de herdabilidade permaneceram semelhantes.

Estudos anteriores relacionados a *interação genótipo x ambiente* (IGE), com a tilápia-do-Nilo da linhagem GIFT, proveniente do Programa de Melhoramento de Tilápia da Universidade Estadual de Maringá, foram realizados. Santos (2009) trabalhou com a GIFT, recém-introduzida no Brasil, em dois ambientes de cultivo (tanque-rede e viveiro escavado) e utilizando duas dietas com níveis distintos de proteína bruta (28% e 32%), os valores de herdabilidade encontrados pelo autor foram semelhantes aos relatados neste estudo, de 0,46 e 0,14 em tanque-rede e viveiro escavado, respectivamente.

Oliveira *et al.* (2017) utilizando animais da 5ª geração da GIFT, encontraram herdabilidades de 0,71, 0,72 e 0,67 em cultivos nas cidades de Palotina, Floriano e Diamante do Norte, respectivamente. Sendo que, em cada cidade os animais foram cultivados em sistemas distintos, sendo em hapas dentro de viveiros em Floriano, em tanques-rede na cidade de Diamante do Norte e em viveiro escavado em Palotina.

Em estudo mais recente, com animais das 6ª, 7ª e 8ª gerações da GIFT-TILAMAX, Araújo *et al.* (2020) encontraram valores semelhantes de herdabilidade em tanque-rede (0,33), porém, superior em viveiro escavado de 0,52.

Em outro estudo com tilápia, Khaw *et al.* (2012) encontraram valores de herdabilidade de 0,40 em viveiro e 0,34 em tanque-rede, sendo consideradas pelos autores como alta e moderada, este estudo foi realizado com animais da linhagem GIFT na Malásia, e as condições de cultivos podem ser diferentes do Brasil, pelas condições ambientais. Bentsen *et al.* (2012) encontraram maiores valores de herdabilidade em

ambiente de tanque-rede (0,47) em relação ao cultivo em viveiro (0,27), os autores sugerem que a seleção em um programa de melhoramento genético resultará em ganho genético para o peso corporal na população de tilápia em estudo.

Em relação as variâncias genéticas aditivas, fenotípicas, de ambiente comum e residuais houve diferenças maiores que 8,8 vezes (11260 e 1276), 4,9 vezes (35020 e 7170), 6,9 (3790 e 550) e 3,7 vezes (19970 e 5354), respectivamente, dando indícios de variâncias heterogêneas. Segundo Araújo *et al.* (2020), a heterogeneidade das variâncias, podem estar relacionadas com as diferenças entre os pesos médios nos dois sistemas de cultivo. Quando observado o intervalo de credibilidade (IC) de 95% para os parâmetros analisados, nas variâncias genéticas aditivas e herdabilidades, os valores se sobrepõem, estando as herdabilidades do PC_{tanque} e do PC_{viveiro} incluídas dentro destes IC; o mesmo não acontece com as variâncias fenotípicas e residuais, sendo estes valores heterogêneos.

A proporção das estimativas do efeito de ambiente comum (c^2) foram de 0,11 em tanque-rede e 0,08 em viveiro. Segundo Sae-Lim *et al.* (2015) indicando que a menor parte da variação fenotípica foi por hapas separadas de cada família de irmãos completos, antes do cultivo comum e a efeitos genéticos não aditivos. Além disso, estão de acordo com os dados da literatura (0,03 – 0,26 para peixes em viveiro e 0,03 – 0,18 para peixes em tanque-rede) (Santos, 2009; Khaw *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2017; Araújo *et al.*, 2020).

Para explorar a variação genética no *dimorfismo sexual*, as expressões das características nos dois sexos foram tratadas como se fossem características diferentes. Houve considerável variação genética nas características observadas, ou seja, as herdabilidades foram semelhantes e de alta magnitude, indicando que os peixes continuariam respondendo à seleção nas gerações futuras (Nguyen *et al.*, 2007). A similaridade nas estimativas de herdabilidade indicam que as expressões dos pesos corporais entre os cultivos e sexos responderão à seleção da mesma maneira. Quando há a falta de similaridade aparente entre as estimativas dos parâmetros genéticos, segundo Lee & Pollak (1997) pode estar relacionada com a diferença na seleção entre machos e fêmeas, em relação à precisão e intensidade de seleção, o que não é consistente com os achados no presente estudo.

Estimativas de herdabilidade em idades de 100 a 326 dias, encontradas por Rutten *et al.* (2005) para machos e fêmeas de tilápia-do-Nilo variaram de 0,12 a 0,26 e 0,08 a 0,60, respectivamente, sendo as altas herdabilidades relatadas em maior idade. O que corrobora com o relatado em neste estudo, em que as fêmeas apresentam valores de

herdabilidade relativamente maiores que os machos em idade superior a 240 dias, em tanque-rede. Assim como, Nguyen *et al.* (2007) que encontraram para o peso corporal em machos em fêmeas valores de herdabilidades semelhantes, sendo de 0,33 para machos e 0,36 para fêmeas. Maluwa *et al.* (2006) em estudo com *O. shiranus*, relataram herdabilidades de $0,40 \pm 0,13$ para machos e de $0,27 \pm 0,08$ para fêmeas, diferindo deste estudo, quando avaliados os animais em tanque-rede, sendo as herdabilidades para fêmeas superiores em relação aos machos.

Os resultados encontrados por Bentsen *et al.* (2012) com tilápia-do-Nilo, nos quais os machos foram mais pesados em relação as fêmeas, com valores de herdabilidade semelhantes em todos os ambientes de cultivo estudados pelos autores, porém as herdabilidades em viveiro escavado foram menores em relação ao tanque-rede, corroborando com o observado neste estudo. Os autores sugeriram que o efeito da idade sobre o peso corporal afetou o crescimento, que foi interrompido pela maturação sexual e reprodução dos indivíduos mais velhos, ainda mais em viveiro escavado.

Ao observar tanto na estimação da IGE quanto na IGS o efeito de ambiente comum foi avaliado, não sendo significativo apenas para o PC_{machoVE} . Segundo Nguyen *et al.* (2007) se este efeito não for avaliado nos modelos estatísticos, os valores genéticos estimados poderiam ser enviesados para cima, conseqüentemente reduzindo a precisão de seleção. No entanto, em neste estudo, a proporção de variância pelo efeito de ambiente comum para o PC_{tanque} e PC_{viveiro} foram baixas, representando 10,82% e 7,67% da variância total, respectivamente (Tabela 3). Para Rutten *et al.* (2005), a razão entre a variância de ambiente comum e a variância fenotípica diminui com o tempo, interferindo mais no início de vida dos peixes, sendo necessário corrigir este efeito.

4.3. Interação genótipo x ambiente (IGE)

A correlação genética entre os pesos corporais nos dois sistemas de cultivo foi alta e positiva, porém inferior a 0,80 sugerindo efeito significativo moderado de interação genótipo x ambiente (Robertson, 1959). A transformação logarítmica dos dados de peso foi realizada para reduzir o impacto da diferença de escala entre os dois locais de cultivo para PC (Tabela 11); no entanto, a correlação permaneceu abaixo de 0,80. Sendo assim, a expressão do peso corporal pode ser considerada como uma característica diferente em tanque-rede e viveiro escavado, sendo necessário uma avaliação mais detalhada quando situação semelhante ocorrer em programa de melhoramento genético comercial.

Apesar do efeito da IGE ser significativo, ou seja, demonstrar a possível necessidade de haver um programa de melhoramento genético para cada sistema de cultivo, os intervalos de credibilidade das variâncias genéticas aditivas e das herdabilidades se sobrepõem, sendo homogêneas, não ocorrendo com as variâncias fenotípicas e residuais, que se apresentam como variâncias heterogêneas. Outro ponto a ser destacado, encontra-se na Tabela 12, presente no apêndice, que no ranking dos valores genéticos para o peso corporal, das 20 primeiras colocações, nove famílias avaliadas estão presentes nos dois sistemas de cultivo, sendo a primeira colocada em viveiro na terceira posição em tanque-rede e a primeira colocada em tanque-rede na sexta colocação em viveiro, indicando a não necessidade de programas de melhoramento genético distintos, apenas o uso de famílias melhores adaptadas aos dois sistemas de cultivo.

Indicações da interação genótipo x ambiente em tilápias-do-Nilo também foram encontradas por Khaw *et al.* (2012), Oliveira *et al.* (2017), Agha *et al.* (2018) e Araújo *et al.* (2020), em conformidade com os resultados do presente estudo. Para Khaw *et al.* (2012), o grau de IGE em grupos de peixes pode variar entre estudos pelas diferenças nos ambientes de teste e dos projetos experimentais.

Bentsen *et al.* (2012) testaram diferentes ambientes de cultivo, como viveiro escavado, tanque-rede e o cultivo de arroz com peixes, na criação de tilápia-do-Nilo. O ambiente também teve variações dentro de cada sistema, os autores relataram correlações genéticas de moderadas a baixas em ambiente intensivo de tanque-rede, sugerindo que uma IGE significativa ocorreu para a característica peso corporal em comparação com os outros ambientes de teste, provavelmente envolvendo genes que afetam a idade na maturação sexual e reprodução.

4.4. Interação genótipo x sexo (IGS)

A interação genótipo x sexo existiu entre as características em que a correlação genética foi inferior a 0,80 (Robertson, 1959). Neste caso, somente entre o $PC_{machoTR}$ e $PC_{fêmeaTR}$ não houve a IGS (Tabela 4), ou seja, a expressão da característica peso corporal em tilápias-do-Nilo machos e fêmeas, criadas em tanque-rede, pode ser tratada como a mesma característica em programa de melhoramento genético. Segundo Nguyen *et al.* (2007) esta correlação próxima da unidade determina a restrição à seleção para o dimorfismo sexual, não havendo a necessidade de tratar os sexos como distintos em programas de melhoramento genético. Maluwa *et al.* (2006) em estudo com *O. shiranus*,

cultivadas em três ambientes distintos, relataram correlação genética entre os pesos corporais de machos e fêmeas de $0,85 \pm 0,15$, concluindo que não houve interação genótipo x sexo nesta população.

Já para as demais combinações entre os pesos corporais de machos e fêmeas em ambos os sistemas de cultivo as correlações genéticas foram inferiores a 0,80, indicando que houve interação genótipo x sexo. Isso significa que a característica em machos e fêmeas de tilápias não é provavelmente controlada pelos mesmos genes, sendo favorável a diminuição da diferença entre o peso corporal destes animais por seleção (Rutten *et al.*, 2005).

Bentsen *et al.* (2012) relataram a presença moderada de IGS em viveiro escavado, o que não ocorreu em sistema de tanque-rede. Essa menor correlação genética entre os pesos de machos e fêmeas encontrada em viveiro é sugerida pelos autores como diferenças dos efeitos da maturação sexual no crescimento de ambos os sexos. Para Yoshida *et al.* (2015), em idades mais avançadas e com melhores condições de cultivo (densidade adequada, melhor qualidade da água, menor variação da temperatura) podem melhorar o desempenho dos machos, ou seja, esses fatores devem proporcionar as melhores condições para sua capacidade genética e evidenciar as diferenças no crescimento dos animais.

4.5. Índice de dimorfismo sexual (SDI)

O índice de dimorfismo sexual para o peso corporal foi calculado como a razão entre o peso médio do macho e o peso médio da fêmea, em cada ambiente de cultivo. A maior diferença média encontrada está em relação aos pesos de machos e fêmeas em viveiro escavado (SDI = 1,3049, Tabela 10).

O grau de SDI existente na tilápia-do-Nilo da linhagem GIFT pode variar, sendo dependente de diferentes fatores relatados na literatura. Rutten *et al.* (2005) mostraram que em idades mais avançadas, a cerca de 290 dias, a relação fêmea/macho para o peso corporal ficou próximo a 56%, além disso, os autores observaram que as curvas de crescimento das fêmeas permaneceram lineares, mesmo após a maturidade sexual. Neste período era esperado que a energia fosse utilizada mais para a reprodução do que para o crescimento, os autores sugeriram que as condições ambientais pudessem suspender a reprodução, sendo o motivo pelo qual as fêmeas continuaram a crescer. Atualmente, o quanto da variação dentro da mesma espécie tem relação com a maturidade sexual e as

influências ambientais ou genéticas não é bem conhecida, sendo necessário mais estudos sobre o SDI em tilápias-do-Nilo (Lind *et al.*, 2015).

Outro fator que pode interferir no grau do SDI é a forma de cultivo em que se encontram machos e fêmeas, podendo ser de populações mistas ou cultura monosssexuada. Schreiber *et al.* (1998) observaram em uma população de *O. niloticus* que machos e fêmeas foram criados separadamente, que as fêmeas cresceram significativamente mais do que os machos ($P < 0,05$), sendo assim, os autores concluíram que as fêmeas apresentarem pesos menores que os machos em populações mistas, ambiente em que são cultivados, pode ser causado por elementos comportamentais e não por fatores fisiológicos.

Lind *et al.* (2015) em estudo com tilápias de diferentes espécies e linhagens, estimaram para tilápia-do-Nilo da linhagem GIFT, um SDI de 84,7%. Os autores concluíram, que para esta espécie e linhagem específica a diferença no peso corporal de machos e fêmeas é menor em relação as demais espécies abordadas em seu estudo, sendo o peso corporal relativamente estável por um período prolongado.

São necessários estudos mais aprofundados para determinar os fatores que afetam, analisando os sistemas de cultivo e suas diferenças que contribuem ou não para as mudanças na sua magnitude, além de fornecer indicadores para criação de estratégias de manejo que ajudem a minimizar as grandes diferenças entre os pesos de machos e fêmeas. Os estudos devem abordar as diferenças no SDI entre famílias dentro do programa, com vistas a possível utilização destas diferenças como critério de seleção.

5. Conclusão

Conclui-se que houve interação genótipo x ambiente e interação genótipo x sexo para peso corporal entre os animais cultivados em tanque-rede e aqueles criados em viveiro escavado. Porém, o ranqueamento dos valores genéticos das famílias, mostra que não há a necessidade de programas de melhoramento genético específico para cada ambiente, bastando apenas a utilização de animais das famílias com melhores desempenhos nos dois sistemas de cultivo. O índice de dimorfismo sexual mostrou que o cultivo em tanque-rede proporciona menores diferenças no peso corporal de machos e fêmeas quando comparada a criação em viveiro escavado, havendo diferenças entre os índices da mesma família nos dois sistemas.

6. Referências

- Agha, S.; Mekky, W.; Ibanez-Escriche, N.; Lind, C.E.; Kumar, J.; Mandal, A.; Benzie, J.A.H.; Doeschl-Wilson, A. Breeding for robustness: investigating the genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity of Genetically Improved Farmed Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Genetics*, v.49, p.421-427, 2018.
- Akaike, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, v.19, p.716-723, 1974.
- Araújo, F.C.T.; Oliveira, C.A.L.; Campos, E.C.; Yoshida, G.M.; Lewandowski, V.; Todesco, H.; Nguyen, N.H.; Ribeiro, R.P. Effects of genotype × environment interaction on the estimation of genetic parameters and gains in Nile tilapia. *Journal of Applied Genetics*, v.61, p.575-580, 2020.
- Bentsen, H.B.; Gjerde, B.; Nguyen, N.H.; Rye, M.; Ponzoni, R.W.; Vera, M.S.P.; Bolivar, H.L.; Velasco, R.R.; Danting, J.C.; Dionisio, E.E.; Longalong, F.M.; Reyes, R.A.; Abella, T.A.; Tayamen, M.M.; Eknath, A.E. 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.
- Bowman, J.C. Genotype × environment interactions. *Genetics Selection Evolution*, v.4, p.117-123, 1972.
- Cardoso, L.L. Modelos de normas de reação para estudo da interação genótipo x ambiente. 2009. Dissertação (Mestrado) – Curso de Zootecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 2009.
- Falconer, D.S. & Mackay, T.F.C. Introduction to quantitative genetics, 4th ed. Edinburgh: Longman Group Limited. 1996.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Históricos Anuais. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 20 de outubro de 2020.
- James, J.W. Genotype by environment interaction in farm animals. In: van der Werf, J.; Graser, H.U.; Frankham, R.; Gondro, C. *Adaptation and Fitness in Animal Population: Evolutionary and Breeding Perspectives on Genetic Resource Management*. Springer, The Netherlands. 2009.
- Khaw, H.L.; Ponzoni, R.W.; Hamzah, A.; Abu-Bakar, K.R.; Bijma, P. Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v.326, p.53-60, 2012.
- Kubitza, F. Reprodução e estratégias de produção de pós-larvas de tilápia. In: Kubitza, F. *Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial*. Jundiaí: Campus “Luiz de Queiroz” / USP, p.125-154, 2011a.

- Kubitza, F. Qualidade da água na produção de tilápias. In: Kubitza, F. Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial. Jundiaí: Campus “Luiz de Queiroz” / USP, p.25-36, 2011b.
- Lee, C. & Pollak, J. Influence of partitioning data by sex on genetic variance and covariance components for weaning weight in beef cattle. *Journal Animal Science*, v.75, p.61-67, 1997.
- Lind, C. E.; Safari, A.; Agiakwah, S.K.; Attipoe, F.Y.K.; El-Naggar, G.O.; Hamzah, A.; Hulata, G.; Ibrahim, N.A.; Khaw, H.L.; Nguyen, N. H.; Maluwa, A.O.; Zaid, M.; Zak, T.; Ponzoni, R.W. Differences in sexual size dimorphism among farmed tilapia species and strains undergoing genetic improvement for body weight. *Aquaculture Reports*, v.1, p.20-27, 2015.
- Lovich, J. E. & Gibbons, J. W. A review of techniques for quantifying sexual size dimorphism. *Growth Development and Aging*, v.56, p.269-269, 1992.
- Maluwa, A.O.; Gjerde, B. and Ponzoni, R.W. Genetic parameters and genotype by environment interaction for body weight of *Oreochromis shiranus*. *Aquaculture*, v.259, p.47-55, 2006.
- Misztal, I.; Tsuruta, S.; Lourenco, D.; Masuda, Y.; Aguilar, I.; Legarra, A.; Vitezica, Z. Manual for BLUPF90 family of programs. University of Georgia, Athens, GA, USA, 2018.
- Nguyen, H.N.; Khaw, H.L.; Ponzoni, R.W.; Hamzah, A.; Kamaruzzaman, N. Can sexual dimorphism and body shape be altered in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by genetic means? *Aquaculture*, v.272, p.S38-S46, 2007.
- Oliveira, S.N.; Ribeiro, R.P.; Oliveira, C.A.L.; Alexandre Filho, L.; Oliveira, A.M.S.; Lopera-Barrero, N.M.; Santander, V.F.A. and Santana, R.A.C. Interactive effects of genotype x environment on the live weight of GIFT Nile tilapias. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.89, p.2931-2943, 2017.
- PeixeBR – Anuário Peixe BR da Piscicultura 2022. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>>. Acesso em: 27 de março de 2022.
- PeixeBR – Anuário Peixe BR da Piscicultura 2023. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario2023/>>. Acesso em: 12 de março de 2023.
- Plummer, M.; Best, N.; Cowles, K. and Vines, K. CODA: convergence diagnosis and output analysis for MCMC. *R News*, v.6, n.1, p.7–11, 2006.
- Ponzoni, R.W.; Nguyen, N.H.; Khaw, H.L. and Ninh, N.H. Accounting for genotype by environment interaction in economic appraisal of genetic improvement programs in common carp *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, v.285, p.47-55, 2008.
- Robertson, A. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics*, v.15, n.3, p.469–485, 1959.

- R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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, 2005.
- Sae-Lim, P.; Kause, A.; Janhunen, M.; Vehviläinen, H.; Koskinen, H.; Gjerde, B.; Lillehammer, M.; Mulder, H.A. Genetic (co) variance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) body weight and its uniformity across production environments. *Genetics Selection Evolution*, v.47, n.1, p.1-10, 2015.
- Sae-Lim, P.; Gjerde, B.; Nielsen, H.M.; Mulder, H.; Kause, A. A review of genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity in aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, v.8, p.369-393, 2016.
- Santos, A.I. Interação genótipo-ambiente e estimativas de parâmetros genéticos em tilápias. 2009. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil, 2009.
- Schreiber, S.; Focken, U.; Becker, K. Individually reared female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) can grow faster than males. *Journal of Applied Ichthyology*, v.14, n.1-2, p.43-47, 1998.
- Vidal, L.V.O.; Albinati, R.C.B.; Albinati, A.C.L.; Lira, A.D.D.; Almeida, T.R.D.; Santos, G.B. Eugenol como anestésico para a tilápia-do-Nilo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.8, p.1069-1074, 2008.
- Yoshida, G.M.; Oliveira, C.A.L.; Kunita, N.M.; Rizzato, G.S.; Alexandre Filho, L.; Ribeiro, R.P. Genotype by sex interaction at different phases during Nile tilapia culture period. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.37, n.4, p.343-349, 2015.

7. Apêndice

Tabela 11. Estimativas da herdabilidade, participação do ambiente comum e variâncias para peso corporal de tilápias-do-Nilo em diferentes ambientes de cultivo com os dados transformados em log.

| Características | Parâmetros | Média | EP | IC (95%) | |
|---|--------------|----------|----------|-----------|--------|
| PC_{tanque} | h^2 | 0,31 | 0,12 | 0,07 | 0,54 |
| | c^2 | 0,07 | 0,05 | 0,005 | 0,19 |
| | σ_a^2 | 0,0071 | 0,0029 | 0,0016 | 0,0130 |
| | σ_p^2 | 0,0224 | 0,0011 | 0,0205 | 0,0247 |
| | σ_c^2 | 0,0017 | 1,11E-03 | 1,20E-04 | 0,0043 |
| | σ_e^2 | 0,0136 | 0,0015 | 0,0105 | 0,0165 |
| PC_{viveiro} | h^2 | 0,16 | 0,08 | 0,04 | 0,33 |
| | c^2 | 0,09 | 0,05 | 0,02 | 0,26 |
| | σ_a^2 | 0,0014 | 7,20E-04 | 3,32E-04 | 0,0031 |
| | σ_p^2 | 0,0087 | 7,37E-04 | 0,0079 | 0,0111 |
| | σ_c^2 | 0,0008 | 6,32E-04 | 1,72E-04 | 0,0028 |
| | σ_e^2 | 0,0064 | 4,29E-04 | 0,0055 | 0,0072 |
| PC_{tanque} - PC_{viveiro} | cov_a | 0,0022 | 0,0012 | -1,89E-04 | 0,0046 |
| | cov_c | 1,11E-04 | 5,93E-04 | -7,24E-04 | 0,0015 |
| | r_g | 0,70 | 0,31 | -0,1085 | 0,9991 |

h^2 = herdabilidade; c^2 = efeito de ambiente comum; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_c^2 = variância de ambiente comum; σ_e^2 = variância residual; cov_a = covariância genética aditiva; cov_c = covariância de ambiente comum; r_g = correlação genética; PC_{tanque} = peso corporal no tanque; PC_{viveiro} = peso corporal no viveiro; EP = erro-padrão; IC = intervalo de credibilidade. O intervalo de credibilidade dos 95% mais altos.

Tabela 12. Valores genéticos, ranqueamentos e índices de dimorfismo sexual para as famílias avaliadas em tanques-rede e viveiro escavado.

| FAMÍLIA | EBV | EBV | RANKING | RANKING | SDI | SDI |
|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | PC TR | PC VE | TR | VE | TR | VE |
| 800 | 104,94 | - | 4 | - | 1,2212 | - |
| 801 | 103,13 | 7,35 | 5 | 22 | 1,1630 | 1,27302 |
| 802 | 69,84 | -6,26 | 12 | 60 | 1,2366 | 1,30894 |
| 803 | -37,06 | -5,86 | 66 | 58 | 1,3610 | 1,43124 |
| 804 | -32,76 | -16,76 | 64 | 80 | 1,2539 | 1,26204 |
| 805 | -114,26 | -11,38 | 83 | 72 | 1,2705 | 1,25034 |
| 806 | 61,61 | 4,85 | 18 | 30 | 1,2564 | 1,38285 |
| 807 | 61,36 | -26,30 | 19 | 82 | 1,2301 | 0,97380 |
| 808 | 27,40 | -14,81 | 36 | 76 | 1,2628 | 0,96352 |
| 809 | -46,18 | 3,15 | 68 | 33 | 1,2157 | 1,15036 |

| | | | | | | |
|------------|---------|--------|-----------|----------|--------|---------|
| 810 | 49,89 | 1,86 | 22 | 40 | 1,3135 | 1,26383 |
| 811 | 11,75 | 11,87 | 47 | 13 | 1,2559 | 1,37353 |
| 812 | -28,82 | 2,28 | 61 | 39 | 1,1895 | 1,32112 |
| 813 | -109,27 | -15,96 | 82 | 77 | 1,3952 | 1,11051 |
| 814 | 37,77 | -3,79 | 30 | 52 | 1,2369 | 0,98709 |
| 815 | -33,00 | -16,94 | 65 | 81 | 1,4045 | 1,46373 |
| 816 | 32,16 | 6,60 | 33 | 26 | 1,3761 | 1,35992 |
| 817 | -23,86 | -1,01 | 58 | 44 | 1,2806 | 1,17164 |
| 818 | 13,76 | -9,71 | 44 | 67 | 1,1224 | 1,39801 |
| 819 | -183,79 | - | 86 | - | 1,2147 | - |
| 820 | -55,91 | 13,69 | 74 | 9 | 1,2796 | 1,37068 |
| 821 | 49,74 | 0,77 | 23 | 41 | 1,3165 | 1,19991 |
| 822 | -25,22 | -14,41 | 59 | 75 | 1,1134 | 1,48933 |
| 823 | 31,23 | -3,66 | 34 | 51 | 1,1415 | 1,41827 |
| 824 | 30,25 | -11,82 | 35 | 74 | 1,2145 | 1,37483 |
| 825 | -14,48 | -0,43 | 54 | 43 | 1,1204 | 1,16598 |
| 826 | -15,03 | -1,12 | 55 | 45 | 1,1411 | 1,16824 |
| 827 | -1,51 | -1,42 | 49 | 47 | 1,2315 | 1,32762 |
| 828 | 22,15 | -7,06 | 39 | 62 | 1,2438 | 1,13853 |
| 829 | 67,83 | 7,83 | 13 | 21 | 1,1815 | 1,43791 |
| 830 | 38,06 | 4,10 | 29 | 31 | 1,3742 | 1,26835 |
| 831 | -52,39 | -10,56 | 72 | 71 | 0,9110 | 1,59240 |
| 832 | -80,31 | -10,43 | 80 | 70 | 1,1982 | 1,57755 |
| 833 | 32,52 | 11,79 | 32 | 14 | 1,2550 | 1,17264 |
| 834 | 67,76 | 17,53 | 14 | 7 | 1,3866 | 1,13636 |
| 835 | 13,20 | 11,57 | 46 | 15 | 1,2009 | 1,48854 |
| 836 | 42,65 | 5,98 | 26 | 27 | 1,1817 | 1,43507 |
| 837 | -58,13 | -7,39 | 76 | 63 | 1,3385 | 1,50100 |
| 838 | 17,37 | -2,44 | 41 | 49 | 1,1924 | 1,37267 |
| 839 | 51,76 | 6,71 | 21 | 25 | 1,1328 | 1,38751 |
| 840 | 130,28 | -4,77 | 2 | 57 | 1,2964 | 1,68318 |
| 841 | -68,24 | -16,35 | 79 | 79 | 1,2767 | 1,21157 |
| 842 | 9,51 | -3,98 | 48 | 54 | 1,6688 | 1,17027 |
| 843 | -8,66 | -16,28 | 53 | 78 | 1,3640 | 1,35965 |
| 844 | 42,68 | 0,29 | 25 | 42 | 1,2932 | 1,20004 |
| 845 | 40,32 | 2,88 | 27 | 37 | 1,0436 | 1,44970 |
| 846 | -55,58 | -8,74 | 73 | 65 | 1,2174 | 1,10699 |
| 847 | 13,55 | 5,47 | 45 | 29 | 1,3545 | 1,26494 |
| 848 | 15,70 | 10,30 | 43 | 17 | 1,4181 | 1,23969 |
| 849 | 95,90 | -6,20 | 6 | 59 | 1,1790 | 1,21389 |
| 850 | 75,78 | - | 11 | - | 1,1073 | - |
| 851 | 47,20 | -4,16 | 24 | 55 | 1,0356 | 1,10335 |
| 852 | -224,78 | - | 88 | - | 1,0546 | - |
| 853 | -30,00 | -9,68 | 62 | 66 | 1,3354 | 1,37435 |
| 854 | -25,45 | -9,89 | 60 | 68 | 1,3720 | 1,37246 |
| 855 | 67,01 | -4,37 | 15 | 56 | 1,2321 | 1,25324 |
| 856 | -2,20 | -3,83 | 50 | 53 | 1,0522 | 1,52223 |
| 857 | -101,87 | 23,63 | 81 | 2 | 1,3341 | 1,39260 |
| 858 | -51,44 | 7,99 | 71 | 20 | 1,1887 | 1,26075 |

| | | | | | | |
|------------|---------|--------|-----------|-----------|--------|---------|
| 859 | -31,79 | 2,92 | 63 | 34 | 1,1121 | 1,34861 |
| 860 | 121,70 | 24,24 | 3 | 1 | 1,2518 | 1,43433 |
| 861 | 17,62 | 13,93 | 40 | 8 | 1,2292 | 1,37746 |
| 862 | 78,55 | 19,99 | 9 | 4 | 1,1108 | 1,31479 |
| 863 | 40,10 | 3,48 | 28 | 32 | 1,1116 | 1,01397 |
| 864 | 94,68 | 5,68 | 7 | 28 | 1,1471 | 1,33740 |
| 865 | -62,35 | 2,91 | 77 | 36 | 1,1657 | 1,09865 |
| 866 | -5,36 | 6,75 | 52 | 24 | 1,2883 | 1,11782 |
| 867 | -43,57 | -7,57 | 67 | 64 | 1,1658 | 1,25812 |
| 868 | 17,16 | -3,48 | 42 | 50 | 1,2225 | 1,41122 |
| 869 | -219,36 | - | 87 | - | 1,1605 | - |
| 870 | -64,25 | -10,20 | 78 | 69 | 1,1913 | 1,56727 |
| 871 | 55,46 | 12,42 | 20 | 12 | 1,2286 | 1,25152 |
| 872 | 149,16 | 18,63 | 1 | 6 | 1,2826 | 1,44804 |
| 873 | -145,88 | -27,03 | 84 | 83 | 1,3823 | 1,47613 |
| 874 | -19,27 | -6,59 | 57 | 61 | 1,1581 | 1,66297 |
| 875 | 25,70 | -11,55 | 37 | 73 | 1,4529 | 1,27179 |
| 876 | -50,88 | 2,91 | 70 | 35 | 1,1064 | 1,08506 |
| 877 | -17,98 | 2,54 | 56 | 38 | 1,0524 | 1,40732 |
| 878 | 34,97 | 6,80 | 31 | 23 | 1,1863 | 1,45268 |
| 879 | -176,00 | - | 85 | - | 1,1584 | - |
| 880 | -50,19 | 20,65 | 69 | 3 | 1,2163 | 1,17738 |
| 881 | -57,38 | 13,30 | 75 | 10 | 1,0556 | 1,26744 |
| 882 | -2,90 | 10,31 | 51 | 16 | 1,1549 | 1,23259 |
| 883 | 65,15 | 12,90 | 16 | 11 | 1,1202 | 1,47199 |
| 884 | 76,70 | 10,03 | 10 | 18 | 0,9887 | 1,18619 |
| 885 | 83,44 | 19,42 | 8 | 5 | 1,1169 | 1,32118 |
| 886 | 62,62 | 9,93 | 17 | 19 | 1,1227 | 1,13458 |
| 887 | 25,21 | -1,27 | 38 | 46 | 1,2709 | 1,34189 |
| 888 | - | -2,15 | - | 48 | - | 1,19466 |

EBV = valor genético; PC = peso corporal; TR = tanque-rede; VE = viveiro escavado; SDI = índice de dimorfismo sexual.

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS SÉRICOS DE GLICOSE EM TILÁPIAS-DO-NILO MELHORADAS GENETICAMENTE EM TANQUES-REDE

Resumo: Os níveis séricos de glicose em tilápias-do-Nilo podem estar associados a taxa de ganho de peso, dessa forma, os animais com maior peso final de cultivo podem apresentar maior ou menor nível de glicose sanguínea, esta característica poderá ser utilizada como critério de seleção para criação de linhagens específicas em eficiência alimentar. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o nível sérico de glicose sanguínea em famílias de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede e melhoradas geneticamente para peso final a despesca. Para isso, foram utilizados dados de peso corporal e glicose de 1197 animais da décima primeira geração do programa TILAMAX. As estimativas de herdabilidades para as características peso corporal e glicose foram consideradas de baixa magnitude, com valores de $0,29 \pm 0,07$ e $0,19 \pm 0,05$, respectivamente. A correlação genética entre elas não foi significativa ($-0,19 \pm 0,20$), este valor aponta que a seleção direta para peso corporal não poderá promover ganhos genéticos em glicose sanguínea. Conclui-se que o nível sérico de glicose sanguínea se encontra dentro da amplitude esperada para peixes livres de estresse. Não existindo correlação genética entre o peso a despesca e o nível de glicose, sendo assim, não foi possível estabelecer relação entre a taxa de ganho de peso de tilápias geneticamente melhoradas e o nível de glicose.

Palavras-chave: correlação genética, eficiência alimentar, herdabilidade, inferência bayesiana, taxa de ganho de peso

1. Introdução

A tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*, é uma espécie exótica, proveniente do continente africano, que apresenta bom crescimento em criação intensiva, sendo a mais cultivada na região Sul do Brasil (Araújo, 2020; PeixeBR, 2022). Quanto aos principais sistemas de cultivo utilizados para esta espécie, destacam-se o cultivo intensivo em tanque-rede e o cultivo semi-intensivo em viveiro escavado (Barroso *et al.*, 2018).

A linhagem GIFT (*Genetically Improved Farmed Tilapia*) de tilápias é a mais cultivada no Brasil (Cadorin, 2020), os primeiros animais vieram da Malásia e foram introduzidos no Paraná, em 2005, por pesquisadores da Universidade Estadual de Maringá (UEM) em parceria com os governos estadual e federal (Oliveira *et al.* 2012).

Desde desta introdução, a UEM continua o programa de melhoramento genético tendo como objetivo de seleção aumentar a velocidade de crescimento, produzindo animais com maior peso ao final do período de cultivo; para isso, atualmente, o peso à despesca tem sido utilizado como critério de seleção. Este Programa de Melhoramento Genético de Tilápias (PMGT/UEM) avalia e seleciona os animais em sistema de tanques-rede e atualmente está avaliando a 13^a geração de seleção.

O sistema de cultivo e o fato do animal estar sendo criado em cativeiro pode gerar algum estresse e interferir no bem-estar do peixe, neste sentido, alguns estudos são realizados com a finalidade de avaliar o nível de estresse diante a algum agente estressor (uso de anestésicos, eletrochoque, estressores sociais, transporte simulado, exposição ao ar, níveis de proteína, frequência alimentar, taxa de arraçoamento etc.), estes estudos utilizam como um dos parâmetros de avaliação o nível de glicose sanguínea (Deriggi *et al.*, 2006; Barreto e Volpato, 2006; Okamura *et al.*, 2007; Moreira *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012; Freitas, 2015; Cadorin, 2020), por apresentar alguma relação com o cortisol, principal hormônio do estresse.

As tilápias do PMGT/UEM apresentam maior peso final a despesca quando comparadas a animais comerciais, mas será que pode haver alteração no nível de glicose sanguínea e este componente ser avaliado juntamente com outras características, de forma a ser utilizado como possível indicador de eficiência alimentar? Tendo visto que a eficiência alimentar está associada à taxa de ganho de peso, porém existe dificuldade em obtê-la, por ter que avaliar individualmente o consumo alimentar dos animais em todo o período de cultivo (Nascimento, 2011).

A avaliação da eficiência alimentar é importante, visto que reconhecer os animais que melhor aproveitam os nutrientes presentes na ração e os convertem em produto (carne) teriam grande impacto sobre a lucratividade, pela economia de alimentos e maior produção de carne/unidade área (Nascimento, 2011). Se for comprovado que o nível de glicose sanguínea pode estar associado a taxa de ganho de peso, ou seja, que os animais com maior peso final de cultivo apresentam maior ou menor nível de glicose sanguínea, esta característica poderá ser utilizada como critério de seleção para criação de linhagens específicas em eficiência alimentar.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o nível sérico de glicose sanguínea em famílias de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede e melhoradas geneticamente para peso final a despesca.

2. Material e métodos

Todos os procedimentos de manejo dos animais e utilizados nas coletas dos dados obedeceram às normas éticas e foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual de Maringá (CEUA/UEM) na reunião de 08/10/2020, protocolo – CEUA: 2340160720.

2.1. Animais e características

A população de melhoramento considerada neste estudo consistiu em 75 famílias de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), da linhagem GIFT, pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético de Tilápias da Universidade Estadual de Maringá (TILAMAX – UEM), Paraná, Brasil. Este grupo de peixes pertence a décima primeira geração melhorada geneticamente em tanque-rede, totalizando 1.197 animais, entre machos e fêmeas, todos devidamente identificados através de PIT Tags® (Passive Integrated TransponderI), microchips que foram implantados na cavidade celomática. Foram utilizadas informações de pedigree completo da variedade GIFT, da 7^a, 8^a, 9^a e 10^a gerações.

Os acasalamentos foram realizados na proporção de 1 macho:1 fêmea para obtenção de progênie avaliada. Na reprodução, as fêmeas (matrizes) foram condicionadas individualmente em hapas de acasalamentos, avaliadas quanto à condição de maturidade para a desova e acasaladas com o respectivo macho. Os ovos eram coletados da boca das fêmeas, para posterior incubação, sendo anotado a data de desova. Após a completa absorção do saco vitelínico, os alevinos eram colocados em hapas individuais, por família de irmãos completos, para aguardar o momento de serem identificados e transportados para os locais de cultivo. A identificação foi feita quando os peixes estavam com média de 5g, sendo que 80 peixes de cada grupo de irmãos completos foram individualmente identificados, por meio de microchips implantáveis e foi realizada a biometria inicial.

Os dados biométricos foram coletados no momento da identificação dos animais, ou seja, na chipagem e ao final do período de cultivo. As informações coletadas foram referentes ao peso corporal à despesa, em gramas (g) e ao nível sérico de glicose, em miligramas por decilitro (mg/dL). A idade calculada considerou o período entre as datas de desova e de despesa, em dias.

Uma semana após a chipagem dos animais, foram levados para serem cultivados em quatro tanques-rede, localizados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Rosana

(baixo Paranapanema) situado na região dos Municípios de Diamante de Norte – Paraná e Porto Primavera – São Paulo (coordenadas 22°36' S e 52°50' W).

Para coleta do sangue, os animais foram privados de alimento de 12 a 20 horas de jejum, para a limpeza do trato gastrointestinal e para menor estresse possível dos animais. Além disso, este período de jejum foi utilizado seguindo o trabalho de Araújo (2020), e o autor concluiu que neste intervalo há maior estabilidade da curva glicêmica. Para o procedimento de coleta das amostras sanguíneas, o animal foi contido mecanicamente com pano úmido, ficando exposto apenas o tempo necessário para retirada do sangue.

O sangue foi coletado por meio de punção caudal com a utilização de seringas de 3mL e agulha 25x0,7, previamente esterilizadas. A glicose sanguínea (mg/dL-1) foi determinada com glicosímetro portátil digital da marca Accu-Chek® Active (Roche Diagnóstica Brasil Ltda), conforme Okamura *et al.* (2007) e Moreira *et al.* (2011). O peso corporal foi mensurado usando balança eletrônica (modelo 9094 – Toledo).

2.2. Estatística descritiva e avaliação genética

Os dados foram submetidos à consistência e análise estatística descritiva através do programa R (R Development Core Team, 2019). O total de 1.197 animais foram avaliados (Tabela 1). A matriz de incidência continha 1.565 animais, incluindo filhos, pais e avós.

Foram utilizados diferentes modelos estatísticos para analisar as características peso corporal (PC) e nível sérico de glicose (GL). Diferentes combinações de efeitos genéticos aditivos diretos e de ambiente comum. Era necessário considerar os efeitos comuns de irmãos completos porque as famílias eram criadas em hapas separadas até a identificação dos animais. Os efeitos fixos de tanque-rede e sexo, assim como os efeitos lineares e quadráticos da idade (IDD) e hora da coleta do sangue (HORA) também foram avaliados (Tabela 2). Os modelos de melhor ajuste foram definidos com base no critério de informação de Akaike - AIC (Akaike, 1974). As análises foram realizadas usando REMLF90 (Miształ *et al.*, 2018).

2.3. Estimação de componentes de (co)variância e parâmetros genéticos

Os componentes da (co)variância e os parâmetros genéticos foram estimados de acordo com o modelo animal descrito a seguir:

$$y = X\beta + Z\alpha + Wc + e$$

em que,

y é o vetor de observações da característica avaliada;

X é a matriz de incidência dos efeitos fixos;

β é o vetor de efeitos fixos;

Z é a matriz de incidência dos efeitos genéticos aditivos;

α é o vetor de efeitos genéticos diretos;

W é a matriz de incidência dos efeitos de ambiente permanente;

c é o vetor de efeitos de ambiente permanente;

e é o vetor dos efeitos residuais.

As análises bicaracterísticas foram usadas para avaliar a correlação genética entre as características de peso corporal e nível sérico de glicose. O seguinte modelo matricial foi utilizado:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

sendo y_1 é o vetor dos valores fenotípicos de peso corporal; y_2 é o vetor dos valores fenotípicos do nível sérico de glicose; X_1 X_2 , Z_1 Z_2 e W_1 W_2 são as matrizes de incidência dos efeitos considerados no modelo; β_1 e β_2 são os vetores dos efeitos fixos; α_1 e α_2 são os vetores dos efeitos genéticos aditivos diretos; c_1 e c_2 são os vetores dos efeitos de ambiente comum; e_1 e e_2 são os vetores dos efeitos residuais e 0 são os vetores ou matrizes de valores nulos.

As seguintes premissas foram feitas nas análises bivariadas:

$$\alpha \sim N(0, G \otimes A), c \sim N(0, C \otimes I_m), e \sim N(0, R \otimes I_n)$$

em que: \otimes é o produto de Kronecker; A é matriz de parentesco; G é a matriz de (co) variâncias genéticas; I_m é a matriz identidade, de ordem igual ao número de grupos de irmãos completos; C é a matriz de (co) variâncias do efeito de ambiente comum; I_n é a matriz identidade, de ordem n , igual ao número de animais e R é a matriz de (co) variâncias residuais. A estrutura variância-covariância pode ser escrita como:

$$V \begin{pmatrix} a \\ c \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \otimes G & 0 & 0 \\ 0 & I \otimes C & 0 \\ 0 & 0 & I \otimes R \end{pmatrix}$$

sendo A é a matriz de relação genética aditiva; G , C e R são as matrizes genéticas aditivas, ambientais comuns e (co) variâncias ambientais residuais, respectivamente, I é a matriz de identidade e \otimes denota o produto Kronecker.

Para a estimação dos componentes de (co)variância e valores genéticos, foi usada a abordagem Bayesiana via algoritmo de Gibbs, pertencente aos métodos de Monte Carlo – Cadeias de Markov (MCMC). As inferências bayesianas foram realizadas usando GIBBS1F90 e POSTGIBBSF90 (Misztal *et al.*, 2018). A convergência foi avaliada usando o pacote CODA em R (Plummer *et al.*, 2006; R Development Core Team, 2019). As análises unicaracterísticas usaram uma amostra de 500.000 ciclos, com 10% de *burn-in* e um intervalo de diluição de 10 ciclos. Para análises bicaracterísticas, a amostragem foi realizada usando um comprimento de cadeia de 1.000.000 ciclos, 10% de *burn-in* e um intervalo de diluição de 20 ciclos.

3. Resultados

As estatísticas descritivas dos dados para tilápias-do-Nilo criadas em tanque-rede são mostradas na Tabela 1. Observa-se que o número de animais avaliados quanto ao nível sérico de glicose (GL) foi inferior ao número de peixes com informação do peso corporal (PC). A idade e o peso dos animais avaliados são altos, tendo tilápias com mais de um ano de idade e um quilograma de peso vivo.

Tabela 1. Estatística descritiva das características avaliadas em tilápia-do-Nilo.

| Características | N | NF | TMF | Média | DP | Mín | Máx | CV (%) |
|--------------------------|------|----|-------|---------|--------|-----|------|--------|
| Idade (dias) | 1197 | 75 | 15,96 | 425,46 | 10,16 | 410 | 442 | 2,39 |
| Peso corporal (g) | 1197 | 75 | 15,96 | 1090,65 | 347,31 | 320 | 2290 | 31,84 |
| Glicose (mg/dL) | 870 | 75 | 11,60 | 77,09 | 19,14 | 30 | 176 | 24,83 |

N = número de animais; NF = número de famílias; TMF = tamanho médio de família; DP = desvio-padrão; Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; CV = coeficiente de variação.

A Tabela 2 apresenta quais os efeitos foram significativos para cada característica, de acordo com o ajuste com base no critério de informação de AIC (Akaike, 1974). Para a característica PC não foi significativo o efeito da covariável idade quadrática e para o GL os efeitos de idade linear e quadrático. Além disso, para ambas as características o efeito de ambiente comum, ou seja, aquele em que os animais da mesma família (irmãos completos) foram mantidos na mesma hapa até o momento da identificação não foi importante.

Tabela 2. Efeitos que compuseram os modelos estatísticos para a avaliação genética das características estudadas.

| Características | a | c | Tanque | Sexo | IDD | IDD ² | Hora | Hora ² | AIC |
|-----------------|---|---|--------|------|-----|------------------|------|-------------------|----------|
| PC (g) | X | - | X | X | X | - | - | - | 11786,26 |
| GL (mg/dL) | X | - | X | X | - | - | X | X | 7414,11 |

Fatores com “X” foram os que compôs os modelos nas análises. a = efeito genético aditivo direto; c = efeito de ambiente comum (irmãos-completos); IDD e IDD² = efeito linear e quadrático de idade, respectivamente; Hora e Hora² = efeito linear e quadrático de hora da coleta dos dados, respectivamente; AIC = critério de informação de Akaike; PC = peso corporal; GL = glicose.

As estimativas dos parâmetros fenotípicos e genéticos para a característica PC e GL, estimadas usando um modelo animal bicaracterística, são mostradas na Tabela 3. As estimativas de herdabilidades para as características PC e GL foram consideradas de baixa magnitude, com valores de $0,29 \pm 0,07$ e $0,19 \pm 0,05$, respectivamente. A correlação genética entre elas não foi significativa ($-0,19 \pm 0,20$), este valor aponta que a seleção direta para PC não poderá promover ganhos genéticos em GL (Tabela 4).

Tabela 3. Estimativas da herdabilidade e variâncias genética, fenotípica e residual para as características avaliadas em tilápia-do-Nilo.

| Características | Parâmetros | Média | EP | IC (95%) | |
|-------------------|--------------|----------|---------|----------|--------|
| Peso corporal (g) | h^2 | 0,29 | 0,07 | 0,18 | 0,44 |
| | σ_a^2 | 17027,81 | 4453,00 | 9842,98 | 27210 |
| | σ_p^2 | 57380,84 | 2932,00 | 52150 | 63610 |
| | σ_e^2 | 40353,03 | 3161,00 | 33849,75 | 46250 |
| Glicose (mg/dL) | h^2 | 0,19 | 0,05 | 0,10 | 0,31 |
| | σ_a^2 | 71,30 | 22,20 | 36,18 | 122,70 |
| | σ_p^2 | 369,29 | 17,60 | 337,08 | 406 |
| | σ_e^2 | 297,99 | 19,05 | 259,80 | 334,90 |

h^2 = herdabilidade; σ_p^2 = variância fenotípica; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_e^2 = variância residual; EP = erro-padrão; IC = intervalo de credibilidade. O intervalo de credibilidade dos 95% mais altos.

Tabela 4. Estimativas das correlações genética e fenotípica e dos componentes de (co)variâncias genética, fenotípica e residual para as características avaliadas em tilápia-do-Nilo.

| Características | Parâmetros | Média | EP | IC (95%) | |
|--------------------------------|------------|---------|--------|----------|---------|
| | cov_a | -210,99 | 230,40 | -687,10 | 230,40 |
| | cov_p | -446,94 | 166,80 | -782,05 | -122,30 |
| Peso corporal – Glicose | cov_e | -235,95 | 179,90 | -590,10 | 116,60 |
| | r_g | -0,19 | 0,20 | -0,56 | 0,21 |
| | r_p | -0,10 | 0,04 | -0,17 | -0,03 |

cov_a = covariância genética aditiva; cov_p = covariância fenotípica; cov_e = covariância residual; r_g = correlação genética; r_p = correlação fenotípica; EP = erro-padrão; IC = intervalo de credibilidade. O intervalo de credibilidade dos 95% mais altos.

4. Discussão

Este trabalho foi baseado em estudos anteriores realizados com a variedade TILAMAX desenvolvida no programa de melhoramento genético de Tilápia-do-Nilo da Universidade Estadual de Maringá (PMGT – Tilamax/UEM). Sendo assim, o período de jejum utilizado, de 12 a 20 horas, fez a referência ao trabalho desenvolvido por Araújo (2020), que constatou que neste intervalo houve a estabilização da curva glicêmica dos animais. Como o período total de jejum foi de 24 horas, a coleta do peso corporal se estendeu em relação a coleta da glicose, tendo um número maior de animais avaliados.

O valor médio de glicose sanguínea neste estudo foi de 77,09 mg/dL, estando dentro da amplitude esperada para peixes livres de estresse (29 a 93 mg/dL). Trabalhos realizados com tilápia-do-Nilo, apontam valores variando de 35,50 – 234,32 mg/dL (Deriggi *et al.*, 2006; Barreto & Volpato, 2006; Okamura *et al.*, 2007; Moreira *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012; Freitas, 2015; Cadorin, 2020; Araújo, 2020; José, 2021). Porém, a maioria dos estudos foram realizados com o intuito de constatar o bem-estar animal, testando diferentes condições de estresse, como por exemplo, o uso de anestésicos, eletrochoque, estressores sociais, transporte simulado, tempos de exposição ao ar, estresse por frio e calor. Enquanto outros avaliaram condições relacionadas a dieta, como inclusão de vitamina C, frequência alimentar, taxa de arraçoamento e diferentes níveis de proteína digestível. Os resultados foram voltados as condições de cultivo e manejo biométrico dos animais.

Estudos com tambaqui, truta arco-íris, pacu, salmão do Atlântico, carpa comum e carpa húngara apresentam valores de glicose sanguínea variando de 34,23 – 177,0 mg/dL (Fevolden *et al.*, 1993; Tavares-Dias & Sandrim, 1998; Tanck *et al.*, 2001; Brandão *et*

al., 2004; Miller *et al.*, 2007; Chagas *et al.*, 2007; Devens *et al.*, 2012; Barbieri & Bondioli, 2015; Alves, 2016). Estes trabalhos utilizaram a glicose sanguínea como parâmetro para avaliação do estresse e/ou fatores relacionados a dieta sob diferentes condições (exposição ao seleneto de sódio, toxicidade da amônia, níveis de temperatura, confinamento, choque por frio, taxas de alimentação, dietas suplementadas com vitamina E, uso de ractopamina e densidade de estocagem).

As herdabilidades de 0,19 e 0,29 encontradas para a avaliação da glicose sanguínea (GL) e do peso corporal (PC) são valores moderados e indicam que estes parâmetros podem possibilitar ganhos genéticos significativos quando realizada pressão de seleção sob os animais reprodutores. Quanto a correlação genética entre o PC e a GL, o valor estimado de $-0,19 \pm 0,20$ não é significativo, isto porque o erro-padrão é elevado, levando a correlação a valores negativos e positivos. Portanto, ao selecionar os animais com base no peso corporal, não é possível obter incremento nos níveis de glicose sanguínea.

A herdabilidade estimada para a glicose neste estudo foi superior as mencionadas por Fevolden *et al.* (1993) de 0,03 para salmão de Atlântico e 0,07 para truta arco-íris, porém os autores trabalharam com a resposta ao estresse em confinamento com baixo nível de água, podendo levar a hipoxia. Tanck *et al.* (2001) trabalhando com carpa comum sob estresse ao choque térmico relataram valores de herdabilidade de 0,19 e 0,09 para glicose e peso, respectivamente.

Em estudo com tilápia-do-Nilo, Araújo (2020) encontrou valores de herdabilidade para peso corporal e glicose sanguínea de 0,63 e 0,26, respectivamente, o autor considera que as características apresentam variabilidade genética que podem resultar em ganhos genéticos importantes com o uso da seleção. Neste mesmo estudo a correlação genética entre as duas características foi de 0,32, considerada significativa e favorável, porém de baixa magnitude. Valores semelhantes aos encontrados neste estudo foram relatados por José (2021), que estimaram valores de herdabilidade de 0,16 para glicose e de 0,19 para o peso final, sendo considerados valores de magnitude moderada. Porém, a correlação genética de 0,51 entre as características foi superior.

5. Conclusão

Conclui-se que o nível sérico de glicose sanguínea se encontra dentro da amplitude esperada para peixes livres de estresse. Não existindo correlação genética entre o peso a

despesca e o nível de glicose, sendo assim, não foi possível estabelecer relação entre a taxa de ganho de peso de tilápias geneticamente melhoradas e o nível de glicose.

6. Referências

- Akaike, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, v.19, p.716–723, 1974.
- Alves, A.X. Efeitos de dietas suplementadas com vitamina E sobre o crescimento, eficiência alimentar e parâmetros hematológicos e fisiológicos do tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). 2016. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência Animal. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 2016.
- Araújo, F.C.T. Pode-se melhorar o bem-estar em tilápia do Nilo por meio de seleção genética? 2020. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil, 2020.
- Barbieri, E. & Bondioli, A.C.V. Acute toxicity of ammonia in Pacu fish (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887) at different temperatures levels. *Aquaculture Research*, v.46, n.3, p.565-571, 2015.
- Barreto, R.E. & Volpato, G.L. Stress responses of the fish Nile tilapia subjected to electroshock and social stressors. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v.39, n.12, p.1605-1612, 2006.
- Barroso, R.M.; Munoz, A.E.P.; Tahim, E.F.; Tenório, R.A.; Muehlmann, L.D.; Silva, F.M.; Barreto, L.E.G.S.; Hein, G. Carmo, F.J.; Flores, R.M.V. Dimensão socioeconômica da Tilapicultura no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 110 p.
- Brandão, F.R.; Gomes, L.D.C.; Chagas, E.C.; Araújo, L.D.D. Densidade de estocagem de juvenis de tambaqui durante a recria em tanques-rede. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.4, p.357-362, 2004.
- Cadorin, D.I. Efeito da frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho zootécnico, composição corporal e metabólitos plasmáticos em juvenis de tilápia-do-Nilo. 2020. Dissertação (Mestrado) – Curso de Aquicultura. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2020.
- Chagas, E.C.; Gomes, L.D.C.; Martins Júnior, H.; Roubach, R. Produtividade de tambaqui criado em tanque-rede com diferentes taxas de alimentação. *Ciência Rural*, v.37, n.4, p.1109-1115, 2007.
- Deriggi, G.F.; Inoue, L.A.K.A.; Moraes, G. Stress responses to handling in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus): assessment of eugenol as an alternative anesthetic. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v.28, n.3, p.269-274, 2006.
- Devens, M.A.; Lazzari, R.; Rotilli, D.A.; Pucci, L.E.A.; Veiverberg, C.A.; Coldebella, I.J. Ractopamina na dieta da carpa húngara (*Cyprinus carpio*) criada em tanques-rede. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.64, n.6, p.1717-1722, 2012.

- Fevolden, S.E.; Refstie, T.; Gjerde, B. Genetic and phenotypic parameters for cortisol and glucose stress response in Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture*, v.118, n.3-4, p.205-216, 1993.
- Freitas, J.M.A. Desempenho produtivo e respostas hematológicas da tilápia-do-Nilo submetida a diferentes níveis de proteína e condições de estresse. 2015. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, SP, Brasil, 2015.
- José, B.R. Resposta ao estresse em diferentes famílias de tilápia-do-Nilo. 2021. Dissertação (Mestrado) – Curso de Aquicultura. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil, 2021.
- Miller, L.L.; Wang, F.; Palace, V.P.; Hontela, A. Effects of acute and subchronic exposures to waterborne selenite on the physiological stress response and oxidative stress indicators in juvenile rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, v.83, n.4, p.263-271, 2007.
- Misztal, I.; Tsuruta, S.; Lourenco, D.; Masuda, Y.; Aguilar, I.; Legarra, A.; Vitezica, Z. Manual for BLUPF90 family of programs. University of Georgia, Athens, GA, USA, 2018.
- Moreira, A.G.L.; Teixeira, E.G.; Moreira, R.L.; Farias, W.R.L. Glicose plasmática em juvenis de tilápia do Nilo anestesiados com óleo de cravo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.12, n.3, p.794-804, 2011.
- Nascimento, M.L. Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore. 2011. Tese (Doutorado) – Curso de Ciência Animal e Pastagens. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, Brasil, 2011.
- Okamura, D.; Araújo, F.G.; Logato, P.V.R.; Murgas, L.D.S.; Freitas, R.T.F.; Araújo, R. V. Efeito da vitamina C sobre o hematócrito e glicemia de alevinos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) em transporte simulado. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.4, p.883-888, 2007.
- Oliveira, C.A.L.; Ribeiro, R.P.; Streit Junior, D.P.; Povh, J.A.; Resende, E.K. Melhoramento genético de peixes: uma realidade para a piscicultura brasileira. *Panorama da Aquicultura*, v.22, n.139, p.38-47, 2012.
- PeixeBR – Anuário Peixe BR da Piscicultura 2022. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>>. Acesso em: 27 de março de 2022.
- Plummer, M.; Best, N.; Cowles, K. and Vines, K. CODA: convergence diagnosis and output analysis for MCMC. *R News*, v.6, n.1, p.7–11, 2006.
- R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- Silva, R.D.; Rocha, L.O.; Fortes, B.D.A.; Vieira, D.; Fioravanti, M.C.S. Parâmetros hematológicos e bioquímicos da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) sob estresse por exposição ao ar. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v.32, p.99-107, 2012.
- Tanck, M.W.T.; Vermeulen, K.J.; Bovenhuis, H.; Komen, H. Heredity of stress-related cortisol response in androgenetic common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, v.199, n.3-4, p.283-294, 2001.
- Tavares-Dias, M. & Sandrim, E.F.S. Características hematológicas de teleósteos brasileiros. I. Série vermelha e dosagens de cortisol e glicose do plasma sanguíneo de cultivos de *Colossoma macropomum* em condições de cultivo. *Acta Scientiarum. Ciências Biológicas*, v.20, p.157-160, 1998.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a espécie de peixe mais produzida no Brasil, estando presente, em praticamente todos os estados do país. Sendo assim, o estudo da interação genótipo x ambiente se faz necessário, para decidir a respeito da avaliação dos animais em dois programas de melhoramento genético distintos. Neste estudo, em que os animais de mesma família foram criados em tanque-rede e viveiro escavado, houve a interação genótipo x ambiente, porém o ranqueamento dos valores genéticos das famílias, mostra que não há a necessidade de programas de melhoramento genético específico para cada ambiente, bastando apenas a utilização de animais das famílias com melhores desempenhos nos dois sistemas de cultivo. Outra forma de avaliar essa interação entre genótipos é incluir o sexo do animal e observar se machos e fêmeas têm o mesmo desempenho nos dois sistemas. Quando observada a criação em tanque-rede, machos e fêmeas não apresentaram interação genótipo x sexo, porém nas demais combinações entre os sexos e ambientes, houve interação.

A presença do dimorfismo sexual é bem acentuada em machos e fêmeas de tilápia-do-Nilo, sendo possível a diferenciação observando a papila urogenital, bem como através das características de desempenho e morfométricas. O índice de dimorfismo sexual mostrou, neste estudo, que o cultivo em tanque-rede proporciona menores diferenças no peso corporal de machos e fêmeas quando comparado a criação em viveiro escavado, havendo diferenças entre os índices da mesma família nos dois sistemas.

O nível sérico de glicose sanguínea pode ser utilizado como forma de avaliação da eficiência alimentar em peixes, sendo atualmente muito empregado nos estudos de bem-estar animal. A avaliação da eficiência alimentar é importante, visto que reconhecer os animais que melhor aproveitam os nutrientes presentes na ração e os convertem em produto teriam grande impacto sobre a lucratividade no setor. Este estudo demonstrou

que o nível de glicose se encontra dentro da amplitude esperada para peixes livres de estresse. Não existindo correlação genética entre o peso corporal a despesca e o nível de glicose, sendo assim, não foi possível estabelecer relação entre a taxa de ganho de peso de tilápias geneticamente melhoradas e o nível de glicose. Sendo necessário mais estudos na área, para estabelecer alguma relação positiva e/ou negativa entre a eficiência alimentar e os níveis de glicose sanguínea.