

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**PRODUÇÃO DE TILÁPIAS VERMELHAS HÍBRIDAS (*Oreochromis*
spp.) MASCULINIZADAS OU NÃO, ALIMENTADAS COM DIETAS
COM BAIXA E ALTA RELAÇÃO DE CARBOIDRATOS E LIPÍDIOS
EM TANQUES-REDE**

Denis William Johanssem de Campos

Zootecnista

Jaboticabal, São Paulo

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**PRODUÇÃO DE TILÁPIAS VERMELHAS HÍBRIDAS (*Oreochromis*
spp.) MASCULINIZADAS OU NÃO, ALIMENTADAS COM DIETAS
COM BAIXA E ALTA RELAÇÃO DE CARBOIDRATOS E LIPÍDIOS
EM TANQUES-REDE**

Discente: Denis William Johanssem de Campos

Orientador: Prof. Dr. Dalton José Carneiro

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
DOUTOR em ZOOTECNIA.

Jaboticabal, São Paulo

2024

C198p

Campos, Denis William Johanssem de

Produção de tilápias vermelhas híbridas (*Oreochromis spp.*)
masculinizadas ou não, alimentadas com dietas com baixa e alta
relação de carboidratos e lipídios em tanques-rede / Denis William
Johanssem de Campos. -- Jaboticabal, 2024
121 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Dalton José Carneiro

1. Custo de produção. 2. Desempenho. 3. Energia não proteica. 4.
Hormônio. 5. Masculinização por temperatura. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PRODUÇÃO DE TILÁPIAS VERMELHAS HÍBRIDAS (*Oreochromis spp.*)
MASCULINIZADAS OU NÃO, ALIMENTADAS COM DIETAS COM BAIXA E ALTA
RELAÇÃO DE CARBOIDRATOS E LIPÍDIOS EM TANQUES-REDE

AUTOR: DENIS WILLIAM JOHANSEM DE CAMPOS

ORIENTADOR: DALTON JOSÉ CARNEIRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Zootecnia, pela Comissão
Examinadora:

Prof. Dr. DALTON JOSÉ CARNEIRO (Participação Presencial)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal



Profa. Dra. MARIA INEZ ESPAGNOLI GERALDO MARTINS (Participação Presencial)
Departamento de Economia, Administração e Educação / FCAV UNESP Jaboticabal



Profa. Dra. CRISTIÉLE DA SILVA RIBEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Biologia e Zootecnia / FEIS UNESP Ilha Solteira



Documento assinado digitalmente
CRISTIÉLE DA SILVA RIBEIRO
Data: 02/02/2024 15:53:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CLEBER FERNANDO MENEGASSO MANSANO (Participação Virtual)
Universidade Brasil (UB) / Fernandópolis/SP



Documento assinado digitalmente
CLEBER FERNANDO MENEGASSO MANSANO
Data: 05/02/2024 14:56:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. HELLEN BUZZOLLO PAZZINI (Participação Virtual)
Centro Universitário de Rio Preto (UNIRP) / São José do Rio Preto/SP



Documento assinado digitalmente
HELLEN BUZZOLLO PAZZINI
Data: 04/02/2024 15:38:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 02 de fevereiro de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DENIS WILLIAM JOHANSEM DE CAMPOS – nascido em dia 20 de abril de 1995, na cidade de Jaboticabal/SP. Em 2013 ingressou no curso de Zootecnia na Faculdade de Engenharia da UNESP - Câmpus de Ilha Solteira/SP. Durante a graduação foi monitor de Zoologia Geral, professor voluntário do cursinho popular da UNESP, membro da Empresa Júnior de Zootecnia da UNESP de Ilha Solteira e realizou atividade científica especial e vivências de práticas zootécnicas no qual realizou o trabalho de conclusão de curso sob orientação do Prof. Dr. Igor Paiva Ramos. Em janeiro de 2018, graduou-se em Zootecnia. Em março de 2018, ingressou no curso de Mestrado em Aquicultura no Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal/SP, sob orientação da Dra. Fabiana Garcia Scaloppi, com bolsa financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Processo nº 88882.433717/2019-01), submetendo sua dissertação à banca examinadora em fevereiro de 2020. Em março do mesmo ano ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP – Câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Dalton José Carneiro, com bolsa financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Processo nº 88887.486026/2020-00).

Sem sacrifícios não há conquista, sem
labuta não há riqueza, sem investimentos
não há empreendimento.

Pedro Bom Jesus

Dedico

A meu Deus, a minha família, cujo amor e carinho têm sido um alicerce sólido e uma fonte constante de inspiração ao longo da minha vida. Quero também prestar homenagem ao meu querido amigo, Matheus L. Natarelli dos Santos (in memoriam), cuja influência foi fundamental na minha jornada de formação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou Grato a Deus por mostrar que nada é impossível.

Agradeço a minha mãe, Claudia Regina Johanssem por fazer possível à realização dos meus sonhos.

A minha esposa Leticia Karoline Ferreira por todo amor incondicional e carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Dalton José Carneiro que, com muita paciência, atenção, amizade e parceria, dedicou do seu valioso tempo para me orientar em cada passo deste trabalho, pela contribuição na minha vida acadêmica.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório de alimentação e Nutrição de organismos Aquáticos (LANOA), pelo apoio, companheirismo e amizade. Serão sempre lembrados com carinho. Em especial ao Magdiel, Andressa, Ligia, Juliano, Thalys, Naiara, Caio, Jesaias, Jessica, Thiago, Hugo e Janaína.

A toda equipe do Centro de Aquicultura da Unesp (Caunesp), em especial ao Valdecir, Marcio e Luis.

Agradeço à Oxiquímica, Guabi, Hoepers Produtos Agropecuários e Ingredion pela doação dos insumos utilizados durante o experimento.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

A todos os professores pela contribuição à minha formação profissional.

Ao meu amigo Matheus L. Natarelli dos Santos (*in memoriam*), cuja presença iluminou meu caminho durante minha formação inicial, desempenhando um papel fundamental em minha trajetória profissional.

Agradeço profundamente à Turma 018 de Zootecnia da FCAV/UNESP por terem participado como meus alunos na primeira experiência de estágio docente no ensino superior, na disciplina de Piscicultura. Da mesma forma, expressei minha gratidão à Turma 019 de Zootecnia da FCAV/UNESP pela calorosa recepção durante meu estágio docente no ensino superior, especialmente na disciplina de Ranicultura. Foi uma imensa honra ter sido escolhido como Parainfo de vocês.

E não menos importante, agradeço às tilápias que serviram de material biológico para essa pesquisa, por se submeterem ao manejo em prol do nosso conhecimento científico.

Obrigado a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para o que sou hoje.

APOIO FINANCEIRO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Processo nº 88887.486026/2020-00 pela concessão da bolsa de doutorado.



CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"

CÂMPUS DE JABOTICABAL

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS



CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Relações de carboidratos e lipídios em dietas para produção de tilápia masculinizadas e não masculinizadas em tanques-rede: efeitos sobre o desempenho, eficiência nutricional e perfil histopatológico do trato digestório"**, protocolo nº 3383/20, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Dalton José Carneiro, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 23 de junho de 2020.

Vigência do Projeto	03/08/2020 a 02/08/2022
Espécie / Linhagem	Tilápia (<i>Oreochromis spp.</i>)
Nº de animais	18.000
Peso / Idade	< 1 g
Sexo	Machos e Fêmeas
Origem	Piscicultura S3 - Rod. Regis Bittencourt, km 435 – Sítio São Silvestre – Bairro do Ribeirão Vermelho – Registro/SP, CEP 11900-000

Jaboticabal, 23 de junho de 2020.


Profª Drª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. Considerações Gerais	1
1.1 Introdução	1
1.2 Importância da produção de tilápias.....	2
1.3 A masculinização em tilápias	4
1.4 Energia não proteica na nutrição de peixes.....	7
1.5. Análise econômica na produção de tilápias.....	14
1.6 Hipóteses	16
1.7 Referências bibliográficas	17
CAPÍTULO 2. Produção de alevinos de tilápias híbridas vermelhas masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixo e alto nível proteico.....	26
2.1 Introdução	28
2.2 Material e métodos.....	30
2.3 Resultados	35
2.4 Discussão	40
2.5 Conclusão	43
2.6 Referências bibliográficas	44
CAPÍTULO 3. Desempenho e respostas metabólicas de tilápias híbridas vermelhas (<i>Oreochromis</i> spp.) masculinizadas ou não, com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios em tanques-rede	48
3.1 Introdução	50
3.2 Material e métodos.....	52
3.3 Resultados	60
3.4 Discussão	68
3.5 Conclusão	76
3.6 Referências bibliográficas	77
Capítulo 4. Análise econômica na produção em tanques-rede de tilápias híbridas vermelhas (<i>Oreochromis</i> spp.) masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios	87
4.1 Introdução	89
4.2 Material e métodos.....	91
4.3 Resultados	97
4.4 Discussão	102
4.5 Conclusão	106
4.6 Referências bibliográficas	106

CAPÍTULO 1. Considerações Gerais

1.1 Introdução

A aquicultura foi apontada pela FAO (2022) como a atividade de produção animal com o crescimento mais significativo em termos de produção em escala global. Esse crescimento está diretamente relacionado ao aumento do consumo mundial de pescado, que saltou de 9,9 kg per capita por ano, na década de 60, para 20,2 kg per capita por ano em 2022. Assim, a aquicultura é amplamente reconhecida como uma atividade alternativa essencial à pesca, desempenhando um papel fundamental na produção global de peixes, crustáceos e moluscos, desde que seja conduzida com responsabilidade e sustentabilidade.

Dentre os setores da aquicultura, a piscicultura, que se refere à produção de peixes com fins econômicos, é a mais representativa. O consumo de peixes merece destaque pelo seu alto valor biológico como alimento proteico, podendo conter altos teores de ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa, vitaminas e minerais como iodo, fósforo, sódio, potássio, ferro e cálcio. Assim, as principais espécies de peixes cultivadas no mundo, de acordo com a FAO (2022), incluem carpas como a carpa capim (*Ctenopharyngodon idellus*), a prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), a comum (*Cyprinus carpi*), a grande (*Hypophthalmichthys nobilis*), além das tilápias (*Oreochromis* spp.) e do salmão do Atlântico (*Salmo salar*).

No Brasil, é significativo o potencial para a expansão da aquicultura devido à disponibilidade hídrica, condições climáticas favoráveis (pouca variação de temperatura do ar e água), grande número de espécies nativas e exóticas adaptadas às condições, melhorias genéticas e interesse no mercado (PEIXEBR, 2023). O país ocupa o 13º lugar na lista dos principais produtores na aquicultura mundial (FAO, 2022), com uma produção de mais de 860 mil toneladas em 2022, um aumento de 2,3% em relação ao ano anterior, segundo a Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXEBR, 2023). Nesse mesmo ano, cerca de 63,9% dessa produção total foi proveniente do cultivo de tilápia, com 550 mil toneladas produzidas no país, um aumento de quase 3% em relação ao ano anterior (534.005 t).

No entanto, para continuar a expandir a produção de organismos aquáticos e atender à alta demanda por proteína de alto valor biológico na alimentação humana, a comunidade científica e a cadeia produtiva devem unir forças. É essencial promover e potencializar ainda mais a produção da aquicultura, ao mesmo tempo em que abordamos questões relacionadas à segurança alimentar e à preservação dos recursos naturais de forma sustentável.

1.2 Importância da produção de tilápias

Desde 2000 A.C., a produção da tilápia (*Oreochromis* spp.) tem sido documentada, conforme destacado por Zaniboni Filho (2004). No entanto, sua disseminação global ocorreu entre as décadas de 60 e 80, período em que foram realizadas numerosas pesquisas relacionadas a sistemas de produção, nutrição, reprodução e genética. Esses avanços, juntamente com o desenvolvimento de mercados e processamento, resultaram em sua rápida expansão (FAO, 2022).

A introdução inicial da tilápia-do-Nilo no Brasil foi realizada pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no Estado do Ceará em 1971, com a linhagem Bouaké, originária da Costa do Marfim. Naquela época, a finalidade era incentivar a produção de alevinos para repovoar os reservatórios públicos da região Nordeste (Castagnolli, 1992). Ao longo dos anos, esses animais apresentaram anomalias genéticas e baixo desempenho zootécnico. Para solucionar o problema do desempenho zootécnico inferior, em 1996, foi introduzida a linhagem Chitralada, originária da Tailândia (Zimmermann, 1999).

Em 2002, desenvolvida por estudos de melhoramento genético, foi introduzida a linhagem Supreme (Massago et al., 2010). Três anos depois, a linhagem GIFT (Genetically Improved Farmed Tilapia) foi introduzida por meio de uma parceria entre a Universidade Estadual de Maringá (UEM) e o World Fish Center (Santos, 2006), resultando em melhores resultados zootécnicos com continuidade de estudos de melhoramento genético.

Atualmente, a tilápia é a espécie de peixe mais cultivada no Brasil e representa o segundo grupo mais produzido no mundo, ficando atrás apenas do grupo das carpas (FAO, 2022; PEIXEBR, 2023). A produção global de tilápia ultrapassou 4,4 milhões de toneladas, correspondendo a 9% do total mundial. E no Brasil, a produção alcançou mais de 550 mil toneladas, representando mais de 63,9% da produção de peixes no país em 2022, de acordo com a Associação Brasileira de Piscicultura (PEIXEBR, 2023).

A tilápia é uma espécie tropical e em seu ambiente natural, consome uma variedade de alimentos, como algas planctônicas e/ou perifíticas, frutas, partes de plantas aquáticas, crustáceos, larvas e ninfas de insetos caracterizando o hábito alimentar onívoro (El-Sayed, 2019). Assim como outros peixes onívoros e herbívoros, as tilápias possuem um sistema digestivo capaz de utilizar eficientemente os carboidratos da dieta (Coutinho et al., 2018).

Essas adaptações morfológicas e fisiológicas incluem dentes faringianos, que pressionam e misturam alimento, fragmentando-o e aumentando a área de superfície para ação dos fluidos intestinais. Além disso, possuem um pH baixo (<2,0) no trato digestivo e um intestino longo. Suas brânquias possuem rastros bem desenvolvidos, favorecendo a filtração de partículas em suspensão, como o fitoplâncton (Azim et al., 2005). Ainda a tilápia tem um ótimo desenvolvimento em ambientes com temperaturas variando de 25 a 30°C (El-Sayed, 2019).

Com relação ao seu processamento, a tilápia apresenta um bom rendimento de filé, com uma média de 33%, e sua carne é de excelente qualidade, adequada para filetagem, pois não possui espinhas em forma de "Y" em seu filé. Outros subprodutos derivados do processamento da tilápia incluem farinha de resíduos desengordurados e óleo de tilápia. Segundo Pizato et al. (2012), a tilápia possui uma alta qualidade proteica, com um balanço de aminoácidos essenciais, além de ser rica em minerais importantes para o corpo humano. Outro destaque da produção da tilápia vem de seus diversos híbridos, como a tilápia vermelha (El-sayed, 2019) (Figura 1). E quando bem adaptadas aos sistemas de produção, demonstram um rápido crescimento, são de fácil manejo e têm boa aceitação de alimentos artificiais (Marengoni et al., 2010).

Muitas vezes, os piscicultores preferem essas variantes em relação à espécie original, pelo seu aspecto visual, no qual a cor do corpo tem uma grande

importância econômica (Colihueque e Araneda, 2014). O cultivo da tilápia híbrida vermelha, é muito popular na Ásia pela sua semelhança de sua coloração com espécies marinhas de alto valor no mercado, como o peixe dourado (*Chrysophrys major*) e o pargo (*Lutjanus campechanus*), aumentando sua aceitação e valor (Colihueque e Araneda, 2014).



Figura 1. Exemplar de tilápia híbrida vermelha (*Oreochromis* spp.). Fonte: YUESHUI FISHERY, 2023.

1.3 A masculinização em tilápias

Nas criações de tilápia no Brasil e em algumas regiões do mundo, é comum o uso do hormônio 17- α -metiltestosterona para obter populações compostas principalmente por machos (Tachibana et al., 2004). Essa técnica consiste na manipulação do sexo fenotípico dos peixes por meio do tratamento com esteroides sexuais, especificamente a adição de 17- α -metiltestosterona à ração das larvas. Esse tratamento é realizado antes da diferenciação sexual, durante um período de 21 a 28 dias. O objetivo desse tipo de técnica é produzir populações monossexuais masculinas para engorda, evitando problemas de reprodução descontrolada em viveiros e promovendo maior produtividade, uma vez que os machos apresentam um crescimento maior em ganho de peso em comparação com as fêmeas (Meurer et al., 2003).

Ao avaliar a dosagem mais efetiva do hormônio para a masculinização da tilápia-do-Nilo, Mainardes-Pinto et al. (2000) constataram que a incorporação do hormônio na concentração de 60 mg/kg, durante 30 dias, independentemente do tipo de ração utilizada no experimento, foi a mais eficiente, resultando em 98%

de machos. Neumann, Koberstein e Braga (2009), trabalhando com três linhagens de tilápia-do-Nilo, também obtiveram frequências acima de 90% de machos ao utilizar doses de 60 mg/kg durante 30 dias, em todas as linhagens.

A pesquisa realizada por Gayão (2009) confirmou esses resultados ao utilizar doses de 30 ou 60 mg/kg do hormônio durante 30 dias, obtendo taxas de masculinização de 98,4% e 100%, respectivamente. No entanto, o autor ressalta que a adição de 17- α -metiltestosterona pode causar danos aos hepatócitos e afetar a saúde dos peixes. Foram observadas alterações histológicas no fígado desses peixes, caracterizando uma intoxicação pelo hormônio, sendo mais pronunciada na dose de 60 mg/kg. Portanto, o autor indicou a dosagem de 30 mg/kg como a mais adequada, pois causou menos desorganização na estrutura histológica do fígado desses animais.

Neste sentido, Carvalho e Foresti (1996) encontraram baixas taxas de masculinização ao utilizar concentrações superiores a 50 mg/kg do hormônio por um período de 40 dias. Os autores concluem que essas baixas taxas podem ser resultado do excesso de hormônio, em que a enzima aromatase converte o excesso de andrógeno em estrógeno, resultando em indivíduos geneticamente machos, mas fenotipicamente fêmeas, um processo conhecido como feminilização paradoxal.

Contudo, o uso do hormônio 17- α -metiltestosterona, um esteroide androgênico, é frequentemente alvo de críticas por possíveis danos aos peixes, ao meio ambiente e consumidores (Megbowon e Mojekwu 2014). Para Pandian e Sheela (1995) mais de 99% do hormônio administrado através da dieta é liberado rapidamente na água, contaminando os efluentes e o curso hídrico.

Estudos realizados por Hulak et al. (2008) em sistemas fechados de reversão sexual encontraram níveis de 11,3 nanogramas (ng) de hormônio por mililitro de água. Além disso, Contreras-Sanchez et al. (2001) avaliaram a masculinização de tilápias em viveiros escavados e constataram valores médios de 3,8 ng de hormônio por mililitro de água, 28 dias após o término da alimentação, e valores de 2,8 a 2,9 ng de hormônio por grama de solo, após 84 dias, evidenciando a persistência do hormônio 17- α -metiltestosterona nesse tipo de piscicultura. Esses estudos não relatam toxicidade associada a esses valores, porém é importante ressaltar que o uso indiscriminado de hormônios em

piscicultura ou qualquer outro sistema pode ter impactos negativos no ambiente e na saúde dos organismos.

A Resolução CONAMA 357/2005 classifica as águas em todo o território nacional, mas infelizmente, não menciona os hormônios como contaminantes. Até o momento, não há controle específico para essas substâncias e, portanto, não há indícios dos efeitos adversos aos trabalhadores que manuseiam o hormônio em sistemas de cultivo. Além disso, o uso de hormônios masculinizantes não é aprovado e ainda está em investigação para uso em tilápias pela Food and Drug Administration dos EUA. Países da União Europeia têm padrões mais rigorosos para garantir a produção sustentável e saudável, restringindo a venda e o cultivo de peixes tratados com hormônios (Mlalila et al., 2015).

Os consumidores do Reino Unido, por exemplo, levam em consideração questões de segurança alimentar (Balcombe et al., 2021), e de acordo com a Sainsbury's (2017), compradores de vários varejistas se recusam a adquirir peixes cultivados quando o uso de hormônios está envolvido no processo de produção. Portanto, o mercado consumidor de países como EUA e União Europeia apresenta um grande potencial para os piscicultores brasileiros, desde que eles adequam as exigências desse mercado e não usem hormônios na produção de tilápias.

O estudo do hormônio 17- α -metiltestosterona vai além das questões ambientais, de mercado e sociais, sendo também crucial para a saúde dos peixes, especialmente no estágio final de engorda, o fígado desempenha um papel fundamental. O fígado é considerado um órgão alvo para estudos metabólicos em peixes, pois está envolvido na síntese de proteínas, lipídios, carboidratos e no controle de funções vitais. A adição do hormônio 17- α -metiltestosterona na dieta também resulta em deformidades no fígado, como aparência gordurosa e frágil, com danos aos hepatócitos (Gayão, 2009). Por outro lado, os peixes que não passaram pelo processo de masculinização por meio do uso hormonal mostraram-se mais resistentes e sem alterações hepáticas (Gayão et al., 2013).

Medidas alternativas ao uso de hormônios têm sido exploradas como forma de controle sexual em tilápias. A masculinização por elevação da temperatura da água por exemplo, tem sido amplamente estudada (Tessema et al, 2006; Habibah et al., 2021). Estudos demonstraram que a exposição a temperaturas específicas durante o desenvolvimento embrionário ou larval pode induzir a diferenciação de gônadas masculinas. Um curto período de exposição, geralmente durante a diferenciação gonadal, é suficiente para a masculinização (Baroiller, 1995).

Em temperaturas elevadas nesse período inicial de produção (larvicultura) levam à masculinização da progênie, mesmo em indivíduos geneticamente femininos, através da diferenciação das gônadas (Baroiller e D'Cotta, 2001). Para a tilápia-do-Nilo, temperaturas entre 32 °C e 36,5 °C têm se mostrado eficazes na indução da masculinização (Tessema et al., 2006), enquanto temperaturas abaixo e acima dessa faixa resultam em proporções sexuais desequilibradas, incluindo menor masculinização em temperaturas mais baixas e maior incidência de deformidades em temperaturas mais altas (Zanoni et al., 2013).

Desse modo, a masculinização por temperatura pode oferecer benefícios para a produção de tilápias monosssexuais masculinas na aquicultura, atendendo à demanda por qualidade e saúde dos produtos, bem como à preocupação com os riscos ambientais e de segurança alimentar associados ao uso de hormônios. Encontrar alternativas de controle sexual seguras, sustentáveis e aceitas pelos consumidores é um desafio importante para a indústria aquícola.

1.4 Energia não proteica na nutrição de peixes

Os carboidratos são compostos essenciais constituídos por carbono, hidrogênio e oxigênio, desempenham um papel fundamental na provisão de energia para as células do corpo, especialmente para o cérebro, que requer uma quantidade significativa desse nutriente. Os carboidratos podem ser classificados bioquimicamente em monossacarídeos (como glicose, frutose e galactose), dissacarídeos (como sacarose, maltose e lactose) e polissacarídeos (como amido, celulose e glicogênio) (Nelson e Cox, 2017).

Nutricionalmente, carboidratos são classificados como polissacarídeos de reserva (como o amido) ou não fibrosos, e polissacarídeos estruturais ou não amiláceos (como a celulose, hemicelulose e lignina). As plantas sintetizam esses carboidratos por meio do processo de fotossíntese, sendo o amido a principal fonte de reserva energética em todo o reino vegetal. O amido é composto por duas macromoléculas, a amilose (formada por polímeros lineares de ligações glicosídicas α -1,4) e a amilopectina (formada por polímeros de glicose unidos por ligações α -1,4 e α -1,6), que conferem uma estrutura ramificada (Voet e Voet, 2006).

A absorção dos carboidratos ocorre na forma de monossacarídeos, por meio de um transportador ativo de monossacarídeo que é acoplado ao sódio (Na^+). A absorção é dependente de um gradiente criado pelo sistema de transporte ativo, conhecido como bomba de sódio e potássio (Na^+/K^+). Essa bomba estabelece um gradiente favorável para a entrada de sódio no enterócito, juntamente com o monossacarídeo transportado. A partir do enterócito, o monossacarídeo difunde-se para os capilares sanguíneos presentes nas vilosidades intestinais (Baldisserotto, 2013). Após a ingestão, os carboidratos podem ser armazenados na forma de glicogênio no fígado e nos músculos, ou convertidos em triglicerídeos no fígado e transferidos para o tecido adiposo para armazenamento. O glicogênio é encontrado principalmente no fígado, sendo utilizado nos músculos brancos dos peixes por meio da glicólise para sustentar os movimentos de natação (Tacon, 1987).

A utilização de carboidratos por peixes tem despertado interesse na pesquisa, devido à capacidade de reduzir o catabolismo de proteínas para a síntese de glicose, melhorar a eficiência de retenção proteica e diminuir as perdas metabólicas de nitrogênio no ambiente (Wilson, 1994). Além disso, os carboidratos apresentam um grande potencial de utilização em dietas de peixes devido à disponibilidade de suas fontes, como os produtos e subprodutos da agroindústria.

Embora os peixes geralmente tenham níveis plasmáticos de insulina mais elevados em comparação com os mamíferos, eles têm menor sensibilidade à insulina e são considerados intolerantes à glicose (Moon, 2001). Portanto, os peixes são, na verdade, mais propensos à hiperglicemia do que os mamíferos,

o que também é considerado relacionado a muitas doenças metabólicas dos peixes (Prisingkorn et al., 2017). Foi relatado que a hiperglicemia causa deposição de lipídios em peixes (Luo et al., 2020), levando ao estresse oxidativo. Ainda, Zhou et al. (2022) descobriram que a complexidade dos carboidratos afeta significativamente o metabolismo dos peixes e a saúde do fígado devido a variações na absorção e utilização de carboidratos.

A exigência de carboidratos para as espécies de peixes é variável de acordo com a temperatura ambiente, tipo de carboidrato e seu processamento (Wilson, 1994), sendo ainda dificultada pelo fato de algumas espécies priorizarem a síntese de glicose por meio da gliconeogênese a partir de lipídios e proteínas (Wilson, 1994).

A tilápia do Nilo utiliza melhor polissacarídeos e dissacarídeos do que monossacarídeos. A inclusão de ingredientes ricos em carboidratos em dietas comerciais para peixes ainda é um tema controverso, considerando a falta de valores máximos e mínimos de sua utilização em dietas para as diferentes espécies de peixes (NRC, 2011).

Um ponto importante a ser considerado na inclusão de carboidratos na dieta de peixes é o efeito poupador de proteína (ou *protein-sparing effect*) (Boonanuntanasarn et al., 2018). Esse efeito ocorre devido à mobilização de energia proveniente dos carboidratos, permitindo que a maior parte da fração proteica da dieta seja utilizada para o crescimento muscular. Além disso, os carboidratos podem melhorar a utilização dos nutrientes presentes nas dietas por meio de processos tecnológicos como os tratamentos térmicos. A extrusão e a peletização são processos amplamente utilizados na aquicultura, e eles promovem modificações benéficas, como a remoção de fatores antinutricionais presentes em ingredientes de origem vegetal, melhorando a eficiência nutricional das dietas para peixes (Hardy, 2010).

Em particular, a extrusão resulta em amidos modificados com maior solubilidade em água e alta capacidade de absorção de água, devido à gelatinização. O amido gelatinizado é mais eficientemente aproveitado, resultando em menor liberação de nitrogênio para o meio aquático (Hardy e Kaushik, 2021). Entretanto, é crucial exercer cautela durante a formulação e

processamento, uma vez que este pode aumentar a disponibilidade energética dos ingredientes, potencialmente diminuindo o consumo alimentar dos peixes devido ao aumento do teor energético da dieta. Isso pode resultar em maior acúmulo de gordura e sobrecarga glicêmica. (Tacon e Metian, 2015).

Os lipídios são compostos biológicos heterogêneos que são solúveis em solventes orgânicos e insolúveis ou pouco solúveis em água. Eles consistem em átomos de carbono, oxigênio e hidrogênio e podem ser divididos em cinco classes principais: ácidos graxos, triglicerídeos, fosfolipídios, esteróides e esfingolipídios. Para os peixes, os lipídios desempenham um papel nutricional importante. Eles atuam como fonte de energia metabólica para o crescimento e eficiência alimentar, contribuem para a saúde geral, funções renais, desenvolvimento neural e visual, reprodução e qualidade do filé (Tocher, 2003). Além disso, os lipídios são fonte de ácidos graxos essenciais necessários para um desenvolvimento adequado, proporcionam maior palatabilidade aos alimentos, servem como veículo para a absorção de vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) e esteróis, e desempenham um papel importante na estrutura das membranas biológicas, na forma de fosfolipídios e esteróis (Tocher, 2006).

No processo de absorção, os lipídios são afetados pelos sais biliares produzidos pelo fígado. Esses sais têm uma ação detergente, separando os lipídios em pequenos glóbulos de gordura chamados micelas. A formação das micelas permite que os ácidos graxos de cadeia longa e monoglicerídeos entrem em contato com a membrana apical dos enterócitos, facilitando a emulsificação ou solubilização dos produtos da digestão dos lipídios no quimo presente no intestino (Cyrino, Urbinati e Fracalossi, 2004). Essas substâncias são absorvidas pelos enterócitos por difusão e incorporadas a lipoproteínas, colesterol, fosfolipídios e vitaminas lipossolúveis, que se difundem para o sangue. Os ácidos graxos de cadeia curta, em sua maioria hidrossolúveis, são absorvidos pelos enterócitos através da bicamada lipídica da membrana apical e, em seguida, lançados nos capilares sanguíneos (Baldisserotto, 2013).

No organismo, os lipídios são transportados pelos capilares sanguíneos até o fígado, onde sofrem transformações ou são armazenados na forma de tecido adiposo. O excesso de lipídios ou carboidratos disponíveis na dieta pode levar a distúrbios metabólicos tóxicos, interrompendo esse ciclo normal e

resultando em acúmulo de gordura no fígado, conhecido como esteatose hepática (Gayão et al., 2013; Coutinho et al., 2018).

Para os peixes, os ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs) das séries n-3 (linolênico) e n-6 (linoleico), conhecidos como ômega-3 e ômega-6, são essenciais, uma vez que os peixes não conseguem sintetizá-los, pela ausência de dessaturases específicas (NRC, 2011). Portanto, é necessário fornecê-los por meio da dieta. Os ácidos graxos presentes nos tecidos dos peixes refletem o perfil dos ácidos graxos dos alimentos consumidos, já que os peixes não são capazes de sintetizá-los (Tocher et al., 2006).

O desenvolvimento de dietas com menor custo e ambientalmente sustentáveis tem sido uma prioridade para os pesquisadores, e o uso de lipídios tem sido estudado como forma de economizar proteína nas dietas de peixes. Pesquisas têm demonstrado que o aumento da concentração de lipídios na dieta, até certo ponto, resulta em melhor aproveitamento da proteína pelos peixes, melhora nos índices de utilização alimentar e maior crescimento (Borba, Fracalossi e Pezzato, 2006; Honorato et al., 2010; Almeida et al., 2011).

De maneira geral, os lipídios são bem utilizados por todas as espécies de peixes, mas são especialmente importantes para peixes carnívoros de água fria e marinhos, que têm pouca ou nenhuma capacidade de utilizar carboidratos como fonte de energia (NRC, 2011). Por esse motivo, os peixes carnívoros têm uma maior exigência de lipídios em suas dietas, em comparação com animais onívoros e herbívoros, e suas dietas podem conter níveis mais elevados desse nutriente (Wilson, 1994).

Em geral recomenda-se a inclusão de gordura entre 5% e 10% nas dietas de peixes de clima tropical (Wilson, 1994). É importante ressaltar que uma característica das tilápias é o acúmulo excessivo de tecido adiposo na cavidade abdominal, o que reduz a porcentagem de rendimento de filé e diminui o valor comercial do peixe (Meurer et al., 2003). O filé é o principal produto obtido da produção de tilápia-do-Nilo, e seu rendimento melhorou com a inclusão de 5,9% de lipídios, sem afetar a porcentagem de gordura e o desempenho dos peixes (Boscolo et al., 2004).

Eventualmente, quando carboidratos e lipídios são adicionados às dietas, eles podem desempenhar a função de poupar proteínas para o suprimento de energia, determinando a eficiência na utilização da proteína para o crescimento muscular (Fracalossi e Cyrino, 2012). Além disso, proporções adequadas de carboidratos e lipídios podem ter um efeito sinérgico nos peixes, resultando em um melhor desempenho de crescimento (Li et al., 2019b).

Portanto, estudos têm sido realizados para avaliar a relação adequada entre CHO/LIP e seu impacto no desempenho e na saúde dos peixes (Boonanuntanasarn et al., 2018; Kabir et al., 2019). Por exemplo, um estudo conduzido por Sandre et al. (2017) avaliou o desempenho de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) (espécie onívora), na fase inicial de crescimento (peso entre 10 e 250g), alimentados com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos (41%, 46% e 51%) e lipídios (4% e 8%) ao longo de 120 dias. Os autores demonstraram que a dieta ideal para o cultivo desses juvenis consiste em 46% de carboidratos e 4% de lipídios, resultando em uma alta relação de CHO/LIP de 11,5. Essa relação não comprometeu o desempenho dos peixes nem causou acúmulo excessivo de gordura, permitindo que eles utilizassem eficientemente a proteína para o crescimento.

Outro estudo, Coutinho et al. (2018) avaliaram diferentes relações de carboidratos e lipídios em dietas extrusadas para tilápias do Nilo em tanques-rede. Os resultados indicaram que o desempenho dos peixes é afetado pelo desequilíbrio dessa relação. A relação de carboidratos/lipídios de 7,83 (43% de carboidratos e 7% de lipídios) atendeu melhor às demandas de energia da tilápia-do-Nilo. Os autores observaram que a utilização de 47% de carboidratos, considerando alta, mesmo para uma dieta comercial extrusada, estava próxima do limite que a tilápia poderia utilizar. Em sistemas de viveiros, Kabir et al. (2019) realizaram um estudo com tilápias de 160 a 500g e concluíram que a melhor relação de CHO/LIP foi de 18,08, com 61,5% de carboidratos e 3,4% de lipídios, para uma proteína digestível de 25,5%.

No entanto, a relação de CHO/LIP em dietas para peixes carnívoros segue uma tendência oposta. Li et al. (2019a) estudaram os efeitos dos lipídios e carboidratos na dieta de juvenis de uma espécie carnívora, a garoupa híbrida (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂). Neste estudo, foram

investigadas nove dietas com teores isoprotéicos, contendo diferentes níveis de carboidratos (8%, 12% e 16%) e lipídios (7%, 10% e 13%). Esses autores relatam que uma combinação de 8% de carboidratos e 10% de lipídios, resultando em uma relação de CHO/LIP de 0,8, foi ideal para o crescimento dos juvenis de garoupa. Portanto, é importante considerar limites de inclusão para maximizar o uso de proteínas, pois níveis mais elevados de carboidratos e lipídios estão relacionados a um declínio nos parâmetros de desempenho.

Além do desempenho, outro importante fator relacionado ao desequilíbrio nutricional das dietas (principalmente na relação de CHO/LIP), é o impacto na saúde hepática dos peixes. Em sistemas de criação intensiva, esse desequilíbrio tem agravado as condições de morbidade, pois a alimentação com um balanço nutricional inadequado resulta em desequilíbrio no metabolismo energético dos peixes, levando ao acúmulo de lipídios no citoplasma dos hepatócitos e causando alterações severas de degeneração gordurosa, também conhecida como esteatose hepática (Li et al., 2014; Zhang et al., 2014). Essa doença é caracterizada pela presença excessiva de lipídios no fígado e ocorre quando a quantidade de triglicerídeos excede sua capacidade de degradação metabólica ou liberação como lipoproteínas (Silva e Gonçalves, 2008).

O comprometimento fisiológico hepático nos peixes, especialmente em condições de estresse encontradas em sistemas de criação intensiva, podem resultar na depleção imunológica dos animais, tornando-os mais suscetíveis a surtos de doenças causados por agentes oportunistas (Belo et al., 2014). O fígado desempenha um papel biológico importante no sistema imune, abrigando células de defesa residentes, como os linfócitos natural killers (NK) e as células de Kupffer, além de participar na regulação da produção de proteínas reativas da fase aguda (Gabay e Kushner, 1999). As concentrações dessas proteínas sofrem variações significativas quando expostas a lipopolissacarídeos bacterianos (LPS) (Cray et al., 2010), o que destaca o fígado como um importante local de regulação do sistema imune inato durante processos infecciosos e inflamatórios.

Diante desse cenário, torna-se necessária a realização de mais estudos para obtenção de uma melhor compreensão dos benefícios e dos problemas relacionados ao uso de diferentes relações de CHO/LIP como poupadores de

energia da proteína, principalmente na fase de engorda. O fornecimento inadequado de níveis energéticos elevados pode levar ao desenvolvimento de esteatose hepática e afetar diretamente a composição corporal dos peixes (Enes et al., 2011; Li et al., 2013).

1.5. Análise econômica na produção de tilápias

A tilápia é uma espécie amplamente cultivada na aquicultura devido à sua adaptabilidade, rápido crescimento e crescente demanda no mercado global de pescado (FAO, 2022). Nesse contexto, realizar a análise econômica na produção de tilápia desempenha um papel crucial para compreender os aspectos financeiros e lucrativos relacionados a essa atividade.

A tilapicultura é uma atividade econômica que apresenta desafios para os produtores, como o investimento, aumento dos custos de produção, variações nos preços de venda (Ayroza et al., 2011; Costa et al., 2017). Essas variações constantes podem comprometer a produção e alterar o panorama geral do setor. O estudo de Costa, Sabbag e Martins (2018) avaliando a rentabilidade do cultivo de tilápia demonstrou que o conhecimento dos custos de produção, das receitas geradas e dos indicadores econômicos é fundamental para orientar as decisões dos produtores e maximizar a rentabilidade do negócio.

A importância da análise econômica pode identificar os principais determinantes dos custos de produção e desenvolver estratégias de manejo adequadas na tilapicultura. Assim, a compreensão dos aspectos econômicos, como os custos de alimentação, mão de obra e infraestrutura, permite aos produtores otimizar a eficiência produtiva e tomar decisões informadas para melhorar a rentabilidade da produção de tilápia.

Entretanto, conforme destacado por Kubo (2014), ainda é necessário melhorar a organização do setor produtivo de modo a compartilhar informações e conhecimentos gerados. Além disso, é preciso melhorar a qualidade do pescado e aumentar o desenvolvimento tecnológico para reduzir o custo de produção e obter compreensão do sistema produtivo no que diz respeito aos aspectos econômicos.

Assim, a implantação de sistemas de produção em pisciculturas deve ser cuidadosamente planejada e precedida por pesquisas e estudos que identifiquem os melhores sistemas de produção, as espécies mais adequadas e as tecnologias a serem utilizadas em cada contexto. Caso contrário, em vez de resultar em lucros, a atividade pode gerar prejuízos aos produtores (Sousa, Brito Neto e Leite, 2016).

Dessa forma, a análise econômica da produção de tilápias abrange uma ampla gama de tópicos, incluindo produção, viabilidade financeira, eficiência econômica, impacto socioeconômico e perspectivas futuras da indústria da tilápia (Costa, Sabbag e Martins, 2018). A avaliação se determinadas mudanças são ou não rentáveis possibilita aos piscicultores tomar decisões mais informadas sobre investimentos e tecnologias de produção a serem adotadas em suas propriedades (Feitoza, Sonoda e Souza, 2018). Dessa forma, os estudos econômicos desempenham um papel crucial em orientar produtores, investidores e formuladores de políticas na tomada de decisões informadas no setor da aquicultura de tilápias.

A necessidade de melhorar a organização do setor produtivo da tilápia, visa compartilhar informações e conhecimentos gerados. Isso sugere a importância de estabelecer canais de comunicação eficientes entre os produtores, pesquisadores e outros atores do setor para trocar experiências e conhecimentos técnicos. Ainda, para melhorar a eficiência do sistema de produção de tilápia, é fundamental adotar medidas para reduzir os gastos com alimentação, que geralmente representam o maior custo de insumos nesse contexto (Garcia et al., 2013; Ayroza et al., 2014). Essa abordagem não apenas contribui para otimizar os recursos financeiros, mas também pode aumentar a aceitação do produto, especialmente no exigente mercado europeu. Ao garantir ao consumidor um produto mais saudável e seguro do ponto de vista ambiental, fortalece-se a confiança e o interesse pelo cultivo de tilápia (Boyd, 2020).

O gerenciamento adequado dos custos e receitas, bem como a análise do custo de produção são elementos cruciais para a análise econômica no cultivo de tilápias principalmente em métodos alternativos de produção. A melhoria desses aspectos pode contribuir para o desenvolvimento tecnológico, a redução

dos custos de produção, a obtenção de melhores resultados econômicos e o crescimento sustentável da indústria da tilápia.

Em suma, a análise econômica na produção de tilápias desempenha um papel crucial para o desenvolvimento e sucesso desse setor. Por meio dela, é possível obter uma visão abrangente dos aspectos financeiros envolvidos na produção, auxiliando na tomada de decisões estratégicas e contribuindo para a sustentabilidade econômica da aquicultura no cultivo tilápias, principalmente em métodos alternativos de produção.

1.6 Hipóteses

Com base nas evidências encontradas na revisão da literatura, foram formuladas as seguintes hipóteses:

- A utilização de 60 mg de hormônio 17- α -metiltestosterona/kg na dieta resultará em maior sobrevivência e desenvolvimento das larvas de tilápias vermelhas híbridas masculinizadas em comparação com as larvas masculinizadas pelo método alternativo por temperatura ou a não masculinização.

- Tilápias vermelhas híbridas masculinizadas por hormônio apresentarão melhor desempenho e eficiência de utilização de nutrientes e energia na fase de crescimento em tanques-rede em comparação as tilápias masculinizadas por e temperatura e não masculinizadas

- Tilápias vermelhas híbridas masculinizadas por hormônio alimentadas com dietas extrusadas contendo diferentes relações entre carboidratos e lipídios apresentarão diferenças no desempenho, saúde hepática e eficiência de utilização de nutrientes e energia em relação ao tratamento com a masculinização por temperatura e a não masculinização.

- A masculinização com hormônio 17- α -metiltestosterona e o desequilíbrio das relações de carboidratos e lipídios nas dietas afetarão os parâmetros bioquímicos sanguíneos e/ou causarão alterações nas variáveis morfo-somáticas, tanto nos grupos de tilápias vermelhas híbridas masculinizados por temperatura quanto aos não masculinizados.

- A produção de tilápias masculinizadas por temperatura e não masculinizadas em tanques-rede na fase de crescimento de tilápias vermelhas híbridas apresentam maior aceitabilidade dos compradores, unidas à diminuição dos altos custos de manejo em sistemas tradicionais de masculinização pelo hormônio 17- α -metiltestosterona, considerando os custos de produção e lucratividade.

1.7 Referências bibliográficas

Almeida, L.C., Avilez, I.M., Honorato, C.A., Hori, T.S.F. Moraes, G. Growth and metabolic responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diferente levels of protein and lipid. **Aquaculture Nutrition**, v.17, p. 253-262, 2011.

Ayroza, D.M.M.R., Garcia, F., Ayroza, L.M.S., Furlaneto, F.P.B., Ferraudo, A.S., Mercante, C.T.J. **Environmental conditions, fish disease, management and economic evaluation of tilapia cages in a Brazilian hydroelectric reservoir**. Tilapia: biology, management practices and human consumption. Nova Science Publishers, New York, 2014. p. 119-145.

Ayroza, L.M.S.; Romagosa, E.; Rezende Ayroza, D.M.; Scorvo Filho, J.D.; Salles, F.A. Costs and profitability of juvenile Nile Tilapia breeding using different stocking densities in net cages. **Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science**, v. 40, n. 2, p. 231–239, 2011.

Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., Van Dam, A.A., Beveridge, M.C.M. **Periphyton: ecology, exploitation and management**. CABI Publishing. Cambridge, 2005. 319 p.

Balcombe, K., Bradley, D., Fraser, I. Do consumers really care? An economic analysis of consumer attitudes towards food produced using prohibited production methods. **Journal of Agricultural Economics**, v. 72, p. 452-469, 2021.

Baldisserotto, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 3rd edn. UFSM, Santa Maria. 2013. 377p.

Baroiller, J.F., D'Cotta, H. Environment and sex determination in farmed fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 130, p. 399-409, 2001.

Baroiller, J.F. Temperature and sex-ratio control in fish: Review and perspectives. *Aquaculture*, v. 133, p. 1-20, 1995.

Belo, M.A.A., Moraes F.R., Yoshida L., Prado E.J.R., Moraes J.R.E., Soares V.E. Silva M.G. Deleterious effects of low level of vitamin E and high stocking density on the hematology response of pacus, during chronic inflammatory reaction. *Aquaculture* v. 422, p. 124-12, 2014.

Boonanuntanasarn, S., Kumkhong, S., Yoohat, K., Plagnes-Juan, E., Burel, C., Marandel, L., Panserat, S. Molecular responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates. *Aquaculture*, v. 482, p. 117-123, 2018.

Borba, M.R., Fracalossi, D.M., Pezzato, L.E. Dietary energy requirement of piracanjuba fingerlings, *Brycon orbignyanus*, and relative utilization of dietary carbohydrate and lipid. *Aquaculture Nutrition*, v. 12, p. 183-191, 2006.

Boscolo, W.R., Hayashi, C., Meurer, F., Feiden, A., Bombardelli, R.A. Digestibilidade aparente da energia e proteína das farinhas de resíduo da filetagem da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) e da corvina (*Plagioscion squamosissimus*) e farinha integral do camarão canela (*Macrobrachium amazonicum*) para a tilápia-do-Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, p. 8-13, 2004.

Boyd, C.E., D'Abramo, L.R., Glencross, B.D., Huyben, D.C., Juarez, L.M., Lockwood, G.S., McNevin, A.A., Tacon, A.G.J., Teletchea, F., Tomasso, J.R., Craig, S.T., Valenti, W.C. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal World Aquaculture Society*, v. 51, p. 578–633, 2020.

Carvalho, E.D., Foresti, F. Reversão de sexo em tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus* Trewavas, 1983, induzida por 17 α metilttestosterona: proporção de sexo e histologia das gônadas. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 56, n. 2, p. 249-262, 1996.

Castagnolli, N. **Criação de peixes de água doce**. Funep, São Paulo, p. 81-82, 1992.

Colihueque, N., Araneda, C. Appearance traits in fish farming: progress from classical genetics to genomics, providing insight into current and potential genetic improvement. **Frontiers in genetics**, v. 5, p. 251, 2014.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE), 2005. **Padrões da qualidade para os parâmetros monitorados na rede de monitoramento, segundo Resolução Conama 357/2005**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acesso em: 19 out. 2019.

Contreras-Sanchez, W.M., Fitzpatrick, M.S., Schreck, C.B. Fate of methyl testosterone in the pond environment: detection of Mt in pond soil from a CRSP site. **Eighteenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon**, p. 79-82, 2001.

Costa, J.I.D., Sabbag, O.J., Ayroza, L.M.D.S., Martins, M.I.E.G. Productive performance and economic evaluation of tilapia stocked in different times of the year. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 46, 553-559. 2017.

Costa, J.I., Sabbag, O.J., Martins, M.I.E.G. Economic evaluation of tilapia production in cages in the middle Paranapanema-SP. **Costs and Agribusiness On Line**, v. 14, n. 4, p. 259-281, 2018.

Coutinho, J.J.O., Neira, L.M., Sandre, L.C.G., Costa, J.I., Martins, M.I.E.G., Portella, M.C., Carneiro, D.J. Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. **Aquaculture**, v. 497, p. 520-525, 2018.

Cray, C., Besselsen D.G., Hart, J.H., Yoon, D., Rodriguez, M., Zaias, J.N.A., Altman N.H. Quantitation of Acute Phase Proteins and Protein Electrophoresis in Monitoring the Acute Inflammatory Process in Experimentally and Naturally Infected Mice. **Comparative Medicine** v. 60, p. 263-271, 2010.

Cyrino, J. E. P., Urbinati, E. C., Fracalossi, D. M., Castagnolli, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: Tec Art 2004. 533p.

El-Sayed, A.F.M. **Tilapia culture, 2nd edn.** Elsevier Inc, Academic Press, London. 2019. 348 p.

Enes, P., Panserat, S., Kaushik, S., Oliva-Teles, A. A dietary carbohydrate utilization by European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles. **Reviews in fisheries science**, v. 19, p. 201-215, 2011.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **The State of World Fisheries and Aquaculture.** Towards Blue Transformation. Rome, FAO. 2022.

Feitoza, D.L.S., Sonoda, D.Y.; Souza, L.A. Risco da rentabilidade em pisciculturas de tambaqui nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima. **Revista iPecege**, v. 4, n. 4, p. 40-53, 2018.

Fracalossi, D.M., Cyrino, J.E.P. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira.** 2012. 375p.

Gabay, C., Kushner I. 1999. Acute-phase proteins and other systemic responses to inflammation. **New England Journal Medicine**, v. 340, p. 448-454, 1999.

Garcia, F., Romera, D.M., Gozi, K.S., Onaka, E.M., Fonseca, F.S., Schalch, S. H., Candeira, P.G., Guerra L.O.M., Carmo, F.J., Carneiro, D.J., Martins, M.I.E.G., Portella, M.C. Stocking density of Nile tilapia in cages placed in a hydroelectric reservoir. **Aquaculture**, v. 410, p. 51-56, 2013.

Gayão, A.L.B.A. **Nutrição e reversão sexual de Tilápia-do-Nilo: parâmetros produtivos e estrutura do fígado.** 100 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da UNESP, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

Gayão, A.L.B.A., Buzollo, H, Fávero, G.C., Silva Junior, A.A., Portella, M. C., Cruz, C., Carneiro, D.J. Histologia hepática e produção em tanques-rede de tilápia-do-Nilo masculinizada hormonalmente ou não masculinizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 991-997, 2013.

Habibah, A.N., Sharifi, A.R., Wessels, S., Wilting, J., Hoerstgen-Schwark, G., Holtz, W. Growth and gonadal development of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to sex reversing thermal treatment. **Aquaculture**, v. 531, 735865, 2021.

- Hardy, R.W., Kaushik, S.J. (Eds.). **Fish nutrition. Academic press.** 2021.
- Hardy, W. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. **Aquaculture research**, v. 41, n. 5, p. 770-776, 2010.
- Honorato, C.A., Almeida, L.C., Nunes, C.S., Carneiro, D.J., Moraes, G. Effects of processing on physical characteristics of diets with distinct levels of carbohydrates and lipids: the outcomes on the growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 16, p. 91-99, 2010.
- Hulak, M., Psenicka, M., Coward, K., Linhart, O. A quantitative study of testicular germ cell populations in masculinized neomale Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). **Cell biology international**, v. 32, p. 515-524, 2008.
- Kabir, K.A., Verdegem, M.C.J., Verreth, J.A.J., Phillips, M.J., Schrama, J.W. Effect of dietary protein to energy ratio, stocking density and feeding level on performance of Nile tilapia in pond aquaculture. **Aquaculture**, v. 511, p. 634-200, 2019.
- Kubo, E. Pescados e derivados. In: MADI, L. F.; REGO, R. (Org.). **Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil: agroindústria de alimentos.** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, v. 4 p. 75-84, 2014.
- Li, J.Y., Zhang, D.D., Xu, W.N., Jiang, G.Z., Zhang, C.N., Li, X.F., Liu, W.B. Effects of dietary choline supplementation on growth performance and hepatic lipid transport in blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fed high-fat diets. **Aquaculture**, v. 434, p. 340-347, 2014.
- Li, S., Li, Z., Chen, N., Jin, P., Zhang, J. Dietary lipid and carbohydrate interactions: implications on growth performance, feed utilization and non-specific immunity in hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *E. lanceolatus*♂). **Aquaculture**, v. 498, p. 568-577, 2019a.
- Li, S., Li, Z., Zhang, J., Sang, C., Chen, N. The impacts of dietary carbohydrate levels on growth performance, feed utilization, glycogen accumulation and hepatic glucose metabolism in hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *E. lanceolatus*♂). **Aquaculture**, v. 512, p. 734-351, 2019b.

Li, X.F., Wang, Y., Liu, W.B., Jiang, G.Z., Zhu, J. Effects of dietary carbohydrate/lipid ratios on growth performance, body composition and glucose metabolism of fingerling blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. **Aquaculture Nutrition**, v. 19, n. 5, p. 701-708, 2013.

Luo, Y., Hu, C.T., Qiao, F., Wang, X.D., Qin, J.G., Du, Z.Y., Chen, L.Q. Gemfibrozil improves lipid metabolism in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed a high-carbohydrate diet through peroxisome proliferator activated receptor- α activation. **General and Comparative Endocrinology**, v. 296, p. 113537, 2020.

Mainardes-Pinto, C.S.R., Fenerich-Verani, N., Campos, B.E.S.D., Silva, A.L.D. Masculinização da tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*, utilizando diferentes rações e diferentes doses de 17 α -metiltestosterona. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 654-659, 2000.

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**, v. 8, n. 4, p. 397-403, 2010.

Marengoni, N.G., Albuquerque, D.M., Mota, F.L.S., Passos Neto, O.P., Silva Neto, A.A., Silva, A.I.M., Ogawa, M. Desempenho produtivo de tilápia vermelha submetida à dieta contendo probiótico durante a alevinagem em água mesohalina. **Revista Archivos de Zootecnia**, v. 59, n. 227, p. 403-414, 2010.

Megbowon, I., Mojekwu, T.O. Tilapia sex reversal using methyl testosterone (MT) and its effect on fish, man and environment. **Biotechnology**, v. 13, p. 213-216, 2014.

Meurer, F., Hayashi, C., Boscolo, W.R. Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1801-1809, 2003.

Mlalila, N., Mahika, C., Kalombo, L., Swai, H., Hilonga, A. Human food safety and environmental hazards associated with the use of methyltestosterone and other steroids in production of all-male tilapia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 7, p. 4922-4931, 2015.

Moon, T.W. Glucose intolerance in teleost fish: fact or fiction?. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 129, n. 2-3, p. 243-249, 2001.

Nelson, D.L., Cox, M.M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 7th ed. New York: W.H. Freeman and Company, 2017.

Neumann, E., Koberstein, T.C.R.D., Braga, F.M.D.S. Desempenho de três linhagens de tilápia submetidas ao tratamento com 17- α -metiltestosterona em condições ambientais não controladas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 973-979, 2009.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington: National Academy Press. 2011. 360 p. PEIXE BR (Associação Brasileira de Piscicultura). Anuário Peixe BR da piscicultura 2019. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura, 2023.

Pandian, T.J., Sheela, S.G. Hormonal induction of sex reversal in fish. **Aquaculture**, v. 138, n. 1-4, p. 1-22, 1995.

Pizato, S., Kraieski, J., Sarmento, C., Prentice, C. Avaliação da qualidade tecnológica apresentada por tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) enlatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 667-674, 2012.

Prisingkorn, W., Prathomya, P., Jakovlić, I., Liu, H., Zhao, Y.H., Wang, W.M. Transcriptomics, metabolomics and histology indicate that high-carbohydrate diet negatively affects the liver health of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). **Bmc Genomics**, v. 18, p. 1-15, 2017.

Sainsbury's. **Animal Health & Welfare Report**. <https://www.about.sainsburys.co.uk/~media/Files/S/Sainsburys/pdf.downloads/animal-health-and-welfare.pdf>. 2017.

Sandre, L.C.G., Buzollo, H., Nascimento, T.M.T., Neira, L.M., Jomori, R.K., Carneiro, D.J. Productive performance and digestibility in the initial growth phase of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diets with different carbohydrate and lipid levels. **Aquaculture Reports**, 6, 28-34, 2017.

Santos, V.B.A. A disponibilidade de diferentes linhagens de tilápias. **Pesquisa e Tecnologia** v. 3, n. 1, p. 1-4, 2006.

Silva, L. B., Gonçalves, P. Degeneração gordurosa (lipidose hepática). **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 1, n. 10. p. 01-05. 2008.

Sousa, A.S.C., Brito Neto, E., Leite, M.A. Piscicultura e o custo de produção de peixe redondo em tanques escavado. **Qualia: A ciência em movimento**, v. 2, n. 1, p. 1-25, 2016.

Tachibana, L., Castagnolli, N., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Valle, J.B., Siqueira, M.R. Desempenho de diferentes linhagens de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de reversão sexual. **Acta scientiarum, Animal sciences**. v. 26, n. 3, p. 305-311, 2004.

Tacon, A.G., Metian, M. Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2015.

Tacon, A.G. **The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp; a training manual**. 1: The essential nutrients. 1987.

Tessema, M., Müller-Belecke, A., Hörstgen-Schwark, G. Effect of rearing temperatures on the sex ratios of *Oreochromis niloticus* populations. **Aquaculture**, v. 258, n. 1-4, 270-277. 2006.

Tocher, D.R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Reviews in fisheries science**, v. 11, n. 2, p. 107-184, 2003.

Tocher, D.R., Zheng, X., Schlechtriem, C., Hastings, N., Dick, J.R. Tale, A.J. Highly unsaturated fatty acid synthesis in marine fish: cloning, functional characterization, and nutritional regulation of fatty acyl $\Delta 6$ desaturase of atlantic cod (*Gadus morhua* L.). **Lipids**, v. 41, p. 1003-1016, 2006.

Voet, D., Voet, J. **Bioquímica**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 1616p.

Wilson, R.P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, v. 124, p. 67-80, 1994.

Yueshui Fishery. Yueshui Fishery. Disponível em: http://www.yueshuifishery.com/product_37165.html. Acesso em: 16 jun. 2023.

- Zaniboni Filho, E. Piscicultura de espécies exóticas de água doce. In: Poli, C. R.; Poli, A.T. B.; Andreatta, E. R.; Beltrame, E., 2004. **Aquicultura, experiências brasileiras**. 1. ed. Florianópolis: Multitarefa, 2004. 456p.
- Zanoni, T.B., Lucas, L.L., Pedroso, F.L., Carvalho, L.R., Ribeiro, R.P. Temperature effects on sex reversal, survival, and deformities in Nile tilapia larvae. **Journal of the World Aquaculture Society**, 44(2), 277-284. 2013.
- Zhang D., Lu K., Dong Z., Jiang G., Xu W., Liu W. The effect of exposure to a high-fat diet on micro RNA expression in the liver of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). PLoS One, v. 9, n. 5, e96132, 2014.
- Zhou, W.H., Wu, C.C., Limbu, S.M., Li, R.X., Chen, L.Q., Qiao, F., Luo, Y., Zhang, M.L., Han, T. Du, Z. Y. (2022). More simple more worse: simple carbohydrate diets cause alterations in glucose and lipid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 550, p. 737857, 2022.
- Zimmermann, S. Incubação artificial: técnica permite a produção de tilápias do Nilo geneticamente superiores. **Panorama da Aquicultura** v. 9, p.15-21, 1999.

CAPÍTULO 2. Produção de alevinos de tilápias híbridas vermelhas masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixo e alto nível proteico

Denis William Johanssem CAMPOS ^{1*}, Naiara Portolani ROSSI ¹, Magdiel Santos OLIVEIRA ¹, Andressa Tellechea RODRIGUES ², Dalton José CARNEIRO ^{1,2}

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus Jaboticabal (UNESP/FCAV), Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, S/N, 14884-900 Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

² Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP), Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, S/N, 14884-900 Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

*Autor correspondente: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus Jaboticabal (UNESP/FCAV), Avenida: Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail address: campos.dwj@gmail.com (D.W.J. Campos).

Resumo: O hormônio 17- α -metiltestosterona é frequentemente usado na criação inicial de tilápias para promover a masculinização dos juvenis, mas pode prejudicar a saúde dos peixes. Assim, é crucial buscar alternativas ao seu uso. Arelado a este fator, uma alimentação adequada, especialmente com teores proteicos adequados, também é essencial para garantir a qualidade dos juvenis nesta fase inicial de produção. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho da produção de larvas de tilápias híbridas (*Oreochromis* spp.) masculinizados por hormônio, por temperatura ou não masculinizados, submetidos a dietas com dois diferentes níveis proteicos. Foram avaliados durante 30 dias, larvas que foram masculinizadas por hormônio (60 mg de 17- α -metiltestosterona/kg de dieta), masculinizadas por temperatura e as não masculinizadas. E cada grupo foi alimentado com uma dieta comercial farelada contendo aproximadamente 52% de proteína bruta e uma dieta comercial microextrusada contendo 44% de proteína bruta (dieta com redução da proteína). Foram mensurados parâmetros físico-químicos da água, além dos parâmetros de desempenho e análise histológica hepática. Os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de variância. Foi empregado análise de

variância e para verificar diferenças significativas através do teste Tukey ao nível de significância de 5% de probabilidade. Os parâmetros físico-químicos da água mantiveram-se ideais para a produção inicial das larvas. Contudo, não houve diferenças significativas dos efeitos da masculinização e das dietas nos parâmetros de desempenho das larvas, exceto nas taxas de coeficiente de variação do peso final. O uso da dieta com menor teor proteico resultou em melhor uniformidade, com um coeficiente de variação do peso final de $19,00 \pm 1,00 \%$, em comparação com a dieta de elevador teor proteico, que teve $24,00 \% \pm 4,00 \%$, indicando uma população mais heterogênea. Foram observados indicativos de dano hepático principalmente no tratamento de masculinização por hormônio com a dieta de alto teor proteico. Os resultados indicam que reduzir a proteína bruta da dieta em 8% não afeta as principais variáveis de desempenho dos juvenis de tilápia, independentemente do método de masculinização. Isso traz benefícios na produção de juvenis de tilápia vermelha híbrida. Além disso, o uso de uma dieta comercial de qualidade, com redução na proteína bruta, e métodos de masculinização por temperatura podem ser vantajosos para os produtores, assim como a não masculinização que mostrou desempenho similar aos outros tratamentos, sugerindo ser uma alternativa viável e consciente, evitando o uso de hormônios masculinizantes.

Palavras-chave: 17- α -metiltestosterona, desempenho, larvicultura, masculinização, proteína, temperatura.

Abstract: The hormone 17- α -methyltestosterone is often used in the initial production of tilapia to promote the masculinization of juveniles, but it can compromise fish health. Thus, it is crucial to alternatives to its use. Additionally, the nutrition, especially with adequate protein levels, is essential to ensure the quality of juveniles in this initial production phase. The objective this study is to evaluate the production performance of hybrid tilapia juveniles masculinized by hormone, by temperature, and non-masculinized, subjected to two diets with different protein levels. Larvae were evaluated for 30 days, which were masculinized by hormone (60 mg of 17- α -methyltestosterone/kg of diet), masculinized by temperature, and non-masculinized; each group was fed with a

commercial diet, one being with approximately 52% crude protein and the other being micro-extruded with 44% crude protein (reduced protein diet). Physical-chemical parameters of the water were measured, growth performance parameters and hepatic histological analysis. Data were tested for normality and variance homogeneity. Analysis of variance was employed to verify significant differences using Tukey's test at a 5% significance level. Physical-chemical parameters of the water remained ideal for the initial production of larvae. However, there were no significant differences in juvenile performance regarding masculinization and diets, except in the final weight coefficient of variation rates. The use of the lower protein content diet resulted in greater uniformity, with a final weight coefficient of variation of $19.00\% \pm 1.00$, compared to the higher protein content diet, which had $24.00\% \pm 4.00$, indicating a more heterogeneous population. Liver damage was observed mainly in the hormone-induced masculinization treatment fed with the high-protein diet. The results indicate that reducing the crude protein content of the diet by 8% does not affect the main performance variables of tilapia juveniles, regardless of the masculinization method. This brings benefits in the production of hybrid red tilapia juveniles. Moreover, the use of a quality commercial feed, with reduced crude protein, and temperature-based masculinization methods can be advantageous for producers, as well as non-masculinization, which showed similar performance to other treatments, suggesting it is a viable and conscientious alternative, avoiding the use of masculinizing hormones.

Keywords: 17- α -methyltestosterone, growth performance, larviculture, masculinization, protein, temperature.

2.1 Introdução

Para a produção de tilápia é comumente realizada a obtenção de peixes masculinizados, por meio de dietas contendo o hormônio 17- α -metiltestosterona. Esta técnica é considerada uma importante ferramenta na aquicultura por produzir indivíduos machos que apresentam maior crescimento, em comparação as fêmeas no mesmo tempo de cultivo e para evitar-se a mobilização de nutrientes e energia para fins reprodutivos das fêmeas evitando desovas

indesejadas nos ambientes de produção (Meurer et al., 2004), proporcionando maior uniformidade nos lotes e o impacto ambiental desfavorável por escapes (Beardmore et al., 2001).

Entretanto, alguns estudos mostraram que não existe grande distinção no desempenho de tilápias entre machos e fêmeas (Dam e Little, 2000; Gayão, 2013). Estes autores também observaram que os peixes não submetidos ao processo de masculinização, mostraram-se mais resistentes e sem alterações hepáticas. A adição de 60 mg.kg⁻¹ do hormônio 17- α -metiltestosterona na dieta realizada por piscicultores é elevada grande em comparação com a dose real necessária para a masculinização (Mlalila et al., 2015) e ocasiona problemas de deformidades no fígado, aspecto gorduroso e friável com danos aos hepatócitos influenciando na saúde dos peixes (Gayão, 2009; Gayão et al., 2013).

No aspecto ambiental, os resíduos hormonais na água não tratados corretamente podem ser um potencial contaminante, com efeitos na qualidade da água e biodiversidade, e quando disponibilizadas na natureza podem alterar a proporção sexual normal em peixes de populações selvagens (Megbowon e Mokelwu., 2014; Mlalila et al., 2015). Com as crescentes preocupações com a segurança alimentar, é primordial encontrar uma alternativa na diminuição do uso de hormônios masculinizantes, baseada em métodos não perigosos, ambientalmente corretos, mantendo a eficiência no processo de masculinização. Uma alternativa é aplicação de altas temperaturas, que são determinantes para controlar o sexo e produzir machos monossexuais. A incubação em temperaturas acima de 32°C leva à masculinização (Nivelle et al., 2019).

Atrelado ao fator da masculinização, outra dificuldade técnica na produção de tilápia está relacionada a nutrição das larvas, que necessitam de uma dieta balanceada que atenda suas exigências nutricionais, com tamanho de partícula e flutuabilidade adequadas, evitando assim perdas de nutrientes por lixiviação na água (Portella et al., 2012). A utilização de dietas invariavelmente fareladas e com altos níveis proteicos (muitas vezes são superestimados), pode afetar na qualidade da água das unidades de cultivo, pelo alto desperdício e desempenho (Oliveira-Segundo et al., 2013), elevando os gastos e prejuízos econômicos. Assim, a nutrição adequada nesta fase exerce grande influência na obtenção de juvenis em quantidade e qualidade, constituindo requisito básico

para o sucesso nas fases subsequentes de cultivo (Hayashi et al., 2002; Righetti et al., 2011).

Portanto, o objetivo deste estudo foi abordar diferentes métodos de masculinização de larvas de tilápias híbridas vermelhas, incluindo o uso de hormônios, método da masculinização por temperatura e ausência de métodos masculinizantes, bem como a influência de dietas com diferentes níveis proteicas no desempenho produtivo e no perfil histológico hepático.

2.2 Material e métodos

Condições experimentais

Este estudo foi conduzido no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, em abril de 2021 e foi autorizado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. (CEAU FCAV/UNESP – Protocolo nº 3383/20). Foram distribuídas 3.600 larvas de tilápia híbrida de Vermelha da Flórida x tilápia-do-Nilo da linhagem GIFT (*Oreochromis niloticus*), obtidas na empresa S3 Piscicultura em Registro-SP.

As larvas foram mantidas em caixas com volume de 150 litros, na densidade de 150 larvas cada, totalizando 24 caixas, sob aeração constante, em sistema contínuo de água. A alimentação foi realizada cinco vezes ao dia (7h30; 9h30; 11h30; 13h30; 15h30), até a saciedade aparente. Diariamente, após a última alimentação era realizada a sifonagem parcial no fundo de todas as caixas, utilizando uma mangueira transparente comum em limpeza para evitar acúmulo de matérias orgânica que poderia interferir no crescimento das larvas.

Tratamentos e dietas experimentais

Para o estudo, um grupo foi selecionado para o tratamento de masculinização por hormônio (MH). Para verificar o efeito dessa masculinização por hormônio, foi utilizada nas dietas a dose de 60 mg/kg do hormônio 17- α -metiltestosterona. O hormônio foi pesado em uma balança analítica. Posteriormente foi diluído em álcool etílico hidratado (92%) e misturados nas dietas até que ficassem totalmente homogêneas e secas ao ar. Essas dietas

contendo hormônio foram fornecidas por 30 dias (Popma e Lovshin, 1996), segundo o tratamento tradicional utilizado para masculinização de tilápias.

Outro grupo foi submetido à masculinização por temperatura (MT). Neste protocolo de masculinização envolveu um aumento gradual de 0,5°C/dia na temperatura utilizando termostatos, até atingir um máximo 34°C e mantendo durante os primeiros 14 dias de vida. Após esse período, os termostatos foram removidos, mantendo a temperatura da água ambiente. Por fim, um terceiro grupo não foi submetido a nenhum método de masculinização, perfazendo o tratamento de tilápias não masculinizadas (NM).

Foi avaliado também a eficiência de utilização em duas dietas comerciais de dois diferentes níveis proteicos nos tratamentos de larvas masculinizadas (hormônio e temperatura) e não masculinizadas. A composição aproximada das dietas foi determinada de acordo com métodos padrão (AOAC, 2012). A matéria seca foi determinada por secagem em estufa a 105°C, até peso constante, o teor de proteína bruta ($N \times 6,25$) foi determinado pelo método de Kjeldahl, o extrato etéreo foi determinado pelo método de hidrólise ácida, a análise da fibra bruta foi determinada após digestão com 1,25% H₂SO₄ e 1,25% NaOH e as cinzas foram obtidas por combustão em forno mufla a 550°C (Tabela 1).

Dessa forma, para a fase de produção em estudo, foi empregada uma dieta comercial farelada comumente utilizada na piscicultura, contendo aproximadamente 52% de proteína bruta, sendo designada como dieta de alto teor proteico (AP). Além disso, uma segunda dieta comercial investigada foi uma dieta microextrusada com diâmetro de 0,7 mm, contendo cerca de 44% de proteína bruta (uma redução de 8% em relação à dieta anterior), sendo denominada como dieta de baixo teor proteico (BP).

Dessa forma foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com seis tratamentos em esquema fatorial 3 x 2 correspondendo a dois tipos de masculinização (hormônio e temperatura) e a não masculinização; e a duas dietas comerciais de diferentes níveis proteicos (~44 e 52% de PB), com quatro repetições.

Tabela 1. Composição analisada das dietas experimentais na produção de juvenis de tilápias híbridas vermelhas masculinizadas ou não alimentadas com diferentes dietas comerciais.

Composição analisada	Dieta com alto nível proteico (AP)	Dieta com baixo nível proteico (BP)
Matéria seca (%)	92,72 ± 1,12	93,79 ± 1,23
Proteína Bruta (%)	52,19 ± 2,36	43,75 ± 2,08
Extrato Etéreo (%)	6,44 ± 0,85	8,60 ± 0,78
Fibra Bruta (%)	4,05 ± 0,59	3,04 ± 0,46
Cinzas (%)	12,51 ± 0,87	16,29 ± 1,02
Extrato Não Nitrogenado (%)	17,23 ± 1,15	22,62 ± 1,22
Energia Bruta (kcal/kg)	4489,61 ± 40,11	4285,81 ± 62,89

Parâmetros físico-químicos da água

Devido a estudos anteriores e a baixa variação nos parâmetros físico-químicos da água por conta de ser um sistema de fluxo constante a temperatura (°C) e oxigênio dissolvido na da água (mg/L) foram monitorados a cada dois dias, no início da manhã (antes da primeira alimentação) e no fim da tarde (após a última alimentação), utilizando o aparelho YSI 550A. O potencial hidrogeniônico (pH) e a condutividade elétrica (µS) foram monitorados a cada seis dias, no início da manhã (antes da primeira alimentação) utilizando o aparelho EcoSense pH/EC1030A. As concentrações de amônia (mg/l), nitrito (mg/l), nitrato (mg/l) e fósforo total (mg/l) também foram mensuradas a cada seis e essas análises realizadas conforme recomendação do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Apha, 2005).

Os valores médios para temperatura (°C) de manhã e à tarde em foram 29,98 ± 0,36 e 30,85 ± 0,09 °C respectivamente. O oxigênio dissolvido (mg/l) de manhã e à tarde foram de 4,44 ± 0,18 e 5,20 ± 0,03, respectivamente. Para o pH, condutividade elétrica (us/cm), amônia (mg/l), nitrito (mg/l), nitrato (mg/l) e

fósforal total (mg/l) foram de: $8,03 \pm 0,11$; $160,48 \pm 6,44$; $0,101 \pm 0,005$; $0,011 \pm 0,002$; $0,0868 \pm 0,0003$; $1,722 \pm 0,022$ respectivamente.

Os parâmetros físico-químicos da água estudados mantiveram-se dentro dos intervalos adequados para a espécie e fase de produção trabalhada, de acordo com El-Sayed (2019), permitindo um desenvolvimento satisfatório dos animais sem prejudicar seu crescimento ou metabolismo. Essa condição favorável pode ser atribuída ao sistema de fluxo de água contínuo e aeração constante, no qual as variáveis físico-químicas não sofreram alterações bruscas.

Desempenho

Para avaliar o desempenho no 15º dia de experimentação, foi realizada uma biometria para determinar o peso médio inicial, amostrando todas as larvas, nas quais foi observada uma média de $0,45 \pm 0,02$ g. Dessa forma o desempenho de todas as larvas foi analisado ao longo de um período de 15 a 30 dias, até o fim da fase de larvicultura.

Após os 30 dias, ao final do período experimental, foi realizada a biometria, amostrando todos os juvenis de cada parcela experimental. Os juvenis não foram alimentados por 24 horas antes da biometria, quando foram anestesiados com benzocaína (100 mg/L). Foi mensurado o peso médio dos juvenis, utilizando uma placa de Petri para colocar os animais e uma balança eletrônica de precisão. E também foi mensurado por meio de um paquímetro digital o comprimento total, comprimento padrão e a altura.

O desempenho dos peixes foi analisado por meio de peso médio final, ganho de peso médio, dos comprimentos total e padrão, de altura, do fator de condição dado por $100 \times [(\text{Peso médio final} - \text{Comprimento padrão final})^3]$, da sobrevivência dado pelo n° inicial de larvas – n° final de larvas) / n° inicial de larvas, do consumo de ração dos 15 - 30 dias, da conversão alimentar aparente dos 15 – 30 dias e coeficiente de variação do peso médio final dos peixes (CVP), dada pela fórmula $\text{CVP} = (\text{desvio padrão do peso dos peixes} / \text{peso médio}) \times 100$.

Análise histológica hepática

Para a análise histológica hepática, foram coletados cinco peixes de cada parcela, totalizando 15 peixes por tratamento. Fragmentos de fígado de tilápia de aproximadamente 1,0 cm³ foram fixados em solução de formol 10% por 24 horas. Após fixação, o material foi preservado em álcool a 70%, para posterior realização da análise histológica. A inclusão do material foi realizada em parafina. A microtomia foi realizada em micrótomo automático Leica-RM2155, (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Alemanha), com auxílio de navalhas descartáveis. Cortes de cinco micrometros (µm) foram corados com Hematoxilina-Eosina e as lâminas montadas com Entellan (Merck). As lâminas foram observadas em microscópio (Olympus BX43) e o registro fotográfico realizado por câmera digital Olympus DP73 utilizando o software Olympus cellSens para a descrição histológica. Assim, uma análise histológica comparativa entre os tratamentos foi conduzida nos fígados das tilápias híbridas vermelhas, evidenciando a gravidade das alterações identificadas, que incluíram um aumento significativo na incidência de congestão, acumulação de gordura, estase sanguínea, deslocamento do núcleo e outras mudanças celulares. Para classificar a severidade das lesões, foi adotada um índice de severidade de dano hepático (ISDH) sendo adaptada uma escala conforme proposta por Bernet et al. (1999), onde cada exemplar foi atribuído a um valor numérico correspondente ao grau de alteração histopatológica observada. Esta escala variou desde o grau 1, indicando ausência de alteração, até o grau 6, representando lesões amplamente distribuídas, permitindo uma ordenação das lesões de acordo com sua severidade.

Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Os resultados foram analisados usando análise de variância bidirecional (ANOVA *two-way*) verificando possíveis efeitos das masculinizações ou não; nas dietas de diferentes níveis proteicos, e das interações entre eles. Para testar possíveis diferenças das variáveis, foi empregado o teste Tukey de comparação de média, após ANOVA mostrar diferenças significativas utilizando o programa R 3.6.1. O

nível de significância utilizado para todas as análises do presente estudo foi de 5% ($P \leq 0,05$).

2.3 Resultados

Não houve diferenças significativas na interação entre os efeitos (masculinização e dieta) e nem nos efeitos da masculinização e o efeito das dietas no peso médio final, ganho de peso médio, comprimento total, comprimento padrão, altura, fator de condição, sobrevivência, consumo por caixa e conversão alimentar aparente com exceção ao efeito das dietas nas taxas de coeficiente de variação do peso final (Tabela 2). Considerando que quanto maior o valor obtido no coeficiente de variação do peso final, maior é o desvio padrão em torno da média, dessa forma mais desuniforme será a população em estudo. A Dieta ECO afetou positivamente a uniformidade, proporcionando o lote mais homogêneo, apresentando o valor de $19,00\% \pm 1,00$ em comparação com a Dieta COM, com $24,00\% \pm 4,00$.

Na análise histológica, não foi observada interação entre os efeitos da masculinização e das dietas (Tabela 2). Entretanto, foi identificado um maior grau de severidade de dano hepático (ISDH), principalmente nas amostras histológicas do fígado dos juvenis de tilápias híbridas vermelhas masculinizados por hormônio quando alimentadas com a dieta de alto teor proteico na dieta, seguido pelo baixo teor proteico (Tabela 2; Figuras 1A e 1B). Observou-se um aumento no volume celular e uma desorganização dos hepatócitos, com migração do núcleo para a periferia e vacuolização da gordura. Este padrão também foi observado no tratamento de masculinização por temperatura quando alimentadas com a dieta de alto teor proteico (Figura 2C).

Nos tratamentos com masculinização por temperatura, alimentados com dieta comercial de baixo teor proteico, e naqueles sem a masculinização, independentemente da dieta oferecida, o fígado apresentou menor de severidade de dano (Tabela 3 e Figura 2B, 3A e 3B). Observando assim, hepatócitos arredondados, de tamanho normal, com núcleo central, com menor vacuolização de gordura.

Tabela 2. Análises das variáveis de desempenho, sobrevivência e índice de severidade de dano hepático produção de juvenis de tilápias híbridas vermelhas masculinizados ou não, alimentadas com dieta de alto e baixo nível proteico .

Estatística	PI (g)	PF (g)	GP (g)	CT (cm)	CP (cm)	A. (cm)	FC	S (%)	CR (g)	CAA	CVP (%)	ISDH
Médias para a masculinização (M):												
Masculinização por hormônio (MH)	0,44 ± 0,02	2,50 ± 0,53	2,06 ± 0,50	5,11 ± 0,35	4,25 ± 0,29	1,54 ± 0,13	1,85 ± 0,07	91,62 ± 3,92	255,01 ± 28,94	1,06 ± 0,22	23,00 ± 2,90	3,50 ± 1,01 a
Masculinização por Temperatura (MT)	0,44 ± 0,02	2,47 ± 0,11	2,02 ± 0,11	5,02 ± 0,19	4,07 ± 0,60	1,52 ± 0,26	1,96 ± 0,20	95,50 ± 1,91	256,19 ± 23,20	1,03 ± 0,16	20,00 ± 2,00	3,17 ± 1,12 b
Não masculinização (NM)	0,45 ± 0,01	2,30 ± 0,48	1,89 ± 0,52	4,89 ± 0,36	4,11 ± 0,30	1,50 ± 0,12	1,94 ± 0,09	92,86 ± 2,39	238,61 ± 39,01	1,06 ± 0,21	23,00 ± 2,40	2,82 ± 1,13 b
Médias para as dietas (D):												
Alto nível proteico (AP)	0,45 ± 0,01	2,40 ± 0,45	1,90 ± 0,46	4,97 ± 0,38	4,13 ± 0,29	1,53 ± 0,12	1,94 ± 0,17	93,87 ± 3,34	257,41 ± 33,75	1,05 ± 0,17	24,00 ± 4,00b	3,59 ± 1,11 a
Baixo nível proteico (BP)	0,45 ± 0,02	2,45 ± 0,38	2,00 ± 0,38	5,05 ± 0,24	4,16 ± 0,52	1,51 ± 0,22	1,89 ± 0,10	94,39 ± 4,14	244,23 ± 27,15	1,05 ± 0,21	19,00 ± 1,00a	2,70 ± 1,03 b
Valores de P (ANOVA) para:												
Efeito da masculinização (M)	0,8021 ^{NS}	0,6327 ^{NS}	0,6225 ^{NS}	0,4369 ^{NS}	0,7101 ^{NS}	0,8863 ^{NS}	0,3084 ^{NS}	0,1444 ^{NS}	0,4598 ^{NS}	0,9373 ^{NS}	0,6066 ^{NS}	0,0394 *
Efeito da dieta (D)	0,8289 ^{NS}	0,7719 ^{NS}	0,7623 ^{NS}	0,5668 ^{NS}	0,8603 ^{NS}	0,7946 ^{NS}	0,4114 ^{NS}	0,1177 ^{NS}	0,4150 ^{NS}	0,9523 ^{NS}	0,0498 *	0,0184 *
Interação M x D	0,8527 ^{NS}	0,7826 ^{NS}	0,7798 ^{NS}	0,7743 ^{NS}	0,6688 ^{NS}	0,8195 ^{NS}	0,7960 ^{NS}	0,5437 ^{NS}	0,4054 ^{NS}	0,9667 ^{NS}	0,6872 ^{NS}	0,6405 ^{NS}

Os valores são médias dos efeitos (n=6) ± Desvio Padrão. PI: Peso médio inicial; PF: Peso médio final; GP: Ganho de peso médio CT: Comprimento total aos 30 dias; CP: Comprimento padrão; A: Altura; FC: Fator de condição; S: Sobrevivência; CR: Consumo por caixa; CAA: Conversão Alimentar aparente; CVP: Coeficiente de variação do peso médio final; ISDH: Índice de severidade de dano hepático.

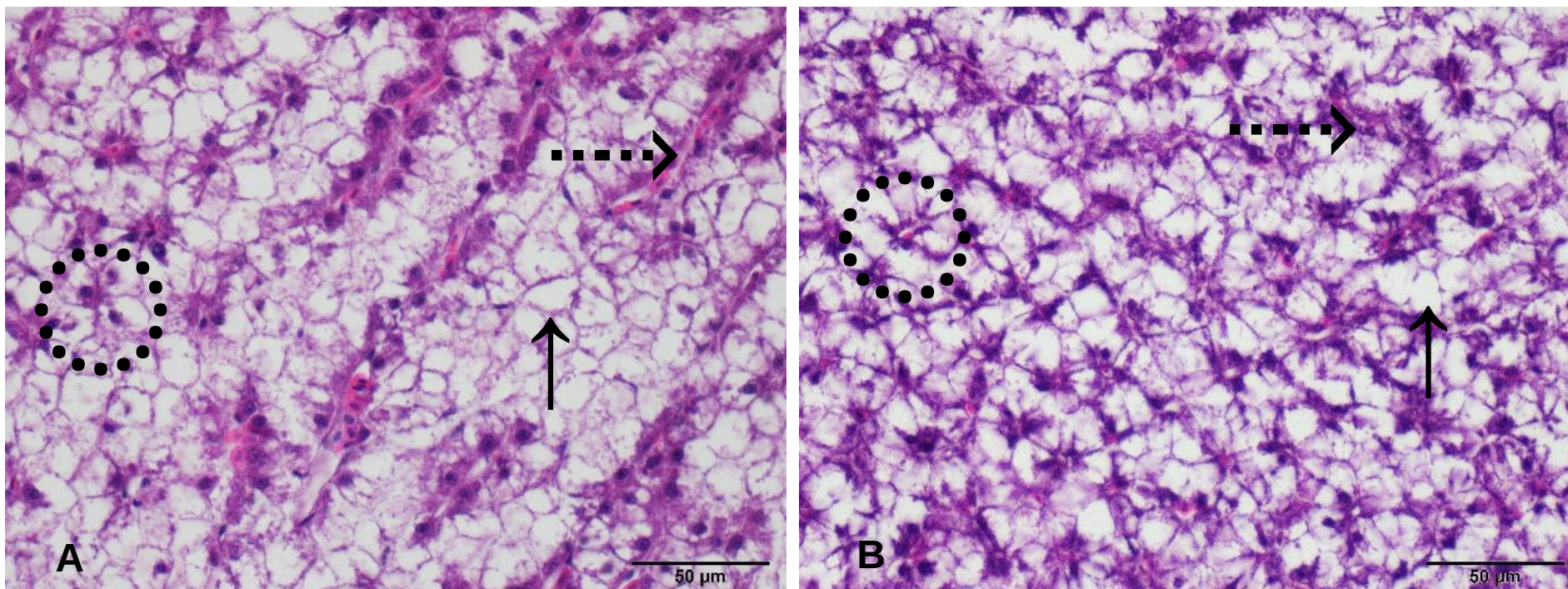


Figura 1. Fotomicrografia de fígado de juvenis de tilápias híbridas vermelhas masculinizados por hormônio, alimentadas com dietas de alto nível proteico (A) e baixo nível proteico (B). Vacuolização da gordura (VG) (seta grossa); estase sanguínea (Seta pontilhada); desarranjo cordonal dos hepatócitos com migração do núcleo (Círculo pontilhado). HE 40x.

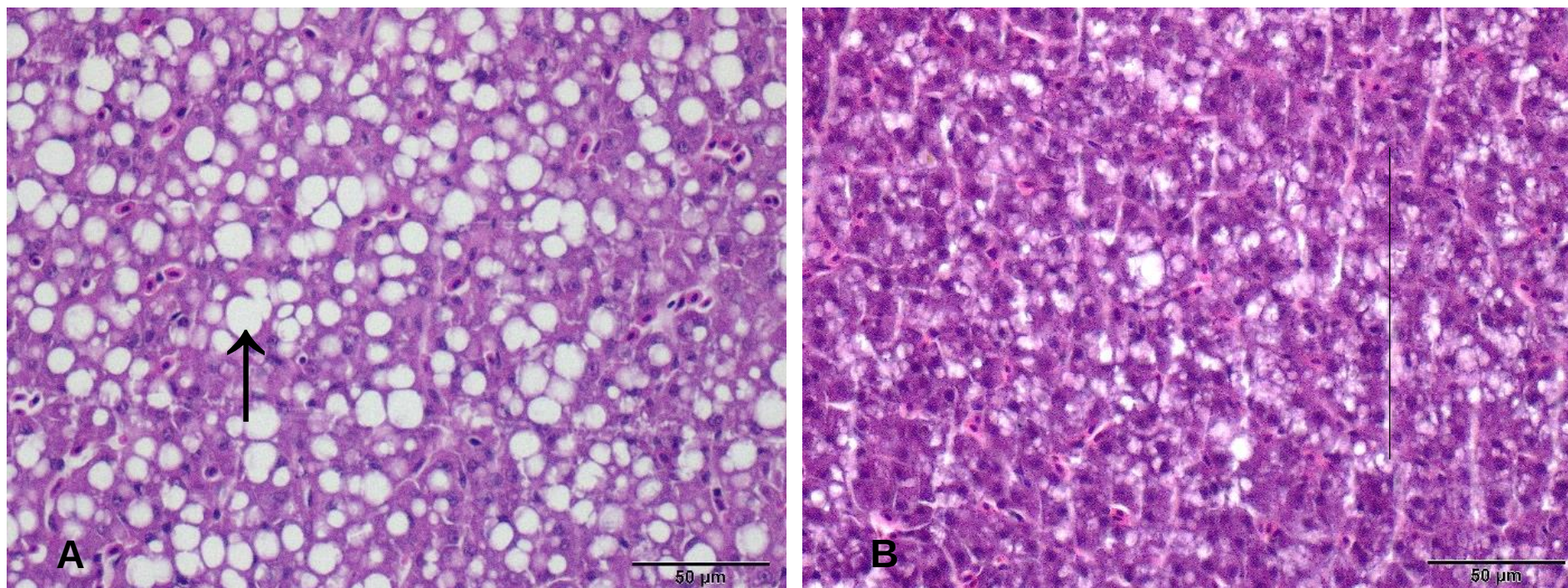


Figura 2. Fotomicrografia de fígado de juvenis de tilápias híbridas vermelhas masculinizados por temperatura, alimentadas com dietas de alto nível proteico (A) e baixo nível proteico (B). Vacuolização da gordura (VG) (seta grossa); arranjo cordonal dos hepatócitos (Traço). **HE** 40x.

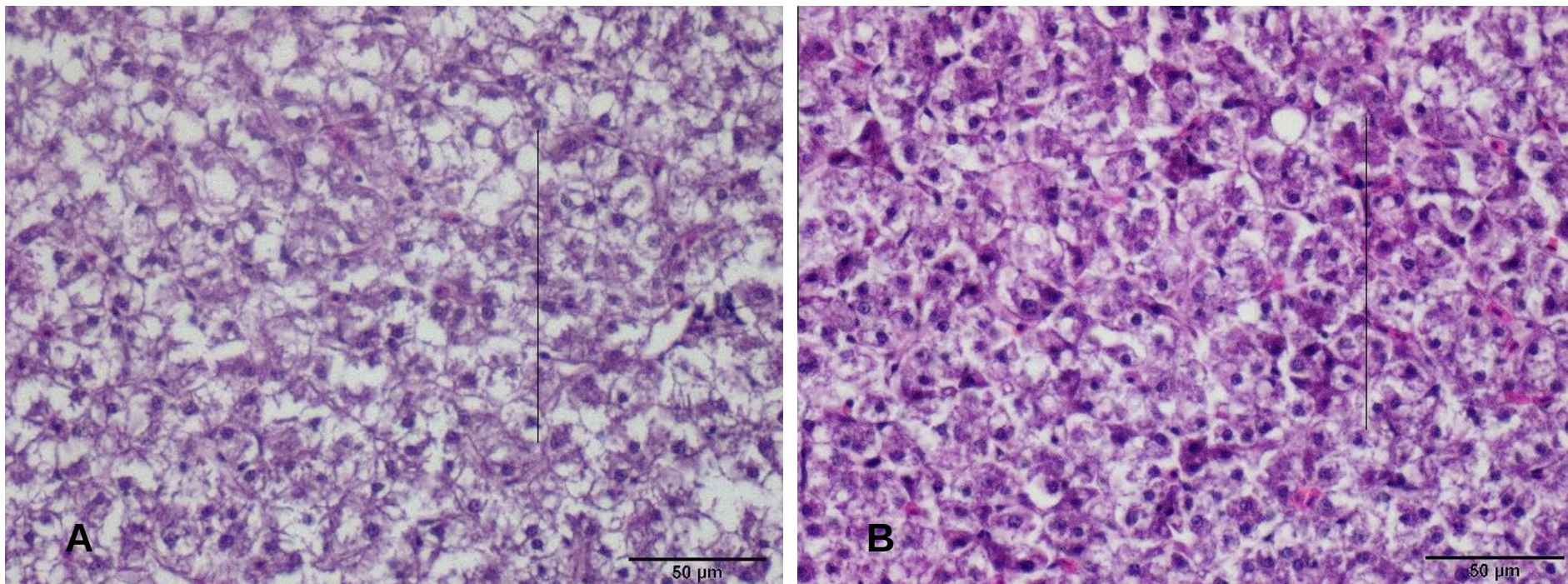


Figura 3. Fotomicrografia de fígado de juvenis de tilápias híbridas vermelhas não masculinizados, alimentadas com dietas de alto nível proteico (A) e baixo nível proteico (B). Arranjo cordonal dos hepatócitos (Traço). **HE** 40x.

2.4 Discussão

Para o que diz respeito ao desempenho das larvas na fase inicial de produção, não foram observados efeitos significativos dos processos de masculinização e dos tipos de dietas, com exceção ao CVP. Isso difere dos resultados encontrados por Adamneh, Fasi e Aschalew (2013) e Chakraborty et al. (2011), que constataram que peixes masculinizados apresentavam maior crescimento individual (peso e comprimento) em relação aos não masculinizados. Portanto, é evidente que o desempenho da tilápia pode ser influenciado por fatores como genética, qualidade e quantidade de ração, condições ambientais e manejo (Gjedrem, 1997).

O método alternativo de masculinização por temperatura demonstrou eficiência no desempenho dos juvenis de tilápia vermelha híbrida, indicando um potencial promissor para seleção e melhoria do desempenho (Tessema et al., 2006). Segundo Zanoni et al. (2013) que realizaram um estudo avaliando os efeitos da temperatura na masculinização de larvas de tilápia, utilizando um tratamento controle de 28°C com uma dieta contendo 60 mg kg⁻¹ de 17 α -metiltestosterona, além dos tratamentos de temperatura de 28°C, 30°C, 32°C e 34°C. Não foram observadas alterações morfológicas nos peixes submetidos aos diferentes tratamentos, o que demonstra a viabilidade desse método de produção, assim como foi observado no método de não masculinização.

Em relação aos efeitos das dietas, resultados semelhantes foram encontrados por Cunha (2006), que avaliou diferentes níveis de proteína bruta em rações comerciais para pós-larvas de tilápia-do-Nilo (linhagem Chitralada) durante o período de masculinização. Foram testados níveis de 40%, 45%, 50% e 55% de proteína bruta nas dietas, e o autor observou que esses níveis não influenciaram o desempenho e a sobrevivência da tilápia durante o período de masculinização. No entanto, Abdel-Tawab et al. (2010) indicaram uma exigência de 45% de proteína bruta para larvas com peso de 0,5g nessa fase inicial de produção.

Em outro estudo realizado por Hayashi et al. (2002), foram investigadas as exigências em proteína digestível (PD) durante a fase de masculinização de larvas de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). As larvas foram alimentadas com rações isoenergéticas, isocálcicas e isofosfóricas, contendo 30%, 34%, 38%, 42% e 46% de PD. Os resultados mostraram uma diminuição linear na sobrevivência das larvas com o aumento dos níveis de PD, e a exigência de PD determinada para a fase de

masculinização da tilápia-do-Nilo foi de 38,6%. Seria de extrema importância estabelecer as exigências proteicas para cada fase de criação com base em valores digestíveis, a fim de formular dietas balanceadas e de menor custo (Furuya et al., 2004; Rigueti et al., 2011). No entanto, é importante ressaltar que as exigências para larvas geralmente são baseadas em níveis de proteína bruta (PB), pois a coleta de fezes para a determinação da digestibilidade é um processo complexo e muitas vezes impreciso.

De maneira geral, é comum recomendar um nível de proteína bruta (PB) de 40% a 45% para larvas de tilápia na fase de larvicultura (El-Sayed, 2019). A dieta comercial com alto nível proteico (52% PB) pode resultar em um excesso de aminoácidos na nutrição dessas larvas (NRC, 2011). Por outro lado, o uso da dieta comercial de diminuição do nível proteico (BP) com 44% de PB permitiu uma redução eficiente no teor de proteína, mantendo a qualidade da dieta e diminuindo a catabolização e a conseqüentemente a liberação de nutrientes no meio ambiente (Teodósio et al., 2020; Gule e Geremew, 2022), sem comprometer as principais variáveis de desempenho, independentemente do método de masculinização.

É de extrema importância garantir um suprimento adequado de proteína na dieta, pois isso afeta tanto a produtividade dos peixes quanto a produção de resíduos nitrogenados excretados na água (Lópes-Tejeida, 2020). Esses resíduos podem resultar em redução no desempenho dos animais e poluição do ambiente de criação, além de afetar os corpos d'água receptores dos efluentes (Ip e Chew, 2018). Assim é observado que o nitrogênio da dieta é uma das principais fonte de poluição no cultivo de peixes está relacionada ao uso de alimentos com alto teor de proteína excesso de arraçoamento não aproveitado pelo peixe (Thazeen et al., 2022).

Quando se trata do coeficiente de variação do peso dos peixes (CVP), é desejável que o tamanho dos peixes seja homogêneo, ou seja, quanto mais homogêneo for o lote de peixes, menor será o CVP. Verificou-se que tanto a masculinização por hormônio e temperatura quanto a não masculinização não interferiram nessa variável, o que indica que os métodos alternativos são interessantes para a produção de lotes homogêneos.

Por outro lado, as dietas oferecidas afetaram a heterogeneidade dos lotes de juvenis. Segundo Barbosa et al. (2006), que investigaram o efeito da densidade e do

peso inicial dos peixes na homogeneidade do crescimento em juvenis de tilápia-do-Nilo, tanto a densidade quanto o peso inicial exercem influência significativa na heterogeneidade dos peixes. No entanto, é importante salientar que, nos estudos realizados, esses fatores foram controlados e não foi observada uma relação clara entre a densidade e o peso inicial com a heterogeneidade do crescimento.

Os resultados obtidos fornecem uma perspectiva importante sobre a complexidade dos fatores que afetam a homogeneidade do crescimento em peixes e ressaltam a necessidade de considerar cuidadosamente essas variáveis em estudos e práticas de manejo na criação de peixes. Dessa forma, acreditamos que a interferência observada na heterogeneidade do lote de juvenis, encontrada na dieta comercial com alto teor proteico, pode estar associada à composição da dieta fornecida. As variações nas exigências estão relacionadas à quantidade e qualidade do teor proteico dos ingredientes utilizados, além do processamento, pois esses são fatores cruciais para a variação das exigências. É importante considerar que a porção de proteína não digerida e absorvida pelos peixes será excretada, o que pode influenciar nos resultados (NRC, 2011).

Com relação ao fígado, assim como em todos os demais vertebrados, desempenha funções fundamentais na acumulação, biotransformação e excreção de compostos químicos estranhos ao organismo, participando de processos tóxicos cuja gravidade depende do tipo, duração e severidade da agressão, assim como do estado fisiológico da célula envolvida (Robbins e Cotran, 2005). No estudo conduzido por Gayão (2013), que abordou também a masculinização por hormônio, constatou, após 21 e 28 dias, período próximo ao término da administração do hormônio masculinizante na dieta contendo 17-metiltestosterona na dose de 60 mg.kg⁻¹, alterações significativas nas amostras de fígado dos juvenis. Tais alterações incluíram aumento do volume dos hepatócitos, deslocamento do núcleo dessas células para a periferia e aumento da congestão sanguínea, características também observadas no presente estudo. Dessa forma, foi evidente o deslocamento do núcleo, indicativo de uma atividade metabólica alterada na masculinização por hormônio, especialmente em comparação com os demais tratamentos de masculinização por temperatura ou ausência de masculinização quando alimentados com dieta de alto nível proteico.

Os resultados das análises histológicas dos grupos de juvenis submetidos à masculinização por temperatura e à não masculinização permitiram chegar à conclusão de que a masculinização por hormônio causou desorganização na estrutura do tecido hepático. Esse deslocamento do núcleo foi identificado como um indicativo de uma atividade metabólica alterada. Houve um aumento no volume celular, associado ao aumento das vesículas presentes no interior do citoplasma, assim como um aumento na congestão, sugerindo um acúmulo de substâncias nas células hepáticas devido a mudanças no metabolismo celular.

Por outro lado, foi observado que o grupo de larvas que consumiram a dieta com excesso de proteínas também apresentou alterações hepáticas, como aumento do volume dos hepatócitos, deslocamento do núcleo dessas células para a periferia. O excesso de proteína pode ser convertido em carboidratos ou gorduras por meio de processos metabólicos no fígado, conhecidos como lipogênese e gliconeogênese (Lovell, 1989; Silva, Anderson e Sargent, 1995; Baldisserotto, 2002). Dessa forma, é crucial considerar a quantidade de proteína oferecida, principalmente durante o estágio inicial, assim evitar problemas hepáticos como esteatose e garantir a saúde geral dos juvenis, sem que isso interfira nas fases subsequentes.

Os resultados indicam que a utilização de uma ração comercial de alta qualidade, com redução no teor de proteína bruta, juntamente com métodos de masculinização por temperatura podem trazer benefícios produtivos para os produtores de juvenis de tilápia. Além disso, observou-se que a não masculinização, independentemente da dieta utilizada, apresentou desempenho semelhante aos demais tratamentos. Isso sugere que a não masculinização pode ser uma alternativa viável de produção mais consciente, eliminando o uso de hormônios masculinizantes e reduzindo os níveis elevados de proteína na dieta.

2.5 Conclusão

Os resultados de desempenho para produção de alevinos de tilápias híbrida de Vermelha da Flórida x *O. niloticus* não foram afetados significativamente pelos dois métodos de masculinização e nem pela não masculinização, e tampouco pelo padrão nutricional das duas dietas comerciais avaliadas. Mas os efeitos das duas dietas afetaram significativamente o coeficiente de variação de peso dos peixes, de maneira

que os juvenis produzidos com a dieta de menor teor proteico, apresentaram melhor homogeneidade do lote. Dessa forma, ainda são necessárias pesquisas adicionais para compreender melhor o impacto desses fatores na fase posterior do desenvolvimento dos peixes e avaliar seu desempenho durante a recria e engorda.

2.6 Referências bibliográficas

Abdel-Tawab, A.M. Evaluation of using garlic and chamomile oils as feed additives in diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fry. **African Journal of Biology Science**, v. 6, n. 1, p. 73-82, 2010.

Adamneh, D, Fasi, D, Aschalew L. Comparative growth performance of mono sex and mixed sex Nile tilapia (*O. niloticus*) in pond culture system at sebeta, Ethiopia. **Introduction journal of aquaculture**, v. 3, n. 7, p. 30-34, 2013.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). **Official Methods of Analysis (19th ed.)**. Gaithersburg, USA. <http://www.eoma.aoac.org>. 2012.

APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: American Public Health Association. 2005.

Baldisserotto, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria: UFSM, 2002.

Barbosa, J.M., Brugiolo, S.S.S., Carolsfeld, J., Leitão, S.S. Heterogeneous growth fingerlings of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: effects of density and initial size variability. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, p. 537-541, 2006.

Beardmore, J.A., Mair, G.C., Lewis, R.I. Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems, and prospects. **Aquaculture**, v. 197, n. 1-4, p. 283–301, 2001.

Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Burkhardt-Holm, P., Wahli, T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of fish diseases**, v. 22, p. 25-34, 1999.

Chakraborty S.B., Mazumdar D, Chatterji U, Banerjee S. Growth of mixed-sex and monosex Nile tilapia in different culture systems. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 11, p. 131-138, 2011.

Cunha, V.L. **Avaliação de rações com diferentes níveis protéicos sobre a performance de pós-larvas de tilápia-do-Nilo, linhagem chitralada, durante o processo de reversão sexual**. Fortaleza, 21p., 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheira de Pesca) - Universidade Federal do Ceará Centro de Ciências Agrárias Departamento de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2006.

Dam, N.C., Little, D.C. The culture performance of monosex and mixed-sex newseason and overwintered fry in three strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in northern Vietnam. **Aquaculture**, v. 184, n.3-4, p.221-231, 2000.

El-Sayed, A.F.M. **Tilapia culture, 2nd edn**. Elsevier Inc, Academic Press, London. 2019. 348 p

Furuya, W. M., Silva, L. C. R., Neves, P. R., Botaro, D., Hayashi, C., Sakaguti, E. S., Furuya, V. R. B. (2004). Exigência de metionina+ cistina para alevinos de Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Rural**, v. 34, p. 1933-1937, 2004.

Gayão, A.L.B.A. **Nutrição e reversão sexual de Tilápia-do-Nilo: parâmetros produtivos e estrutura do fígado**. 100 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da UNESP, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

Gayão, A.L.B.A., Buzollo, H, Fávero, G.C., Silva Junior, A.A., Portella, M.C., Cruz, C., Carneiro, D.J. Histologia hepática e produção em tanques-rede de tilápia-do-Nilo masculinizada hormonalmente ou não masculinizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 991-997, 2013.

Gjedrem T. Selective breeding to improve aquaculture production. **World Aquaculture-Baton Rouge**, v. 28, p. 33-45, 1997.

Gule, T.T., Geremew, A. Dietary strategies for better utilization of aquafeeds in Tilapia farming. **Aquaculture Nutrition**, v. 2022, 2022.

Hayashi, C., Boscolo, W.R., Soares, C.M., Meurer, F. Exigência de proteína digestível para larvas de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), durante a reversão sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 823-828, 2002.

Ip, Y.K., Chew, S.F. Air-breathing and excretory nitrogen metabolism in fishes. **Acta Histochemica**, v. 120, n. 7, p. 680-690, 2018.

López-Tejeida, S., García-Trejo, J.F., Félix-Cuencas, L., León-Ramírez, J.J.D., Villegas-Villegas, M., Flores-Tejeida, L.B. Nitrogen excretion and oxygen consumption on hyper intensive tilapia *Oreochromis niloticus* culture using three different commercial diets. **Latin american journal of aquatic research**, v. 48, n. 5, p. 836-846, 2020.

Lovell, T. **Nutrition and feeding of fish**. Vol. 260. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989.

Megbowon, I., Mojekwu, T.O. Tilapia sex reversal using methyl testosterone (MT) and its effect on fish, man and environment. **Biotechnology**, v. 13, p. 213-216, 2014.

Meurer, F., Carmino H., Fornari, D.C., Bombardelli R.A., Barbero L. Milheto em rações para a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante a reversão sexual. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, p. 323-327, 2004.

Mlalila, N., Mahika, C., Kalombo, L., Swai, H., Hilonga, A. Human food safety and environmental hazards associated with the use of methyltestosterone and other steroids in production of all-male tilapia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 4922-4931, 2015.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). **Nutrient requirements of fish and shrimp**. National academies press, 2011.

Nivelle, R., Gennotte, V., Kalala, E. J. K., Ngoc, N. B., Muller, M., Melard, C., Rougeot, C. Temperature preference of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles induces spontaneous sex reversal. **PLoS One**, v. 14, n. 2, p. e0212504, 2019.

Oliveira-Segundo, J.N., Lima, F.R.D.S., Akao, M.M.F., Sá, M.V.D.C. Small crumbled diet versus powdered diet in restricted feeding management of juvenile Nile tilapia. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, p. 127-131, 2013.

Popma, T.J., Lovshin, L. Worldwide Prospects for Commercial Production of Tilapi. **Research and Development Series**, n. 41, p. 23, 1996.

Portella, M.C., Leitão, N.J., Takata, R., Lopes, T. Alimentação e nutrição de larvas. In: **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p. 185-216, 2012.

Righetti, J.S., Furuya, W.M., Conejero, C.I., Graciano, T.S., Vidal, L.V.O., Michellato, M. Redução da proteína em dietas para tilápias-do-Nilo por meio da suplementação de aminoácidos com base no conceito de proteína ideal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 469-476, 2011.

Robbins, S., Cotran, R.S. Patologia bases patológicas das doenças. In: **Patologia Bases patológicas das Doenças**. p. 1592-1592, 2005

Silva, S.S., Anderson, T.A.; Sargent, J.R. Fish nutrition in aquaculture. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 5, n. 4, p. 472-473, 1995.

Teodósio, R., Engrola, S., Colen, R., Masagounder, K., Aragão, C. Optimizing diets to decrease environmental impact of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production. **Aquaculture Nutrition**, v. 26, n. 2, p. 422-431, 2020.

Tessema, M., Müller-Belecke, A., Hörstgen-Schwark, G. Effect of rearing temperatures on the sex ratios of *Oreochromis niloticus* populations. **Aquaculture**, v. 258, n. 1-4, 270-277. 2006.

Thazeem, B., Umesh, M., Sarojini, S., Allwyn Vyas, G., Adhithya Sankar, S., Sapthami, K., Suresh, S., Stanly, L.M. Developments in Feeds in Aquaculture Sector: Contemporary Aspects. **Aquaculture Science and Engineering**, p. 35-78, 2020.

Zanoni, M.A., Leal, T.V., Caetano Filho, M. de Oliveira, C.A.L., Ribeiro, R.P. Inversão sexual de alevinos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) variedade Supreme, submetidos a diferentes temperaturas durante fase de diferenciação sexual. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 455-465, 2013.

CAPÍTULO 3. Desempenho e respostas metabólicas de tilápias híbridas vermelhas (*Oreochromis* spp.) masculinizadas ou não, com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios em tanques-rede

Denis William Johanssem CAMPOS ¹, Magdiel Santos OLIVEIRA ¹, Andressa Tellechea RODRIGUES ², Dalton José CARNEIRO ^{1,2}.

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus Jaboticabal, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, S/N, 14884-900 Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

² Centro de Aquicultura da UNESP, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, S/N, 14884-900 Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

*Corresponding author at: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus Jaboticabal (UNESP/FCAV), Avenida: Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail address: campos.dwj@gmail.com (D.W.J. Campos).

Resumo: Na produção de tilápias, o hormônio 17- α -metiltestosterona é comumente utilizado para induzir a masculinização e obter machos. No entanto, seu uso pode acarretar consequências negativas para o ambiente e a saúde dos peixes. Os problemas hepáticos decorrentes da masculinização por hormônio podem persistir em fases posteriores e ser agravadas por dietas comerciais desequilibradas em energia não proteica, ou seja, em diferentes proporções de carboidratos e lipídios. O presente estudo teve como objetivo analisar as produções de tilápias vermelhas híbridas em tanques-rede masculinizadas tanto por hormônio quanto por temperatura. Comparadas com as não masculinizadas. Avaliou-se a possibilidade de interação desses processos de masculinização ou não com a utilização de dietas com baixa ou alta relação entre carboidratos e lipídios, também foi estudado, visando economizar proteína e, conseqüentemente, melhorar o desempenho e a saúde dos peixes. Foram estudados os efeitos da masculinização por hormônio e temperatura, e a não masculinização; e de duas dietas, com baixa ou alta relação de carboidratos e lipídios, seguindo esquema de fatorial 3x2. Não houve interação significativa entre a masculinização e a dieta para nenhuma das variáveis estudadas. Os resultados mostraram que a masculinização por hormônio resultou em melhor ganho de peso ($381,58 \pm 8,32$ g) e taxa de eficiência proteica ($2,88 \pm 0,12$ %), porém aumentou o

consumo diário de ração por peixe ($5,37 \pm 0,50$ g) piorando a conversão alimentar ($1,75 \pm 0,19$). em comparação a masculinização por temperatura e a não masculinização. Ainda, a masculinização por hormônio foi mais eficiente em retenção de energia bruta ($28,22 \pm 1,09$ %). Para as dietas oferecidas aos animais a alta relação de carboidratos e lipídios mostrou resultados em todas as variáveis de desempenho e possibilitou melhor eficiência de utilização de nutrientes. Porém essa dieta resultou em maiores níveis de triglicerídeos e colesterol ($852,50 \pm 219,4$ mg/dL e $176,27 \pm 28,87$ mg/dL, respectivamente). Foi observado indicativo de dano hepático principalmente no tratamento com a masculinização por hormônio alimentadas com a dieta de alta relação de carboidratos e lipídios. Em suma, a masculinização hormonal melhorou o desempenho das tilápias em tanques-rede, porém métodos alternativos como a masculinização por temperatura ou a ausência de masculinização são promissores para uma aquicultura mais sustentável. Uma dieta com alta relação de carboidratos e lipídios promoveu a melhor produção de tilápia vermelha híbrida como fonte de energia não proteica, destacando a importância de otimizar o uso desses nutrientes para melhorar a eficiência nutricional.

Palavras-chave: 17- α -metiltestosterona, energia não proteica, masculinização por temperatura, tilápias não masculinizadas.

Abstract: In tilapia production, the hormone 17- α -methyltestosterone is commonly used to induce masculinization and obtain males. However, its use may have negative consequences for the environment and fish health. Hepatic problems resulting from hormone-induced masculinization may persist in later stages and be aggravated by unbalanced commercial diets in non-protein energy, in different carbohydrate-to-lipid ratio. This study aimed to analyze the production of hybrid red tilapia, both masculinized by hormone and by temperature, in cages. Additionally, non-masculinization was evaluated. Furthermore, the use of diets with low and high carbohydrate-to-lipid ratio was evaluated, consequently, improve the performance and health of fish associated with masculinization or not. Three masculinization treatments (hormone, temperature, and non-masculinization) and two diets with low and high carbohydrate-to-lipid ratio were tested on juveniles in a 3x2 factorial treatment. There was no significant interaction between masculinization and diet for any of the variables studied. The results showed that hormone-induced masculinization resulted in better

weight gain ($381.58 \pm 8.32\text{g}$) and protein efficiency ratio ($2.88 \pm 0.12\%$), but increased daily feed intake per fish ($5.37 \pm 0.50\text{g}$), worsening feed conversion ratio (1.75 ± 0.19), compared to temperature-induced masculinization and non-masculinization. Additionally, hormone-induced masculinization was more efficient in gross energy retention ($28.22 \pm 1.09\%$). For the diets offered to the animals, the high carbohydrate-to-lipid ratio showed results in all performance variables and allowed for better nutrient utilization efficiency. However, this diet resulted in higher levels of triglycerides and cholesterol ($852.50 \pm 219.4 \text{ mg/dL}$ and $176.27 \pm 28.87 \text{ mg/dL}$, respectively). There was an indication of hepatic damage mainly in the treatment with hormone-induced masculinization fed with the high ratio of carbohydrates to lipids diet. In summary, hormonal masculinization improved the performance of Nile tilapia in cages, but alternative methods such as temperature-induced masculinization or non-masculinization are promising for more sustainable aquaculture. A diet with a high ratio of carbohydrates to lipids promoted the best production of hybrid red tilapia as a source of non-protein energy, highlighting the importance of optimizing the use of these nutrients to improve nutritional efficiency.

Keywords: 17- α -methyltestosterone, non-protein energy, red tilapia non masculinization, temperature-induced masculinization.

3.1 Introdução

Com a expansão da aquicultura mundial, mudanças graduais foram feitas nos sistemas de criação de peixes. Com forte intensificação e melhoria da produção de tecnologias (FAO, 2022). Assim, uma espécie altamente beneficiada pelas melhorias na tecnologia de produção foi a tilápia-do-Nilo *Oreochromis niloticus* e seus híbridos, resultando em uma indústria altamente competitiva no mercado internacional (Bentsen et al., 2017). Em comparação com as tilápias de cor escura, as tilápias de cor vermelha são consideradas de alta qualidade e altamente atrativas para consumidores de peixes e apresentando alto valor de mercado pela sua aparência semelhante à de algumas espécies marinhas (Pongthana et al., 2010; Colihueque e Araneda, 2014).

De forma geral, na produção de tilápias geralmente são utilizados peixes masculinizados, com dietas contendo o hormônio 17- α -metilttestosterona em dietas na sua fase inicial de produção (pós-absorção do saco vitelino). Esta técnica é considerada uma importante ferramenta na aquicultura, por produzir indivíduos

machos que apresentem maior crescimento, em comparação as fêmeas no mesmo tempo de cultivo (Meurer et al., 2004). Este procedimento evita que as possíveis fêmeas mobilizem nutrientes e energia para fins reprodutivos, além de desovas indesejadas nos ambientes de produção, proporcionando maior uniformidade nos lotes, e reduzindo interações agressivas e o impacto ambiental desfavorável por escapes (Beardmore et al., 2001).

Entretanto, o uso do hormônio 17- α -metiltestosterona na masculinização de tilápias não é aprovado e ainda está sob investigação pela *Food and Drug Administration* dos EUA; e em países como Índia, Costa Rica, Equador, e de países da União Europeia e de alguns países subsaarianos que restringiram a venda e o cultivo de peixes tratados com hormônios (Mlalila et al., 2015). Os resíduos hormonais e metabólitos podem ser de potencial contaminante ambiental, como demonstrado pelos estudos de Contreras-Sánchez et al. (2001 e 2002). Esses estudos relataram que a utilização de 17-a metiltestosterona na produção de juvenis de tilápia resultou no descarte desses hormônios na água e nos sedimentos dos viveiros, onde eles se acumularam e persistiram no sedimento.

Além da questão ambiental, a saúde dos peixes também é fator de importância. Segundo Dam e Little (2000) e Gayão (2013), observaram que os peixes não submetidos ao processo de masculinização mostraram-se mais resistentes e sem alterações hepáticas. Estes autores também mostraram que não existe grande distinção no desempenho entre machos e fêmeas em tanques-rede. E de acordo com Gayão (2009), os problemas observados no fígado, causados pela utilização do hormônio masculinizante na fase inicial, persistem nas demais fases e são ainda agravados pelo uso de dietas com concentração excessiva de nutrientes das dietas comerciais extrusadas, principalmente de amido e/ou de ingredientes proteicos de baixa digestibilidade.

Do ponto de vista nutricional, as tilápias têm capacidade de poupar proteína e metabolizá-la para o crescimento, quando outras fontes de energia, como carboidratos e lipídeos, são adicionadas às dietas (Boonanuntanasarn et al. 2018a). De maneira semelhante, a incorporação de fontes não protéicas, para o suprimento de energia da dieta, determina maior eficiência de utilização da proteína e, conseqüentemente, melhor crescimento dos peixes. Entretanto, em sistemas de criação intensiva tem sido observado um agravamento das condições mórbidas, pois o arraçoamento com balanceamento nutricional inadequado pode causar o desequilíbrio no metabolismo

energético dos peixes, resultando em acúmulo de lipídios no citoplasma dos hepatócitos, evoluindo para alterações severas de degeneração gordurosa, também chamada de esteatose (Li et al. 2014, Zhang et al. 2014).

Portanto, as várias questões ambientais relacionadas ao uso de hormônios, ou seja, os possíveis efeitos dos resíduos de tratamento na qualidade da água, na saúde e na produção dos peixes, com as crescentes preocupações com a segurança alimentar, mostrou-se a necessidade de estudar alternativas de controle sexual baseadas em métodos não perigosos, produtos ambientalmente conscientes e seguros para o consumo. Questões nutricionais principalmente as relações de carboidratos e lipídios com efeitos poupadores de proteína das dietas representam um grande desafio para aquicultura. Desse modo foram realizados estudos sobre a produção de tilápias vermelhas híbridas masculinizadas ou não em tanques-rede, ainda os benefícios decorrentes da melhor utilização de nutrientes das dietas no uso da relação de carboidratos e lipídios como poupadores da proteína que propiciem em melhor desempenho e saúde aos peixes.

3.2 Material e métodos

Material biológico e condições experimentais

O ensaio foi realizado no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA) do Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP), Campus de Jaboticabal, São Paulo. O experimento foi autorizado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. (CEAU FCAV/UNESP – Protocolo nº 3383/20).

Para o estudo, um pré-experimento na fase inicial de produção das larvas (primeiros 30 dias de vida) foi realizado, no qual um grupo foi selecionado para o tratamento de masculinização por hormônio (MH). Dessa forma para verificar o efeito dessa masculinização por hormônio, foi utilizada nas dietas a dose de 60 mg/kg do hormônio 17- α -metiltestosterona. O hormônio foi pesado em uma balança analítica. Posteriormente foi diluído em álcool etílico hidratado (92%) e misturados na dieta até que ficassem totalmente homogêneas e secas ao ar. As dietas contendo hormônio

foram fornecidas por 30 dias (Popma e Lovshin, 1996), segundo o tratamento tradicional utilizado para masculinização de tilápias.

Outro grupo foi submetido à masculinização por temperatura (MT). Neste protocolo de masculinização envolveu um aumento gradual de 0,5°C/dia na temperatura utilizando termostatos, até atingir um máximo 34°C e mantendo durante os primeiros 14 dias de vida. Após esse período, os termostatos foram removidos, mantendo a temperatura da água ambiente. Por fim, um terceiro grupo não foi submetido a nenhum método de masculinização, perfazendo o tratamento de tilápias não masculinizas (NM).

Após 30 dias da fase de larvicultura, esses grupos de juvenis masculinizados (hormônio e temperatura) ou não masculinizados, foram alimentados com uma dieta comercial padrão para a fase com o objetivo de padronizar o tamanho dos peixes antes da alocação nos tanques-rede para a realização do experimento.

Quando os juvenis dos grupos masculinizados ou não, alcançaram aproximadamente 45.98 ± 0.77 g, cerca de 1080 juvenis foram acondicionados em 18 tanques-rede, na densidade de 60 peixes/m³. Os peixes utilizados foram estocados em 18 gaiolas flutuantes de 1m³ de volume útil (1,0 x 1,0 x 1,2 m), dispostos paralelamente em três linhas de seis gaiolas, no sentido longitudinal em um viveiro de aproximadamente 1.822 m² de espelho d'água e profundidade média de 2,0m e o período experimental compreendeu 128 dias. (dezembro de 2021 à abril de 2022) Entre os tanques-rede, foi colocado um aerador, ligado das 18h30min até às 07h30min do dia seguinte. A alimentação foi realizada cinco vezes ao dia, nos seguintes horários: 08h, 10h30, 13h00, 15h30, 18h até a saciedade aparente.

Dietas experimentais

As análises de nutrientes e energia dos ingredientes e das dietas experimentais da fase de crescimento nos tanques-rede foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do Centro de Aquicultura da UNESP, e no Laboratório de Nutrição Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus de Jaboticabal, SP.

As duas dietas experimentais foram formuladas para serem isoprotéicas (25% de proteína digestível) e isoenergéticas (3070 kcal/kg de energia digestível), seguindo as exigências nutricionais recomendadas para esta fase (Furuya et al., 2010), no qual foram projetadas para terem uma baixa ou alta relação de carboidratos e lipídios ($L_{CHO/L}$ e $H_{CHO/L}$, respectivamente), conforme detalhado na Tabela 1. Os dados de nutrientes e de energia digestíveis dos ingredientes utilizados para formulação das dietas foram calculados com os resultados das análises bromatológicas e os coeficientes de digestibilidade descritos por Pezzato et al. (2002) e Meurer et al. (2003) para a espécie.

Os ingredientes das dietas foram finamente moídos em moinho, com peneira de malha 0,9 mm de diâmetro e processadas em granulometria de 2-3 mm, na extrusora Manzoni modelo MEX-250 na Fábrica de Rações da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP - Campus de Jaboticabal.

Tratamentos experimentais

O estudo foi conduzido em 128 dias, no período das chuvas (dezembro a abril). Foram avaliados seis tratamentos em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) relacionando aos tratamentos de peixes masculinizados (por hormônio e temperatura) ou não masculinizados, e as duas dietas experimentais com baixa e alta relação de carboidratos e lipídios ($L_{CHO/L}$ e $H_{CHO/L}$, respectivamente).

Dessa forma, foram definidos os tratamentos: peixes masculinizados por hormônio, alimentados com alta relação de carboidratos e lipídios (MH- $H_{CHO/LIP}$); peixes masculinizados por hormônio, alimentados com baixa relação de carboidratos e lipídios (MH- $L_{CHO/LIP}$); peixes masculinizados por temperatura, alimentados com alta relação de carboidratos e lipídios (MT- $H_{CHO/LIP}$); peixes masculinizados por temperatura, alimentados com baixa relação de carboidratos e lipídios (MT- $L_{CHO/LIP}$); peixes não masculinizados, alimentados com alta relação de carboidratos e lipídios (NM- $H_{CHO/LIP}$); e peixes não masculinizados, alimentados com baixa relação de carboidratos e lipídios NM- $L_{CHO/LIP}$.

Tabela 1. Formulação e composição das dietas experimentais para a produção em tanques-rede de tilápias híbridas vermelhas (*Oreochromis* spp.) masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios.

Ingredientes (%)	Dietas experimentais	
	L _{CHO/LIP}	H _{CHO/LIP}
Hemoglobina suína ^A	3,00	3,00
Farelo de Soja ^B	22,80	29,80
Glúten de milho - Protenose ^C	16,50	14,94
Milho ^D	6,00	8,00
Farelo de Arroz ^E	22,00	4,44
Quirera de arroz ^F	16,00	-
Amido ^G	-	34,50
Óleo de soja ^H	3,55	1,99
BHT - Banox ^I	0,20	0,20
Calcário Calcítico ^J	0,95	0,69
Fosfato Bicálcico ^K	1,10	1,50
DL – Metionina ^L	-	0,06
L - Lisina ^M	0,05	-
Premix ^N	0,50	0,50
Sal ^O	0,20	0,20
Antifúngico – Mold-Zap ^P	0,15	0,15
Vitamina C – Fosfatada 35% ^Q	0,02	0,02
Caulim ^R	6,98	-
Composição analisada		
Proteína bruta	27,22	26,79
Proteína digestível ^S	25,17	25,11
Extrato etéreo	7,73	4,46
Fibra bruta	4,82	4,80
Cinzas	6,81	5,72
Extrato não nitrogenado	37,98	49,16
Energia Bruta (MJ/kg)	17,15	17,39
Energia Digestível (MJ/Kg) ^S	12,83	12,83
Proteína de Origem Animal	7,00	7,14
Relação CHO/LIP ^T	4,91	11,02

^A Hemoprot, Lins, SP, Brasil. Proteína: 87,90%; Extrato Etéreo: 0,75%; Energia Bruta (Kcal. Kg⁻¹): 5221,20. ^B Copercana, Jaboticabal, SP, Brasil. Proteína: 46,45%; Extrato Etéreo: 2,23%; Energia Bruta (Kcal. Kg⁻¹): 4.285,06. ^C Ingredion, Mogi Guaçu, SP, Brasil. Proteína: 58,78; Extrato Etéreo: 1,99; Energia Bruta (Kcal. Kg⁻¹): 5064,78. ^D Copercana, Jaboticabal, SP, Brasil. Proteína: 8,69%; Extrato Etéreo: 3,26%; Energia Bruta (Kcal. Kg⁻¹): 4.038,25. ^E Arroz Marcon, Jaboticabal, SP, Brasil. Proteína: 12,17%; Extrato Etéreo: 14,55%; Energia Bruta (Kcal. Kg⁻¹): 4.545,76. ^F Arroz Marcon, Jaboticabal, SP, Brasil. Proteína: 7,86%; Extrato Etéreo: 1,28%; Energia Bruta (Kcal. Kg⁻¹): 3696,66. ^G Ingredion, Mogi Guaçu, SP, Brasil. Proteína: 0,44; Extrato Etéreo: 0,25; Energia Bruta (Kcal. Kg⁻¹): 3636,22. ~28% amilose e 72% amilopectina ^H Copercana, Jaboticabal, SP, Brasil. ^I, Alltech, Maringá, PR, Brasil. ^J, ^K Agromix, Jaboticabal, SP, Brasil. ^L, ^M CJ do Brasil Indústria e Comércio de Produtos Alimentícios Ltda, Piracicaba, SP, Brasil. ^N Socil, Cada 1% contém: ácido fólico (1 mg); ácido pantotênico (20 mg); antioxidante (125 mg); colina (150 mg); cobre (10 mg); ferro (100 mg); iodo (5 mg); manganês (70 mg); selênio (0,15 mg); vitamina A (3.000 IU kg⁻¹); vitamina B (16 mg); vitamina B12 (20 mg); vitamina B2 (8 mg); vitamina B6 (3 mg); vitamina C (350 mg); vitamina D3 (3000 IU kg⁻¹); vitamina E (200 IU kg⁻¹); vitamina K (6 mg); zinco (150 mg); niacina (100 mg); biotina (0,10 mg). ^O Multitec, Jaboticabal, SP, Brasil. ^P Alltech, Maringá, PR, Brasil. ^Q MCassab, São Paulo, SP, Brasil. ^R Agromix, Jaboticabal, SP, Brasil. ^S Calculado com base em Pezzato et al. (2002) e Meurer et al. (2003). ^T The carbohydrate and lipid ratios were calculated as follows: CHO:LIP ration = Nitrogen-free extract/Ether extract.

Parâmetros físico-químicos da água

Durante o experimento, foram aferidas diariamente as medidas de oxigênio dissolvido (mg/l) e a temperatura (°C) da água no ambiente de cultivo no período da manhã e da tarde. O potencial hidrogeniônico (pH), a condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e a transparência (cm) foram medidos semanalmente, no período matutino com sonda Hanna Waterproof (HI 98129). Além disso, as concentrações de amônia (mg/l), nitrito (mg/l), nitrato (mg/l) e fósforo total (mg/l) também foram mensuradas quinzenalmente e analisadas conforme recomendação do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Diariamente foi monitorada a presença de peixes mortos para o cálculo da sobrevivência durante o cultivo.

Durante o período experimental, não foram observados sinais patológicos nos peixes nos tratamentos. Os valores médios para temperatura (°C) de manhã e à tarde em foram 26.87 ± 0.71 e 28.92 ± 1.22 °C respectivamente. Enquanto o oxigênio dissolvido (mg/l) de manhã e à tarde foram 3.89 ± 0.56 e 5.86 ± 1.06 , respectivamente. Para o pH, condutividade elétrica (us/cm), amônia (mg/l), nitrito (mg/l), nitrato (mg/l) e fósforal total (mg/l) foram: $7,58 \pm 0,20$; 72.08 ± 7.58 ; 82.05 ± 9.17 ; 0.073 ± 0.013 ; 0.008 ± 0.001 ; 0.050 ± 0.011 e 1.374 ± 0.138 respectivamente.

Dessa forma, foi observado baixo oscilação entre a temperatura de manhã e à tarde. O oxigênio pela manhã foi menor quando comparado à tarde, devido a presença do fitoplâncton durante o dia, liberando oxigênio para o meio. Ainda, notou-se pH variando do neutro para alcalino e baixa amplitude da transparência. Para as variáveis de amônia, nitrito, nitrato e fósforo total foram observadas médias dentro dos valores da faixa ideal para a produção de tilápia (El-Sayed, 2019).

Parâmetros de desempenho e efetividade da masculinização

No início e no final do experimento, foram tomadas medidas de comprimento total, padrão e peso dos peixes de cada gaiola experimental. Com estes valores, foram calculados para cada parcela os resultados de ganho em peso médio (GP), conversão alimentar aparente (CAA), consumo médio (CS), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de eficiência proteica (TEP), sobrevivência e uniformidade do lote (representada pelo coeficiente de variação do peso dos peixes), seguindo as fórmulas:

$$GP (g) = \text{peso médio final} - \text{peso médio inicial da parcela}$$

$$CAA = \frac{\text{Ganho de peso médio}}{\text{Consumo médio de ração}}$$

$$CS (g) = \frac{\text{Quantidade fornecida de ração}}{\text{Número de peixes}}$$

$$TCE (\%/dia) = 100 \times \frac{\text{Ln peso final} - \text{Ln peso inicial}}{\text{número de dias}}$$

$$TEP (\%) = \frac{\text{Ganho de peso médio}}{\text{Proteína bruta da dieta} \times \text{consumo médio}}$$

$$\text{Sobrevivência} (\%) = \frac{\text{Número final de peixes}}{\text{Número inicial de peixes}} \times 100$$

No final do período experimental (128 dias), todos os peixes das unidades experimentais foram coletados para determinar a proporção de machos dos peixes masculinizados por hormônio e de temperatura, além dos não masculinizados. A determinação do sexo foi realizada por duas pessoas com experiência e conferidas através da visualização das papilas urogenitais dos peixes. Os resultados de machos presentes em cada unidade experimental foram calculados seguindo a fórmula:

$$\text{Machos} (\%) = \frac{\text{Número de machos}}{\text{Número total de peixes}} \times 100$$

Variáveis morfo-somáticas e análise histológica hepática

Foram coletados cinco exemplares em cada tanque-rede ao final do período experimental (totalizando quinze peixes por tratamento) para o cálculo do índice hepatossomático e índice gorduro viscerossomático. Os peixes foram eutanaziados (benzocaína) por aprofundamento em plano anestésico conforme a Resolução Normativa nº 13, de 20 de setembro de 2013 do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CNEA). Os peixes foram eviscerados para a pesagem das vísceras e de toda a gordura, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{Índice gorduro viscerossomático} (\%) = 100 \times \frac{\text{Peso da gordura visceral}}{\text{Peso do peixe}}$$

$$\text{Índice hepatossomático (\%)} = 100 \times \frac{\text{Peso do fígado}}{\text{Peso do peixes}}$$

Para a análise histológica, foram utilizados os mesmos cinco peixes coletados para a análise das variáveis morfo-somáticas de cada parcela, totalizando 15 peixes por tratamento. Fragmentos de fígado de tilápia de aproximadamente 1,0 cm³ foram fixados em solução de formol 10% por 24 horas. Após fixação, o material foi preservado em álcool a 70%, para posterior realização da análise histológica. A inclusão do material foi realizada em parafina. A microtomia foi realizada em micrótomo automático Leica-RM2155, (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Alemanha), com auxílio de navalhas descartáveis. Cortes de cinco micrometros (µm) foram corados com Hematoxilina-Eosina e as lâminas montadas com Entellan (Merck). As lâminas foram observadas em microscópio (Olympus BX43) e o registro fotográfico realizado por câmera digital Olympus DP73 utilizando o software Olympus cellSens para a descrição histológica. Assim, uma análise histológica comparativa entre os tratamentos foi conduzida nos fígados das tilápias híbridas vermelhas, evidenciando a gravidade das alterações identificadas, que incluíram um aumento significativo na incidência de congestão, acumulação de gordura, estase sanguínea, deslocamento do núcleo e outras mudanças celulares. Para classificar a severidade das lesões, foi adotada um índice de severidade de dano hepático (ISDH) sendo adaptada uma escala conforme proposta por Bernet et. al. (1999), onde cada exemplar foi atribuído a um valor numérico correspondente ao grau de alteração histopatológica observada. Esta escala variou desde o grau 1, indicando ausência de alteração, até o grau 6, representando lesões amplamente distribuídas, permitindo uma ordenação das lesões de acordo com sua severidade.

Parâmetros de eficiência nutricional

Para determinação dos parâmetros de eficiência nutricional, os peixes foram submetidos a jejum de 24 horas, antes de serem eutanasiados por aprofundamento do plano anestésico em benzocaína conforme a Resolução Normativa nº 13, de 20 de setembro de 2013 do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA). Inicialmente, foram coletados 20 peixes de cada um dos três tratamentos (masculinização por hormônio, temperatura e não

masculinização). Ao término do experimento, foram selecionados 6 peixes de cada parcela, totalizando 18 peixes por tratamento.

Todos os peixes foram identificados, acondicionados em sacos plásticos e congelados em freezer para análises futuras. As amostras dos peixes foram moídas e homogeneizadas para determinação de matéria seca (realizada em liofilizadora), proteína bruta (pelo método de Kjeldahl), lipídios (por hidrólise ácida), matéria mineral (em mufla), e energia bruta (determinada em bomba calorimétrica de Parr), de acordo com a metodologia da AOAC (2012). Com os resultados obtidos na análise de composição corporal e desempenho, foram realizados os cálculos de eficiência de retenção de proteína bruta e de energia bruta, além das proporções de proteína bruta e de extrato etéreo no ganho em peso, de acordo com as seguintes expressões:

$$\text{Eficiência de retenção de proteína bruta (\%)} = \frac{(PBf \times Pf) - (PBi \times Pi)}{CPB} \times 100$$

$$\text{Eficiência de retenção de energia bruta (\%)} = \frac{(EBf \times Pf) - (EBi \times Pi)}{CEB} \times 100$$

$$\text{Proporção de proteína bruta no ganho de peso (\%)} = \frac{(PBf \times Pf) - (PBi \times Pi)}{Pf - Pi} \times 100$$

$$\text{Proporção de extrato etéreo no ganho de peso (\%)} = \frac{(EEf \times Pf) - (EEi \times Pi)}{Pf - Pi} \times 100$$

Onde: PBf, EBf e EEf= níveis de proteína bruta, energia bruta e extrato etéreo final corporal; PBi, EBi e EEi= níveis de proteína bruta, energia bruta e extrato etéreo inicial na Coporal; CPB= consumo de proteína bruta; CEB= consumo de energia bruta; Pi e Pf= peso médio inicial e final dos peixes.

Índices bioquímicos sanguíneos

Para os índices bioquímicos sanguíneos foram amostrados cinco peixes por unidade experimental, sendo 15 peixes por tratamento, totalizando 90 peixes. Os peixes foram eutanasiados em solução alcoólica de benzocaína (300 mg L⁻¹) e o sangue colhido por punção do vaso caudal. O sangue total foi dividido em tubos tipo Eppendorf, contendo 20 µL de heparina na concentração de 100 UI/mL⁻¹, e em tubos sem heparina, para a obtenção do soro.

As amostras foram centrifugadas à 3.000 rpm, durante 10 min, para separação do soro, que foi estocado em Freezer à -80°C para posterior determinação de proteína total, albumina, creatinina, triglicerídeos, colesterol, glicose, aspartato-aminotransferase (AST), alanina-aminotransferase (ALT) e fosfatase alcalina (FA) através do kit comercial Labtest®. Todas as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Microbiologia e Parasitologia de Organismos Aquáticos do Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal/SP.

Análise dos dados

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Os resultados foram analisados usando análise de variância bidirecional (ANOVA *two-way*) verificando possíveis efeitos das masculinizações ou não; e das diferentes relações de carboidratos e lipídios nas dietas, e das interações entre eles. Para testar possíveis diferenças das variáveis, foi empregado o teste Tukey de comparação de média, após ANOVA mostrar diferenças significativas utilizando o programa R 3.6.1. O nível de significância utilizado para todas as análises do presente estudo foi de 5% ($P \leq 0,05$).

3.3 Resultados

Para os parâmetros de desempenho estudados, não houve interação do efeito da masculinização com o efeito da dieta, porém houve diferenças significativas para os efeitos das masculinizações e os efeitos das dietas, com exceção da sobrevivência (Tabela 2). A masculinização por hormônio resultou em valores superiores de ganho de peso, taxa de crescimento específico e taxa de eficiência proteica, mas também levou a um maior consumo de ração por peixe afetando a conversão alimentar.

Os efeitos da masculinização não diferiram quanto aos parâmetros de desempenho, com exceção a conversão alimentar aparente, no qual a não masculinização apresentou o melhor resultado. Para a efetividade da masculinização, o maior valor foi concedida pela masculinização por hormônio (100%), seguida pela masculinização por temperatura (98,37%) e o grupo não masculinizado apresentou também média elevada de machos não masculinização (94,64%).

Tabela 2. Análises das variáveis de desempenho e efetividade da masculinização na produção em tanques-rede de tilápias híbridas vermelhas (*Oreochromis spp.*) masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios.

Estatísticas	PI (g)	PF (g)	GP (g)	CS (g)	CAA	TCE (%)	TEP (%)	Sobrevivência	Efetividade da masculinização (%)
Médias para efeitos da masculinização									
Masc. Hormônio	46,21 ± 0,40	428,30 ± 8,44 a	381,58 ± 8,32 a	5,37 ± 0,50 a	1,75 ± 0,19 ab	1,74 ± 0,02 a	2,88 ± 0,12 a	94,36 ± 2,86	100,00 ± 0,00 a
Masc. Temperatura	45,88 ± 0,66	401,24 ± 9,41 b	353,72 ± 11,73 b	5,21 ± 0,29 b	1,80 ± 0,20 b	1,70 ± 0,02 b	2,71 ± 0,15 b	93,23 ± 2,58	98,37 ± 1,90 a
Não Masculinização	45,93 ± 0,59	409,40 ± 13,47 b	366,39 ± 15,40 b	5,02 ± 0,34 b	1,59 ± 0,19 a	1,71 ± 0,02 b	2,64 ± 0,21 b	95,69 ± 2,12	94,64 ± 2,56 b
Médias para efeitos das dietas									
Baixa Relação CHO/LIP	45,63 ± 0,75	405,67 ± 18,84 b	361,20 ± 17,22 b	5,43 ± 0,42 a	1,86 ± 0,16 b	1,70 ± 0,02 b	2,69 ± 0,18 b	94,70 ± 3,78	97,15 ± 3,50
Alta Relação CHO/LIP	46,32 ± 0,64	416,95 ± 15,64 a	373,24 ± 14,00 a	4,97 ± 0,20 b	1,57 ± 0,14 a	1,73 ± 0,02 a	2,87 ± 0,09 a	95,48 ± 2,36	97,86 ± 2,69
Valores de P (ANOVA):									
Efeito da masculinização (M)	0,1964 ^{NS}	0,0020 *	0,0023 *	0,0232 *	0,0273 *	0,0022 *	0,0019 *	0,3332 ^{NS}	0,0019 *
Efeito da dieta (D)	0,1158 ^{NS}	0,0290 *	0,0319 *	0,0115 *	0,0003 *	0,0176 *	0,0001 *	0,5356 ^{NS}	0,7054 ^{NS}
Interação M x D	0,5022 ^{NS}	0,3648 ^{NS}	0,3686 ^{NS}	0,8081 ^{NS}	0,9677 ^{NS}	0,3384 ^{NS}	0,1248 ^{NS}	0,4350 ^{NS}	0,9606 ^{NS}

Valores são médias de três réplicas ± desvio padrão. CHO/LIP: Carboidratos e lipídios; PI: Peso inicial; PF: Peso final; GP Ganho em peso; CAA: Conversão alimentar aparente; CS: Consumo diário de ração por peixe; Consumo diário; TCE: Taxa de crescimento específico; TEP: Taxa de eficiência proteica; Uniformidade: Coeficiente de variação do peso dos peixes. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$). * significativo ao nível de 5%. NS – não significativo.

As dietas não apresentaram efeito sobre as variáveis de sobrevivência e a porcentagem de machos. Em relação ao desempenho a dieta com alta relação de carboidratos e lipídios apresentou melhores resultados em comparação com a dieta com baixa relação, exceto para o consumo diário de ração por peixe.

Para as variáveis morfo-somáticas e de eficiência de utilização de nutrientes não houve interação entre os efeitos da masculinização e das dietas (Tabela 3). Entretanto a eficiência de retenção da energia bruta obteve maior média para o grupo de masculinização por hormônio ($P \leq 0,05$). Observou-se que a alta relação de carboidratos e lipídios obteve as maiores médias para as variáveis morfo-somáticas e de eficiência de utilização de nutrientes, com exceção da proporção de proteína bruta no ganho de peso e da proporção de extrato etéreo no ganho de peso.

Na análise histológica hepática constatou-se alterações hepáticas, independentemente da masculinização ou não e das dietas de diferentes relações de carboidratos e lipídios (Figura 1). Quando avaliado o índice de severidade de dano hepático não houve interação entre os efeitos testados (masculinização e dieta) (Tabela 3). Houve diferença significativa para o efeito da masculinização, principalmente em peixes masculinizados por hormônio (Tabela 3; Figura 1A e 1B). Nesse tratamento, houve aumento concentração de vacuolização da gordura, aumento no volume celular e desorganização dos hepatócitos, com migração do núcleo e estase sanguínea indicando esteatose hepática. Essas observações também foram constatada no tratamento com masculinização por temperatura (Tabela 3) em especial com a dieta com alta relação de carboidratos e lipídios (Figura 2A e 2B).

No tratamento sem a realização dos métodos de masculinização observou um menor grau de severidade de dano hepático (Tabela 3; Figura 3A e 3B). Nessas condições, foram identificados hepatócitos arredondados, de tamanho normal, com núcleo central e organização cordonal, exibindo menor vacuolização de gordura.

Para os índices bioquímicos do sangue não houve interação entre os efeitos da masculinização e dieta, e para o efeito da masculinização (Tabela 4). No entanto, foram encontradas diferenças significativas para o efeito da dieta, nos teores de triglicerídeos e colesterol. As maiores médias de triglicerídeos e colesterol foram observadas nos peixes alimentados com a dieta com alta relação de carboidratos e lipídios.

Tabela 3. Análise das variáveis morfo-somáticas e de eficiência de utilização de nutrientes na produção em tanques-rede de tilápias híbridas vermelhas (*Oreochromis spp.*) masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios.

Estatísticas	IHS (%)	IGVS (%)	ISDH	ERPb (%)	EREB (%)	PBGP (%)	EEGP (%)
Médias para efeitos da masculinização							
Masc. Hormônio	2,85 ± 0,50	3,96 ± 0,55	3,44 ± 1,04 a	31,66 ± 3,14	28,22 ± 1,09 a	15,08 ± 0,58	18,36 ± 1,68
Masc. Temperatura	2,93 ± 0,44	3,83 ± 0,65	3,06 ± 1,00 b	29,30 ± 2,33	26,22 ± 0,64 b	14,86 ± 0,28	18,67 ± 0,93
Não Masculinização	2,58 ± 0,43	4,16 ± 0,65	2,94 ± 1,11 b	31,92 ± 2,84	26,64 ± 0,93 b	15,04 ± 0,30	17,93 ± 0,83
Médias para efeitos das dietas							
Baixa relação CHO/LIP	2,49 ± 0,43 b	3,62 ± 0,46 b	2,89 ± 1,09 b	29,16 ± 3,13 b	26,38 ± 1,22 b	15,08 ± 0,46	18,83 ± 1,03
Alta relação CHO/LIP	2,97 ± 0,43 a	4,34 ± 0,50 a	3,41 ± 1,05 a	32,76 ± 1,88 a	27,68 ± 0,90 a	14,91 ± 0,33	17,81 ± 1,15
Valores de p (ANOVA):							
Efeito da masculinização (M)	0,3855 ^{NS}	0,5545 ^{NS}	0,0454 *	0,1758 ^{NS}	0,0612 *	0,1906 ^{NS}	0,5719 ^{NS}
Efeito da dieta (D)	0,0379 *	0,0127 *	0,0447 *	0,0097 *	0,0028 *	0,1094 ^{NS}	0,0942 ^{NS}
Interação M x D	0,5058 ^{NS}	0,9240 ^{NS}	0,8149 ^{NS}	0,5603 ^{NS}	0,5015 ^{NS}	0,1301 ^{NS}	0,8911 ^{NS}

Valores são médias de três réplicas ± desvio padrão. CHO/LIP: Carboidratos e lipídios; IHS: Índice hepatossomático; IGVS: Índice gorduro viscerossomático; ISDH: Índice de severidade de dano hepático; ERPb: Eficiência de retenção de proteína bruta; EREB: Eficiência de retenção de energia bruta; PBGP: Proporção de proteína bruta no ganho em peso; EEGP: Proporção de proteína bruta no extrato etéreo no Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$). * significativo ao nível de 5%. ^{NS} – não significativo.

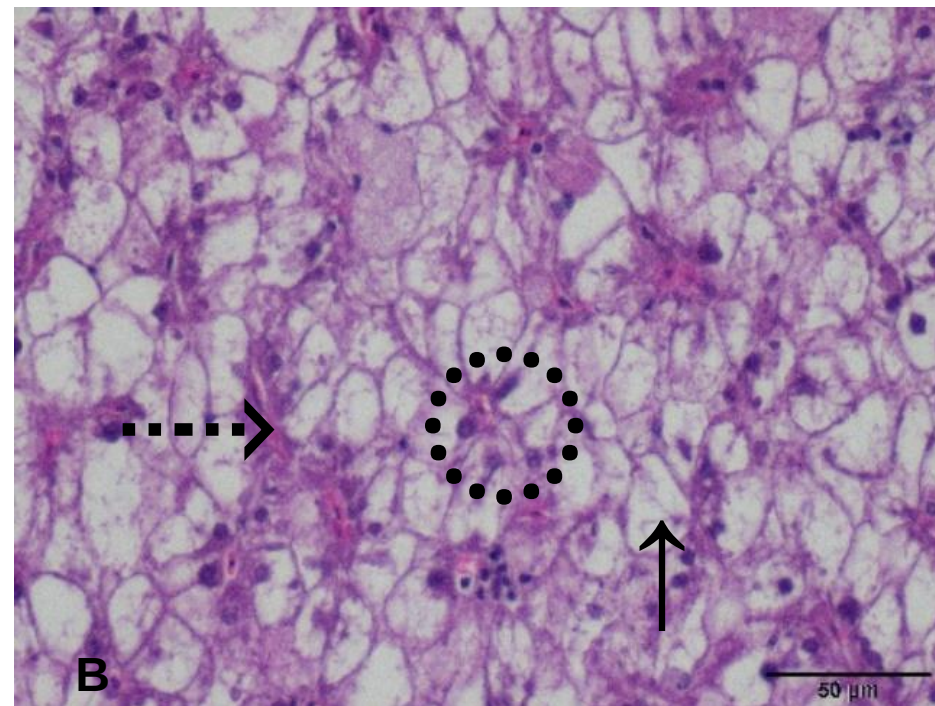
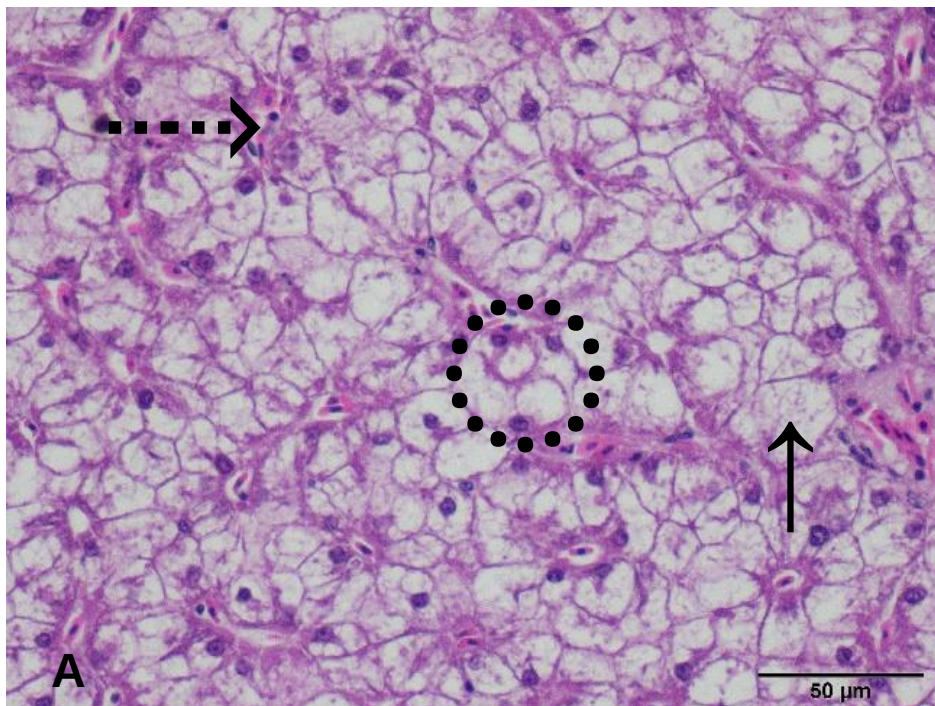


Figura 1. Fotomicrografia de fígado de juvenis de tilápias híbridas vermelhas masculinizados por hormônio, alimentadas com dietas relação de carboidratos e lipídios (A) e alta relação de carboidratos e lipídios (B). Vacuolização da gordura (VG) (seta grossa); estase sanguínea (Seta pontilhada); desarranjo cordonal dos hepatócitos com migração do núcleo (Círculo pontilhado). HE 40x.

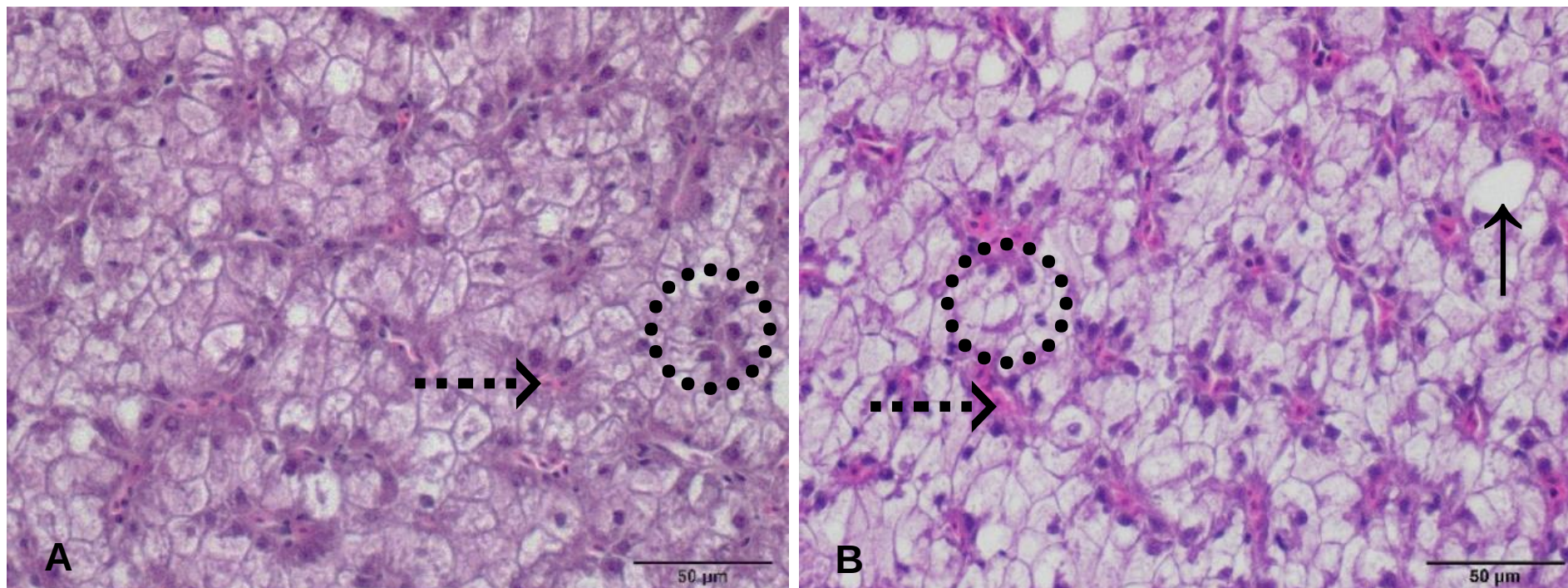


Figura 2. Fotomicrografia de fígado de juvenis de tilápias híbridas vermelhas masculinizados por temperatura, alimentadas com dietas de baixa relação de carboidratos e lipídios (A) e alta relação de carboidratos e lipídios (B). Vacuolização da gordura (VG) (seta grossa); estase sanguínea (Seta pontilhada); desarranjo cordonal dos hepatócitos com migração do núcleo (Círculo pontilhado). **HE 40x**. A) masculinização por temperatura e baixa relação de carboidratos e lipídios. B) masculinização por temperatura alimentadas e alta relação de carboidratos e lipídios.

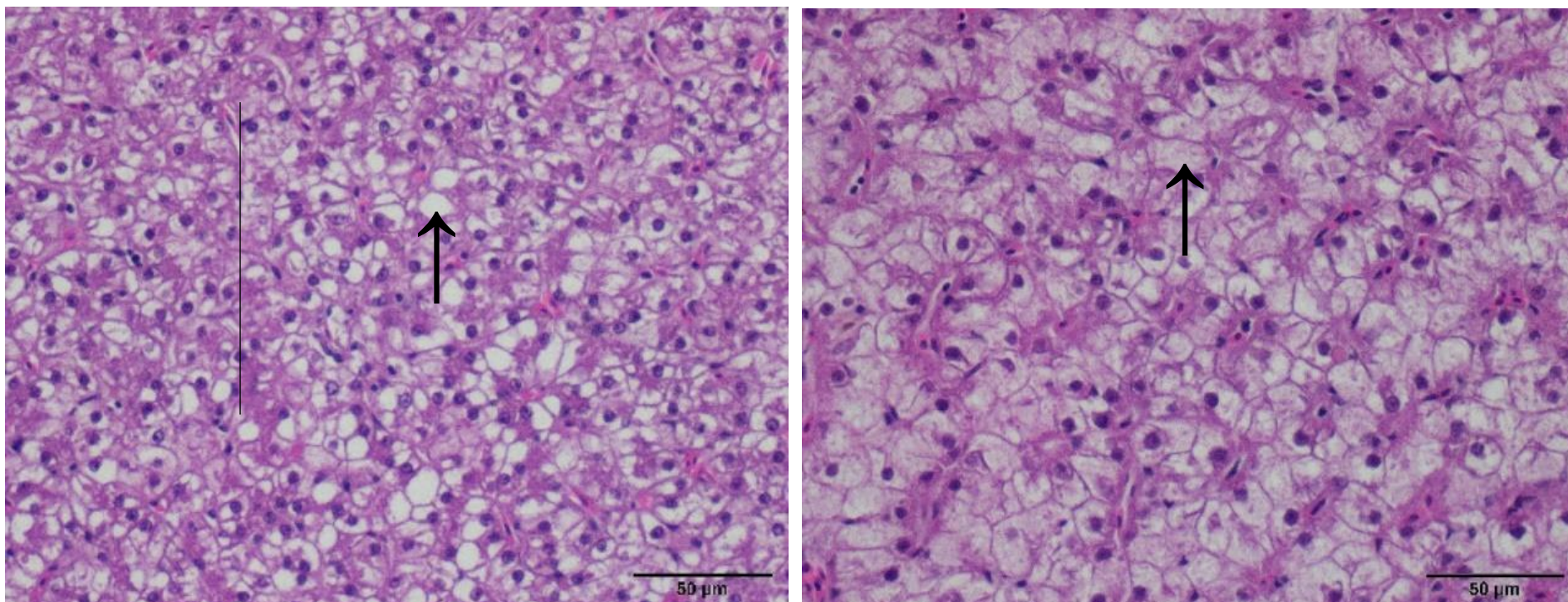


Figura 3. Fotomicrografia de fígado de juvenis de tilápias híbridas vermelhas não masculinizados, alimentadas com dietas de baixa relação de carboidratos e lipídios (A) e alta relação de carboidratos e lipídios. Vacuolização da gordura (VG); Arranjo cordonal dos hepatócitos (Traço). **HE** 40x. A) Sem a masculinização e baixa relação de carboidratos e lipídios. B) Sem a masculinização e alta relação de carboidratos e lipídios.

Tabela 4. Índices bioquímicos no sangue na produção em tanques-rede de tilápias híbridas vermelhas (*Oreochromis* spp.) masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios.

Estatística	Proteína total (g/dL)	Albumina (g/dL)	Creatinina (mg/dL)	Triglicerídeos (mg/dL)	Colesterol (mg/dL)	Glicose (mg/dL)	AST (U/L)	ALT (U/L)	FA (U/L)
Médias para efeitos da masculinização									
Masc. Hormônio	4,67 ± 0,49	0,50 ± 0,06	0,29 ± 0,06	677,76 ± 240,84	148,07 ± 27,23	81,97 ± 22,89	112,43 ± 57,35	52,02 ± 22,80	86,39 ± 14,44
Masc. Temperatura	4,22 ± 0,34	0,45 ± 0,04	0,27 ± 0,08	728,23 ± 139,98	151,10 ± 35,99	101,10 ± 23,52	115,51 ± 54,29	56,35 ± 13,81	85,81 ± 8,68
Não Masculinização	4,49 ± 0,28	0,46 ± 0,05	0,28 ± 0,05	673,71 ± 186,37	157,63 ± 44,41	95,19 ± 20,54	137,16 ± 57,85	46,64 ± 14,66	83,88 ± 12,42
Médias para efeitos das dietas									
Baixa Relação CHO/LIP	4,41 ± 0,47	0,47 ± 0,04	0,28 ± 0,07	533,97 ± 135,32 b	128,27 ± 20,29 b	86,03 ± 20,61	132,27 ± 62,66	55,38 ± 18,63	82,18 ± 13,17
Alta Relação CHO/LIP	4,51 ± 0,34	0,49 ± 0,06	0,28 ± 0,05	852,50 ± 219,45 a	176,27 ± 28,87 a	94,42 ± 25,50	107,13 ± 43,12	47,96 ± 15,36	88,55 ± 8,96
Valores de P (ANOVA):									
Efeito da masculinização (M)	0,1714 ^{NS}	0,6425 ^{NS}	0,8413 ^{NS}	0,9626 ^{NS}	0,8209 ^{NS}	0,3801 ^{NS}	0,8447 ^{NS}	0,6183 ^{NS}	0,9394 ^{NS}
Efeito da dieta (D)	0,6046 ^{NS}	0,6856 ^{NS}	0,8877 ^{NS}	0,0451 [*]	0,0025 [*]	0,4681 ^{NS}	0,3872 ^{NS}	0,3683 ^{NS}	0,3140 ^{NS}
Interação M x D	0,4091 ^{NS}	0,1524 ^{NS}	0,1268 ^{NS}	0,7114 ^{NS}	0,4803 ^{NS}	0,4738 ^{NS}	0,6938 ^{NS}	0,2189 ^{NS}	0,9206 ^{NS}

Valores são médias de três réplicas ± desvio padrão. CHO/LIP: Carboidratos e lipídios AST: Aspartato-aminotransferase; ALT: Alanina-aminotransferase; FA: Fosfatase alcalina Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$). * significativo ao nível de 5%. ^{NS} - não significativo

3.4 Discussão

Esperava-se um crescimento maior das tilápias em termos de desempenho durante o período de estudo. No entanto, alguns estudos justificam o menor desempenho observado da tilápia vermelha híbrida, comparada com a tilápia-do-Nilo que pode estar associado a fatores genéticos. De acordo com Mainardes Pinto et al. (2011), ao analisarem tilápias vermelhas da Flórida criadas em diferentes densidades em tanques-rede instalados em viveiros, constatou-se que, em 110 dias de cultivo com uma densidade de 200 peixes por metro cúbico, a variedade tailandesa teve um peso médio inicial de 53,7g e um peso médio final de 525,2g, enquanto a variedade vermelha da Flórida teve um peso médio inicial de 49,9g e um peso médio final de 261,3g. Além disso, Brol et al. (2017) também descrevem o baixo desempenho da variedade vermelha em relação à *Oreochromis niloticus* - linhagem GIFT em sistemas de bioflocos com diferentes densidades de estocagem.

As tilápias vermelhas que foram submetidas a masculinização por hormônio atingiram o melhor desempenho em comparação os demais tratamentos de masculinizações (por temperatura e os não masculinizados). Porém, as tilápias vermelhas não masculinizadas, seguidas pelas tilápias masculinizadas por temperatura demonstraram um menor consumo médio de ração, resultando em uma melhor média de conversão alimentar. Isso indica uma maior eficiência na utilização do alimento consumido. Esses resultados contradizem os achados de Gayão et al. (2013), nos quais a masculinização hormonal resultou na melhor média de conversão alimentar.

Alguns pesquisadores comprovaram que a utilização do hormônio na masculinização também promove, de fato, o maior crescimento de tilápias (Gayão et al., 2013; Gómez-Márquez et al., 2015; Kenbenya e Ondiba, 2021; Bostock et al., 2022). Quando administrado, o hormônio promove ações de crescimento intimamente ligadas a elevações no metabolismo do hormônio do crescimento (GH) (Straus et al., 2013; Khalil et al., 2011), induzindo a produção de hipertrofia muscular e aumentando a síntese de proteína muscular (Megbowon e Mojekwu, 2014). Esse fato responde aos resultados do presente estudo, mostrando maior crescimento e maior consumo por parte das tilápias

vermelhas híbridas masculinizadas por hormônio para expressar tal comportamento de crescimento, independentemente da dieta fornecida.

Contudo, os resultados obtidos sugerem que modelos de masculinização por temperatura ou a não masculinização podem ser alternativa viáveis para a produção de tilápias vermelhas híbridas, em vez da masculinização hormonal, já que os resultados de desempenho foram numericamente semelhantes entre os dois tratamentos.

É interessante notar que os diferentes métodos de masculinização utilizados apresentaram diferenças significativas em sua efetividade para a masculinização. Como era esperado, a masculinização por hormônio resultou em 100% de machos. No entanto, o que é particularmente interessante neste estudo é que tanto a masculinização por temperatura quanto a não masculinização resultaram em uma porcentagem de machos acima de 94%.

Acredita-se que o sucesso desses métodos de masculinização em tilápias híbridas pode ser explicado por vários fatores, incluindo a hibridização interespecífica e a interação de diversos componentes, tais como fatores ambientais, genéticos e fenotípicos, bem como a influência dos pais no processo reprodutivo (Baroiller e D'costa, 2001; Bearmore et al, 2001; Novelo et al., 2021). E talvez devido a temperatura em torno de 30°C durante os 30 dias iniciais de vida e produção desses peixes.

A tilápia vermelha estudada neste trabalho é o resultado de um processo de hibridização. De acordo com El-Zaeem e Salam (2013), a hibridização desempenha um papel importante na produção de tilápias monosssexuais, e em certas espécies, como a tilápia-do-Nilo e a tilápia azul, tem levado à predominância de descendentes masculinos (Hulata, 2001). A hibridação entre *Oreochromis niloticus* e *Oreochromis aureus*, conforme destacado por Marengoni et al. (1998), tornou-se amplamente adotada e é considerada uma das medidas mais eficazes para a produção de progênes de tilápias exclusivamente masculinas. Em alguns casos, esse processo de hibridação pode resultar em uma taxa de 100% do sexo masculino (Hulata et al., 1983).

Além disso, Cnaani et al. (2008) confirmaram a complexidade da determinação do sexo por padrões de segregação de marcadores de DNA,

mostrando variações tanto na linhagem quanto na espécie entre as tilápias. A hibridização pode produzir porcentagens consistentemente altas de machos, especialmente se *Oreochromis urolepis hornorum* for usado como reprodutor macho. No entanto, a *O. niloticus* é geralmente a espécie de escolha devido ao seu alto potencial de crescimento, e qualquer diluição por hibridização geralmente resulta em perda de desempenho que é apenas parcialmente compensada pelo aumento do crescimento em populações monossexuais (Mair et al., 1997).

Um outro fator preponderante na efetividade da masculinização pode ter sido a temperatura na estufa de criação das larvas (~30°C) durante as fases iniciais de produção (juvenis de até 2g), o que pode ter influenciado na masculinização das larvas do grupo que foi denominado como não masculinizado. Algumas variedades de tilápia, são mais susceptíveis aos efeitos da temperatura durante a larvicultura na masculinização do que outras variedades (Baras, Jacobs e Mélard, 2001). Esses autores também relatam que a razão sexual de progênes pode ser atribuída à heterogeneidade das linhagens avaliadas, sendo que a maior heterose, maior a variação na proporção dos sexos.

A relação entre carboidratos e lipídios revelou ser um fator importante que influenciou o desempenho dos peixes e sua utilização como fonte de energia não proteica. A inclusão de uma dieta com uma alta relação de carboidratos/lipídios (HCHO/LIP) resultou em melhores resultados em todos os parâmetros de desempenho avaliados. Mesmo com um consumo reduzido, os peixes alimentados com a dieta de alta relação carboidrato/lipídio utilizaram eficientemente a proteína disponível no alimento, resultando em maiores médias de ganho de peso, taxa de crescimento específico, eficiência proteica e uma melhor conversão alimentar.

Esses resultados também podem ser corroborados em outros trabalhos, com juvenis de tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*). Wang et al. (2005) observaram que juvenis de tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) podem utilizar até 46% de amido na dieta sem comprometer seu crescimento, enquanto outros recebendo as dietas com os menores teores (6 ou

14% de amido) utilizaram maior proporção de proteína, mas não para deposição tecidual, e sim como fonte energética.

Outra espécie que utiliza os carboidratos de forma muito eficaz como fonte de energia para o crescimento, mas que também depende de um equilíbrio com outros nutrientes é o pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Abimorad e Carneiro (2007), verificaram que a utilização de uma dieta contendo 23% da proteína digestível, 46% de extrativo não nitrogenado e 4% de lipídios, promoveu o crescimento dos peixes, e com resultados satisfatórios para parâmetros fisiológicos relacionados ao metabolismo intermediário. Além disso, Deng et. al. (2021) relataram que uso de até 40% de amido gelatinizado na dieta de enguia d'água (*Monopterus albus*) não afetou o desempenho de crescimento após 47 dias de alimentação, embora o nível de amido gelatinizado de 28% tenha sido considerado o ideal. Em geral espécies de peixes de águas quentes são capazes de utilizar níveis mais elevados de carboidratos na dieta (25-55%) do que peixes de água fria ou marinhos, sem comprometer as principais variáveis de desempenho (10-20%) (Steinberg, 2022).

Valores de índice hepatossomático (IHS) próximos aos encontrados no presente estudo foram também encontrados por Chen et al. (2020), que estudaram o aumento do nível de amido dietético em detrimento da redução da proteína, observando uma variação de 2,45 a 4,06. Além disso, Zhu et al. (2021), utilizando cerca de 25% de amido e 30% de proteína na dieta, observaram um IHS de 2,54, sugerindo que a tilápia possui a capacidade de tolerar altos níveis de amido na dieta. No entanto, para o efeito da masculinização, não foram observadas diferenças significativas, embora numericamente o hormônio tenha proporcionado um fígado maior do que os demais efeitos da masculinização. É comum na literatura encontrarmos o aumento do IHS e dano aos hepatócitos no fígado em detrimento do uso e aumento da dosagem do hormônio (Ahmad et al., 2002; Gayão et al., 2013 e Straus et al., 2013). O hormônio masculinizante pode causar alterações no fígado, seja pelo uso ou pela alta dosagem, refletindo na fase inicial e persistindo nas demais fases de produção (Abo-Al-Ela, 2018).

O índice hepatossomático e o acúmulo de gordura visceral aumentaram consideravelmente com a alta relação de carboidratos e lipídios na dieta. Esses resultados sugerem que os carboidratos dietéticos têm um efeito mais forte sobre

o acúmulo de lipídios hepáticos do que os lipídios dietéticos em tilápia (Xie et al., 2017). Portanto, as dietas extrusadas com alta relação de carboidratos e lipídios resultam em maior metabolismo hepático, o que favorece a deposição de lipídeos nos tecidos extra-hepáticos. Esse padrão confirma que a tilápia tem preferência por depositar gordura no mesentério adiposo e no fígado, uma vez que esses são os sítios de estocagem mais importantes em peixes (Kamalam, Medale e Panserat, 2017).

O principal órgão encarregado na eliminação dos metabólitos do hormônio metiltestosterona é o fígado (Curtis et al., 1991). As patologias hepáticas e a atividade metabólica das células hepáticas proporcionam diferenças notáveis no formato, tamanho e núcleo dos hepatócitos (Rašković et al., 2011). As modificações na morfologia dos hepatócitos, incluindo a presença de vacúolos de gordura, processos inflamatórios e alterações na morfologia hepática, podem ser interpretadas como respostas ao estresse, sendo consideradas indicativas histopatológicas (Teh, Adams e Hinton, 1997).

Estudos anteriores relataram danos, particularmente no fígado, em tilápias jovens alimentados com dietas contendo 17-metiltestosterona (Gayão, 2013). Essas alterações são determinadas pelo acúmulo de gordura, caracterizando a degeneração gordurosa, bem como pela presença de células sanguíneas no parênquima hepático, diagnosticada como congestão, e por último pela inflamação evidenciada pela presença de vacuolização de gordura (Takashima e Hibiya, 1995). No estudo de Gannam e Lovell (1991), que analisaram o fígado e rins do bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) alimentados com dietas contendo o hormônio metiltestosterona, também encontraram alterações nos hepatócitos. O aumento do tamanho dos hepatócitos, com o deslocamento dos núcleos para a região periférica da célula devido ao aumento do volume celular, é um indicador de esteatose hepática.

Por outro lado, a natureza da alimentação e a qualidade da dieta fornecida também exercem influência na estrutura do fígado e podem ocasionar lesões no tecido hepático (Coutinho et al., 2018). Geralmente, nos casos em que há alta ingestão de lipídios ou carboidratos dietéticos, existe uma tendência natural para o quadro de esteatose hepática, com comprometimento do crescimento e sobrevivência dos animais (Xia et al., 2015, Coutinho, et. al., 2018).

No grupo de tilápias vermelhas híbridas alimentadas com diferentes relações de carboidratos e lipídios, foi observada estase sanguínea e desorganização mais pronunciada dos núcleos dos hepatócitos, especialmente com uma alta proporção de carboidratos e lipídios, em que as alterações no tecido hepático foram mais acentuadas. Além da desorganização dos hepatócitos e da estase sanguínea, constatou-se um aumento no volume das células e da vacuolização de gordura. O deslocamento do núcleo é um indicativo de atividade metabólica alterada na célula. Com o aumento de volume dos hepatócitos, observou-se o deslocamento do núcleo para a periferia da célula, juntamente com a presença de vesículas no interior do citoplasma. A presença de vacúolos citoplasmáticos, que aumentam o volume dos hepatócitos, indica a existência de regiões com provável concentração de lipídeos e glicogênio (Santos et. al., 2004).

As tilápias podem utilizar cerca de 40-50% de carboidratos nas dietas (Hemre, Mommsen, e Krogdahl, 2002). No entanto, os peixes geralmente apresentaram uma longa hiperglicemia pós-prandial após o fornecimento de rações com elevados níveis de carboidratos digestíveis, o que está associado a retardo no crescimento e até mesmo à esteatose hepática (Enes et al., 2009)

O desarranjo em forma de cordão dos hepatócitos pode ser uma consequência dos efeitos nocivos das diferentes relações entre carboidratos e lipídios. Mais uma vez, reafirma-se que o tipo de alimentação e a qualidade do alimento podem influenciar a estrutura do fígado e provocar lesões no tecido hepático (Rocha et al., 2010; Rašković et al., 2011). Essas condições podem se tornar mais severas quando, em estágios iniciais, possivelmente são ofertadas o hormônio masculinizante, um método prejudicial que pode resultar em alterações hepáticas, como observado.

A eficiência de retenção da proteína bruta, a proporção de proteína bruta e extrato etéreo no ganho de peso e a retenção de energia bruta não foram afetadas significativamente pela masculinização por hormônio ou temperatura, bem como pela não masculinização. No entanto, esses resultados indicam que os métodos alternativos de masculinização por temperatura e a não masculinização demonstraram eficiência na utilização de nutrientes pelos

peixes, sem evidências de prejuízo, tornando-se uma alternativa promissora para a produção.

As maiores médias de eficiência de retenção da proteína bruta e de energia bruta foram observadas com a dieta com a alta relação de de carboidratos e lipídios. Esses resultados assemelham-se com o de Coutinho et al. (2018), mostrando que o aumento da relação de carboidratos e lipídios nas dietas também aumentam a eficiência de utilização da proteína bruta e energia bruta.

Percebeu-se a utilização da fonte de energia não proteica para o crescimento, sugerindo melhor capacidade de tolerar dietas ricas em carboidratos, o que ocasionou na eficiência de armazenamento e as proteínas sendo destinadas para o crescimento, indicando que a tilápia vermelha pode adaptar e regular seu metabolismo nutricional para lidar com diferentes relações dietéticas de relações de carboidratos e lipídios. Conforme relatado por Wang et al. (2022), as tilápias são altamente eficientes no aproveitamento nutricional de fontes de energia não proteica (Du et al., 2020). Portanto, indiretamente a alta relação de CHO/LIP impactou positivamente na menor excreção de nitrogênio (proveniente da proteína) no ambiente aquático, sem prejuízos no desempenho (Romano e Kumar, 2019), além de ser a fonte mais barata de energia não proteica.

Os parâmetros bioquímicos do sangue são fundamentais para monitorar os estados fisiológicos e metabólicos dos nutrientes em peixes. Nesse sentido, foi observado que o efeito da masculinização não interferiu nessas variáveis sanguíneas, o que indica que as tilápias vermelhas mantiveram seu estado fisiológico independentemente das técnicas de masculinização utilizadas.

Para o processo de masculinização, a administração do hormônio 17 α -metiltestosterona na alimentação de larvas de tilápia ainda seja amplamente adotada nas produções e sem modular as variáveis bioquímicas do sangue, os perigos associados a essa prática, incluem ameaças à segurança alimentar humana, riscos ocupacionais para os trabalhadores do incubatório e perigos ambientais decorrentes do descarte do hormônio na água, que pode perturbar a proporção sexual normal em população de peixes selvagens (Megbowon e

Mojekwu, 2014; Mlalila et al., 2015), que podem ter efeitos mais amplos no ecossistema (Rivero-Wendt et al., 2020). Assim, técnicas precisam ser desenvolvidas para produzir todos os estoques de machos mantendo a eficiência produtiva e saúde dos peixes. Para isto, como estratégia é a masculinização por temperatura ou até mesmo a não masculinização em tilápias vermelhas destinadas aos tanques-rede como visto no presente estudo.

Para o efeito da dieta nos parâmetros bioquímicos sanguíneos, a proteína total e a albumina não foram afetadas independente da relação de de carboidratos e lipídios. Isto pode estar associado pelo fato de as dietas serem isonitrogenadas, confirmando para tilápias que os carboidratos e lipídios podem ser bem aproveitados como fonte de energia não proteica (Du et al., 2020). Por outro lado, esperava-se aumento da glicose em animais alimentados com dietas contendo maiores quantidades da relação de carboidratos e lipídios, uma vez que a maior quantidade de amido permite uma utilização mais efetiva do nutriente e aumenta a quantidade de glicose circulante a ser metabolizada.

Estudos anteriores relataram que os peixes melhoram a atividade da glicólise para resolver o excesso de carboidratos na dieta, acompanhado pela adaptabilidade do metabolismo da glicose (Lu et al., 2018). Esses resultados sugerem que a tilápia onívora tem uma forte capacidade de regular a homeostase da glicose, se aclimatando bem à alta ingestão de carboidratos (Boonanuntanasarn et al., 2018a; 2018b, Chen et al., 2020 , Zhu et al., 2021).

Os efeitos da ingestão alta da relação de CHO/LIP sobre a bioquímica sanguínea, principalmente em elevados níveis de triglicerídeos e colesterol, também já foram encontrados em outras espécies de peixes (Kamalam et al., 2012; 2013). A atenção tanto aos triglicerídeos quanto ao colesterol reflete o estado nutricional dos peixes. Os triglicerídeos desempenham um papel importante na reserva metabólica primária e na produção de energia, enquanto o colesterol é um componente importante da biomembrana que preserva a função e estrutura celular, além de desempenhar um papel crucial na regulação de várias funções fisiológicas nos peixes, incluindo o desenvolvimento sexual, reprodução, metabolismo e resposta ao estresse. Os peixes têm glândulas adrenais responsáveis pela síntese de hormônios corticosteroides, como o

cortisol, que estão envolvidos na resposta ao estresse, regulação do metabolismo e resposta imunológica (Baldisserotto, 2002).

A dieta com alta relação de carboidratos e lipídios demonstra modular os níveis circulantes de triglicerídeos e colesterol. Esse resultado corrobora com os valores elevados de IHS e IGVS, impactando o transporte lipídico e o estado oxidativo dos peixes (Castro et al., 2016; Zhou et al., 2017).

Assim, o carboidrato absorvido é possivelmente estocado como lipídeo ou glicogênio (Sá et al., 2014). Essa condição, portanto, provavelmente determinou as alterações nos níveis de triglicerídeos e colesterol, uma vez que o excesso de carboidratos pode ser transformado em triglicerídeos e armazenado no tecido adiposo. O acúmulo excessivo de triglicerídeos no fígado causa esteatose hepática, levando a danos hepáticos graves (Quiroga e Lehner, 2018). As causas abrangentes do fígado gorduroso em peixes foram resumidas anteriormente (Du, 2014).

Para o efeito das dietas com diferentes relações de carboidratos e lipídios, foi evidente que as tilápias possuem uma melhor capacidade de tolerar dietas ricas em carboidratos do que dietas ricas em lipídios. Essa informação corrobora com estudos em juvenis de tilápia-do-Nilo, os quais demonstraram um desempenho igualmente bom em dietas contendo lipídios variando de 5,69% a 14,8%, independentemente dos níveis de carboidratos digestíveis na dieta (Ali e Al-Asgah, 2001; Xie et al., 2017), indicando que a tilápia pode preferir carboidratos a lipídios como fonte de energia (Du et al., 2020). Essa preferência é atribuída à excelente adaptação das tilápias em geral à ingestão de carboidratos, que induz a glicólise e a lipogênese e inibe a gliconeogênese (Boonanuntanasarn et al., 2018a; 2018b).

3.5 Conclusão

A masculinização hormonal afetou positivamente o desempenho produtivo da tilápia-do-Nilo em tanques-rede, mas modelos alternativos à hormonização, como a masculinização por temperatura ou a não masculinização, são promissores para promover uma aquicultura mais sustentável. Além disso, uma dieta com alta relação de carboidratos e lipídios foi

eleita pela tilápia vermelha como fonte de energia não proteica, indicando a importância de se melhorar a utilização desses nutrientes na dieta para aumentar a eficiência nutricional. Esses resultados apresentam uma grande relevância ao estimular novas pesquisas e incentivar a produção de peixes saudáveis sem o uso de hormônios, bem como na melhoria da formulação de dietas com ingredientes de alta eficiência.

3.6 Referências bibliográficas

Abimorad, E.G., Carneiro, D.J. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles—fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2007.

Abo-Al-Ela, H.G. Hormones and fish monosex farming: A spotlight on immunity. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 72, p. 23-30, 2018.

Ahmad, M.H., Shalaby, A.M.E., Khattab, Y.A.E., Abdel-Tawwab, M. Effects of 17 α -methyltestosterone on growth performance and some physiological changes of Nile tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus* L.). **Egypt. Journal Aquatic Biology Fish**, v. 4, n. 4, p. 295-311, 2002.

Ali, A., Al-Asgah, N.A. Effect of feeding different carbohydrate to lipid ratios on the growth performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Animal Research**, v. 50, n. 1, p. 91-100, 2001.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2012). **Official Methods of Analysis (19th ed.)**. Gaithersburg, USA. <http://www.eoma.aoac.org>.

APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: American Public Health Association. 2005.

Atli, G., Ariyurek, S.Y., Kanak, E.G., Canli, M. Alterations in the serum biomarkers belonging to different metabolic systems of fish (*Oreochromis niloticus*) after Cd and Pb exposures. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 40, p. 508– 515, 2015.

Baldisserotto, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria: UFSM. 2002. p. 212.

Baras, E., Jacobs, B., Mélard, C. Effect of water temperature on survival, growth and phenotypic sex of mixed (XX–XY) progenies of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 192, n. 2-4, p. 187-199, 2001.

Baroiller, J.F., d'Cotta, H. Environment and sex determination in farmed fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 130, n. 4, p. 399-409, 2001.

Beardmore, J.A., Mair, G.C., Lewis, R.I. Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems, and prospects. **Aquaculture**, v. 197, n. 1-4, p. 283–301, 2001.

Bentsen, H.B., Gjerde, B., Eknath, A.E., Vera, M.S.P., Velasco, R.R., Danting, J.C., Dionisio, E.E., Longalong, F.M., Reyes, R.A., Abella, T.A., Tayamen, M.M., Ponzoni, R.W. Genetic improvement of farmed tilapias: Response to five generations of selection for increased body weight at harvest in *Oreochromis niloticus* and the further impact of the project. **Aquaculture**, v. 468, p. 206-217, 2017.

Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Burkhardt-Holm, P., Wahli, T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of fish diseases**, v. 22, p. 25-34, 1999.

Boonanuntanasarn, S., Jangprai, A., Kumkhong, S., Plagnes-Juan, E., Veron, V., Burel, C., Marandel, L. Panserat, S. Adaptation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates: New insights from a long term nutritional study. **Aquaculture**, v. 496, p. 58-65, 2018a.

Boonanuntanasarn, S., Kumkhong, S., Yoohat, K., Plagnes-Juan, E., Burel, C., Marandel, L., & Panserat, S. Molecular responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates. **Aquaculture**, 482, 117-123. 2018b.

Bostock, J., Albalat, A., Bunting, S., Turner, W.A., Mensah, A.D., Little, D.C. Mixed-sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) can perform competitively with mono-sex stocks in cage production. **Aquaculture**, v. 557, p. 738315, 2022.

Brol, J. Pinho, S.M., Sgnaulin, T., Pereira, K.R., Thomas, M.C., Mello, G.L., Miranda-Baeza, A., Emerenciano, M.G.C. Tecnologia de bioflocos (BFT) no

desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 254, p. 229-235, 2017.

Castro, C., Corraze, G., Basto, A., Larroquet, L., Panserat, S., Oliva-Teles, A. Dietary lipid and carbohydrate interactions: implications on lipid and glucose absorption, transport in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. **Lipids**, v. 51, p. 743-755, 2016.

Chen, J.X., Feng, J.Y., Zhu, J., Luo, L., Lin, S.M., Wang, D.S., Chen, Y. J. Starch to protein ratios in practical diets for genetically improved farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: Effects on growth, body composition, peripheral glucose metabolism and glucose tolerance. **Aquaculture**, v. 515, p.734538, 2020.

Cnaani, A., Lee, B. Y., Zilberman, N., Ozouf-Costaz, C., Hulata, G., Ron, M., D'Hont A., Baroiller J.F., D'Cotta H., Penman D.J., Tomasino E., Coutanceau J.P., Pepey E., Shirak A., Kocher, T. D. Genetics of sex determination in tilapiine species. **Sexual development**, v. 2, n. 1, p. 43-54, 2008.

Colihueque, N., Araneda, C. Appearance traits in fish farming: progress from classical genetics to genomics, providing insight into current and potential genetic improvement. **Frontiers in genetics**, v. 5, p. 251, 2014.

Contreras-Sánchez, W.M., Couturier, G.M., Schreck, C.B. **Fate of methyltestosterone in the pond environment: use of MT in earthen ponds with no record of hormone usage**. In: McElwee, K., Lewis, K., Nidiffer, M., Buitrago, P. (Eds.), Nineteenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA. 2002. 103-106 p.

Contreras-Sánchez, W.M., Fitzpatrick, M.S., Schreck, C.B. **Fate of methyltestosterone in the pond environment: detection of MT in pond soil from a CRSP site**. In: Gupta, A., McElwee, K., Burke, D., Burrig, J., Cummings, X., Egna, H. (Eds.), Eighteenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, OR, USA. 2001. 79-82p.

- Coutinho, J.J.O., Neira, L.M., Sandre, L.C.G., Costa, J.I., Martins, M.I.E.G., Portella, M.C., Carneiro, D.J. Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. **Aquaculture**, v. 497, p. 520-525, 2018.
- Curtis, L.R., Diren, F.T., Hurley, M.D., Seim, W.K., Tubb, R.A. Disposition and elimination of 17-a-methyltestosterone in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 99, p. 193–201, 1991.
- Dam, N.C., Little, D.C. The culture performance of monosex and mixed-sex newseason and overwintered fry in three strains of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in northern Vietnam. **Aquaculture**, v. 184, n.3-4, p.221-231, 2000.
- Deng, Y., Wu, H., Zhou, J., Wu, S., Che, C., Hu, Y., Yan, Q., Zhou, Q., Jiang, W., Huo, H., He, Z., Peng, M. Effects of dietary gelatinized starch on growth performance, glucose metabolism, oxidative status and fillet texture of rice field eel (*Monopterus albus*). **Aquaculture Research**, v. 52, n. 11, p. 5527-5536, 2021.
- Du, R.Y., Chen, J.X., Zhu, J., Feng, J.Y., Luo, L., Lin, S.M., Chen, Y. J. Glucose homeostasis and glucose tolerance were impaired with elevated lipid to starch ratios in practical diets for the omnivorous genetically improved farmed tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 523, p.735221, 2020.
- Du Z.Y. Causes of fatty liver in cultured fish: a review and perspectives. **Journal Fisheries of China**, v. 38, p. 1628–1638, 2014.
- El-Sayed, A.F.M. **Tilapia culture, 2nd edn**. Elsevier Inc, Academic Press, London. 2019. 348 p.
- El-Zaeem, S.Y., Salam, G.M. Production of genetically male tilapia through interspecific hybridization between *Oreochromis niloticus* and *O. aureus*. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 12, n. 4, p 802- 812, 2013.
- Enes, P., Panserat, S., Kaushik, S., Oliva-Teles, A.A. Nutritional regulation of hepatic glucose metabolism in fish. **Fish physiology and biochemistry**, v. 35, p. 519-539, 2009.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. 2022.

Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Boscolo, W.R., Cyrino, J.E.P., Furuya, V.R.B., Feiden, A. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Editora GFM. 2010. 100p.

Gannam, A.L., Lovell, R.T. Effects of feeding 17-alpha-methyltestosterone, 11-ketotestosterone, 17-beta-estradiol and 3,5,3-triiodothyronine to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v. 92, p. 377-388, 1991.

Gayão, A.L.B.A. **Nutrição e reversão sexual de Tilápia-do-Nilo: parâmetros produtivos e estrutura do fígado**. 100 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da UNESP, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

Gayão, A.L.B.A., Buzollo, H, Fávero, G.C., Silva Junior, A.A., Portella, M.C., Cruz, C., Carneiro, D.J. Histologia hepática e produção em tanques-rede de tilápia-do-Nilo masculinizada hormonalmente ou não masculinizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 991-997, 2013.

Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B., Carmen Alejo-Plata, M., Guzmán-Santiago, J.L. Culture mixed-sex and monosex of tilapia in ponds in Mexico City. **Agricultural Sciences**, v. 6, n. 2, p. 187, 2015.

Haidar, M.N., Bleeker, S., Heinsbroek, L.T.N., Schrama, J.W. Effect of constant digestible protein intake and varying digestible energy levels on energy and protein utilization in Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 489, p. 28-35, 2018.

Hemre, G.I., Mommsen, T.P., Krogh, A. Carbohydrates in fish nutrition: Effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. **Aquaculture Nutrition**, v. 8, n. 3, p. 175–194, 2002.

Hulata, G. Genetic manipulations in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies. **Genetica**, v. 111, p. 155-173, 2001.

Hulata, G., Wohlfarth, G., Rothbard, S. Progeny-testing selection of tilapia broodstocks producing all-male hybrid progenies—preliminary results. **Aquaculture**, v. 33, n.1-4, p. 263-268, 1983.

Kamalam, B.S., Medale, F., Kaushik, S., Polakof, S., Skiba-Cassy, S., Panserat, S. Regulation of metabolism by dietary carbohydrates in two lines of rainbow trout

divergently selected for muscle fat content. **Journal Of Experimental Biology**, v. 215, n. 15, p. 2567-2578, 2012.

Kamalam, B.S., Medale, F., Larroquet, L., Corraze, G., Panserat, S. Metabolism and fatty acid profile in fat and lean rainbow trout lines fed with vegetable oil: effect of carbohydrates. **PloS one**, v. 8, n. 10, p. e76570, 2013.

Kamalam, B.S., Medale, F., Panserat, S. Utilisation of dietary carbohydrates in farmed fishes: new insights on influencing factors, biological limitations and future strategies. **Aquaculture**, v. 467, p. 3-27, 2017.

Kembenya, E.M., Ondiba, R.N. Growth performance of male monosex and mixed sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) reared in cages, Lake Victoria, Kenya. **International Aquatic Research**, v. 13, n. 3, p. 227-232, 2021.

Khalil, W.K., Hasheesh, W.S., Marie, M.A.S., Abbas, H.H., Zahran, E.A. Assessment the impact of 17 α -methyltestosterone hormone on growth, hormone concentration, molecular and histopathological changes in muscles and testis of Nile tilapia; *Oreochromis niloticus*. **Life Science Journal**, v. 8, n. 3, p. 329-343, 2011.

Li, J.Y., Zhang, D.D., Xu, W.N., Jiang, G.Z., Zhang, C.N., Li, X.F., Liu, W.B. Effects of dietary choline supplementation on growth performance and hepatic lipid transport in blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fed high-fat diets. **Aquaculture**, v. 434, p.340-347, 2014.

Lu, S., Wu, X., Gao, Y., Gatlin, D. M., Wu, M., Yao, W., Jin, Z., Li, X., Dong, Y. Effects of dietary carbohydrate sources on growth, digestive enzyme activity, gene expression of hepatic GLUTs and key enzymes involved in glycolysis-gluconeogenesis of giant grouper *Epinephelus lanceolatus* larvae. **Aquaculture**, v. 484, p. 343– 350, 2018.

Mainardes-Pinto, C.S.R., Paiva, P., Verani, J.R., Scorvo-Filho, J.D., Silva, A.L. Desempenho produtivo da tilápia tailandesa e da tilápia vermelha da Flórida estocadas em diferentes densidades, em tanques-rede instalados em viveiros. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, n. 3, p. 225 – 234, 2011.

Mair, G.C., Abucay, J.S., Abella, T.A., Beardmore, J.A., Skibinski, D.O.F. Genetic manipulation of sex ratio for the large-scale production of all-male tilapia

Oreochromis niloticus. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 54, n. 2, p. 396-404, 1997.

Marengoni, N.G., Onoue, Y., Oyama, T. All-male tilapia hybrids of two strains of *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 29, n. 1, p. 108-113, 1998.

Megbowon, I., Mojekwu, T.O. Tilapia sex reversal using methyl testosterone (MT) and its effect on fish, man and environment. **Biotechnology**, v. 13, p. 213-216, 2014.

Meurer, F., Hayashi, C., Fornari, D.C., Bombardelli, R.A., Barbero, L. Milheto em rações para a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante a reversão sexual. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 323-327, 2004.

Meurer, F., Hayashi, C., Boscolo, W.R. Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1801-1809, 2003.

Mlalila, N., Mahika, C., Kalombo, L., Swai, H., Hilonga, A. Human food safety and environmental hazards associated with the use of methyltestosterone and other steroids in production of all-male tilapia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 7, p. 4922-4931, 2015.

Novelo, N.D., Gomelsky, B., Coyle, S.D., Kramer, A. G. Evaluation of growth, sex (male proportion; sexual dimorphism), and color segregation in four cross combinations of diferente strains of XX female and YY male Nile Tilapia. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 52, n. 2, p. 445-456, 2021.

Nelson, D.L.; Cox, M.M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 7th ed. New York: W.H. Freeman and Company, 2017.

Pezzato, L.E., Miranda, E.C.D., Barros, M.M., Pinto, L.G.Q., Furuya, W.M., Pezzato, A.C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 1595-1604, 2002.

Pongthana, N., Nguyen, N.H., Ponzoni, R.W. Comparative performance of four red tilapia strains and their crosses in fresh-and saline water environments. **Aquaculture**, v. 308, p. S109-S114, 2010.

Quiroga, A.D., Lehner, R. Pharmacological intervention of liver triacylglycerol lipolysis: The good, the bad and the ugly. **Biochemical pharmacology**, v. 155, p. 233-241, 2018.

Rašković, B.S.; Stanković, M.B.; Marković, Z.Z.; Poleksić, V.D. 2011. Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 56, p. 87-100, 2011.

Rivero-Wendt, C.L.G., Miranda-Vilela, A.L., Domingues, I., Oliveira, R., Monteiro, M.S., Moura-Mello, M.A., Matias, R., Soares, A.M.V.S., Grisolia, C.K. Steroid androgen 17 alpha methyltestosterone used in fish farming induces biochemical alterations in zebrafish adults. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, V. 55, N. 11, p. 1321-1332, 2020.

Rocha, R.M.; Coelho, R.P.; Montes, C.S.; Santos, S.S.D.; Ferreira, M.A.P. Avaliação histopatológica do fígado de *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau, 1855) da Baía do Guajará, Belém, Pará. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, p.101-109, 2010.

Romano, N., Kumar, V. Starch gelatinization on the physical characteristics of aquafeeds and subsequent implications to the productivity in farmed aquatic animals. **Reviews in Aquaculture**, v. 11, n. 4, p. 1271– 1284, 2019.

Sá, M.V.C., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Padilha, P.M. Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles diets. **Aquaculture**, v. 238, p. 385-401, 2004.

Santos, A.A., Ranzani-Paiva, M.J.T., Felizardo, N.N., Rodrigues, E.L. Análise histopatológica de fígado de tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*, criadas em tanque-rede na represa de Guarapiranga, São Paulo, SP, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.30, p. 141-145, 2004.

Singh, J., Dartois, A., Kaur, L. Starch digestibility in food matrix: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 4, p. 168-180, 2010.

Steinberg, C.E. Protein Sparing by Carbohydrates'Life's Useful Luxury'. **Aquatic Animal Nutrition: Organic Macro-and Micro-Nutrients**, p. 377-392, 2022.

- Straus, D.L., Bowker, J. D., Bowman, M.P., Carty, D.G., Mitchell, A.J., Farmer, B.D., Ledbetter, C.K. Safety of feed treated with 17 α -methyltestosterone (17MT) to larval Nile tilapia. **North American Journal of Aquaculture**, v. 75, n. 2, p. 212-219, 2013.
- Takashima, F., Hibiya, T. **An atlas of fish histology: normal and pathological features**. 1995.
- Teh, S.J., Adams, S.M.; Hinton, D.E. Histopathologic biomarkers in feral freshwater fish populations exposed to different types of contaminant stress. **Aquatic toxicology**, v. 37, n. 1, p. 51-70, 1997.
- Wang, K.W., Chen, J.X., Liu, Q.Q., Deng, X., Luo, L., Lin, S.M., Chen, Y.J. A comparison between high carbohydrate and high lipid diets reception on the growth, feed utilization and glucose homeostasis of genetically improved farmed tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Reports**, v. 24, p. 101119, 2022.
- Wang, Y., Liu, Y.J., Tian, L.X., Du, Z.Y., Wang, J.T., Wang, S., Xiao, W.P. Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. **Aquaculture research**, v. 36, n. 14, p. 1408-1413, 2005.
- Xia, B., Gao, Q.F., Wang, J., Li, P., Zhang, L., Zhang, Z. Effects of dietary carbohydrate level on growth, biochemical composition and glucose metabolism of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). **Aquaculture**, v. 448, p. 63–70, 2015.
- Xie, D., Yang, L., Yu, R., Chen, F., Lu, R., Qin, C., Nie, G. Effects of dietary carbohydrate and lipid levels on growth and hepatic lipid deposition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 479, p. 696-703, 2017.
- Zhang D., Lu K., Dong Z., Jiang G., Xu W., Liu W. The effect of exposure to a high-fat diet on microRNA expression in the liver of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). **PLoS One**, v. 9, n. 5, p. e96132, 2014.
- Zhou, C., Ge, X., Liu, B., Xie, J., Chen, R., Miao, L., Ren, M. Comparative study on the effect of high dietary carbohydrate on the growth performance, body composition, serum physiological responses and hepatic antioxidant abilities in Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) and black carp

(*Mylopharyngodon piceus* Richardson, 1846). **Aquaculture Research**, v. 48, n. 3, p. 1020-1030, 2017.

Zhou, W.H., Wu, C.C., Limbu, S.M., Li, R.X., Chen, L.Q., Qiao, F., Luo, Y., Zhang M., Han, T., Du, Z.Y. More simple more worse: Simple carbohydrate diets cause alterations in glucose and lipid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 550, p. 737857, 2022.

Zhu, J., Feng, J.Y., Chen, J.X., Du, R.Y., Luo, L., Lin, S. M., Chen, Y.J. An evaluation of the growth, blood biochemistry, hepatic glucose metabolism and hepatocyte apoptosis in the genetically improved farmed tilapia *Oreochromis niloticus* fed diets with distinct protein to corn starch ratios. **Aquaculture Research**, v. 52, v. 12, p. 6514-6524, 2021.

Capítulo 4. Análise econômica na produção em tanques-rede de tilápias híbridas vermelhas (*Oreochromis* spp.) masculinizadas ou não, alimentadas com dietas contendo baixa e alta relação de carboidratos e lipídios

Denis William Johanssem CAMPOS ^{1*}, Magdiel Santos OLIVEIRA ¹, Andressa Tellechea RODRIGUES ², Dalton José CARNEIRO ¹.

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus Jaboticabal, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, S/N, 14884-900 Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

² Centro de Aquicultura da UNESP, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, S/N, 14884-900 Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

*Correspondência do autor: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus Jaboticabal (UNESP/FCAV), Avenida: Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail address: campos.dwj@gmail.com (D.W.J. Campos).

Resumo: A tilápia é uma espécie de destaque na aquicultura. No entanto, sua produção muitas vezes recorre ao hormônio 17- α -metiltestosterona para obter populações de machos, o que limitou a comercialização e o cultivo desses peixes. Além disso, o custo mais significativo na produção está relacionado à alimentação, tornando crucial a otimização das relações entre carboidratos e lipídios, como fontes de energia não proteica. O estudo visa fornecer informações sobre a análise econômica da produção de tilápias em tanques-rede, considerando diferentes métodos de masculinização (hormônio, temperatura) e não masculinização, além de dietas com variação na relação de carboidratos e lipídios. Utilizando uma simulação produtiva e orçamentária com 100 tanques-rede de 6m³, densidade de 360 peixes por tanque. O estudo avaliou grupos de tilápias masculinizadas por hormônio, por temperatura e não masculinizadas, cada um recebendo dietas com diferentes proporções de carboidratos e lipídios. Foram analisados indicadores de desempenho, investimentos, custo operacional total (COT) e lucratividade com base nos resultados experimentais. O investimento total em capital fixo foi de R\$ 283.640,67, com a ração sendo o item mais oneroso em todos os modelos de

produção, representando de 58,94% a 62,31% dos custos. No Custo Operacional Total (COT), houve uma variação de R\$ 143.244,48 para o tratamento de não masculinização e R\$ 148.729,34 para o tratamento de masculinização por temperatura, ambos caracterizados pela baixa relação de carboidratos e lipídios. O modelo de produção sem masculinização, assim como a masculinização por temperatura mostraram os melhores valores de lucratividade, independentemente da dieta oferecida, devido ao valor agregado ao produto sem o uso de hormônios. A alta proporção de carboidratos e lipídios revelou-se a mais lucrativa em todos os tratamentos, independentemente da masculinização. Esses resultados destacam que a produção sem masculinização e o uso da temperatura para a masculinização oferecem o melhor cenário econômico, devido ao valor agregado ao produto. A alta proporção de carboidratos e lipídios resultou em maior lucratividade. Essas descobertas têm potencial para beneficiar produtores interessados na produção comercial de tilápias vermelhas híbridas em tanques-rede, visando uma produção de alto valor agregado.

Palavras-chave: custo de produção, energia não proteica, lucratividade, masculinização por hormônio, masculinização por temperatura, tilápias não masculinizadas.

Abstract: The tilapia is a prominent species in aquaculture. Its production often resorts to the hormone 17- α -methyltestosterone to obtain male populations, which has limited the commercialization and cultivation of these fish. Additionally, the most significant cost in production is related to feed, making it crucial to optimize the ratios between carbohydrates and lipids as non-protein energy sources. The study aims to provide information on the economic analysis of tilapia production in cage, considering different methods of masculinization (hormone, temperature) and non-masculinization, as well as diets with variation in the carbohydrate-lipid ratio. Using a productive and budgetary simulation with 100 6m³ cage, density of 360 fish per cage The study evaluated groups of tilapia masculinized by hormone, by temperature, and non-masculinized, each receiving diets with low and high carbohydrate-lipid ratio. Performance indicators, investments, total operating costs (TOC), and profitability were analyzed based

on experimental results. The total investment in fixed capital was R\$ 283,640.67, with feed being the most costly item in all production models, representing 58.94% to 62.31% of costs. In Total Operating Cost (TOC), there was a variation from R\$ 143,244.48 for the non-masculinization treatment to R\$ 148,729.34 for the temperature masculinization treatment, both characterized by a low carbohydrate-lipid ratio. The production model without masculinization showed the best profitability values, regardless of the diet offered. The high carbohydrate-lipid ratio proved to be the most profitable in all treatments, regardless of masculinization. These results highlight that production without masculinization and the use of temperature for masculinization offer the best economic scenario due to the added value to the product without the use of hormones. The high carbohydrate-lipid ratio resulted in higher profitability. These findings have the potential to benefit producers interested in the commercial production of hybrid red tilapia in cage, aiming for high-value-added production.

Keywords: hormone masculinization, non-masculinized tilapia, non-protein energy, production cost, profitability, temperature masculinization,

4.1 Introdução

A tilápia e seus híbridos (*Oreochromis* spp.) são uma espécie que tem se destacado no setor da aquicultura, sendo o segundo grupo de peixes mais cultivado em todo o mundo, representando cerca de 9% da produção mundial de peixes em 2020, com mais de 4.4 milhões de toneladas produzidas (FAO, 2022). Isso se deve a várias características favoráveis à criação em cativeiro, além da demanda comercial e preços de mercado relativamente estáveis (Ng e Hanim, 2013). Além disso, as tilápias de cor vermelha, em comparação com as de cor escura, são consideradas de alta qualidade e extremamente atraentes para consumidores de peixes, possuindo um valor agregado elevado devido à sua aparência semelhante a espécies marinhas (Green, 2006; Ramirez-Paredes et al., 2012).

Com base nesse princípio, no cultivo de tilápia, a opção pela produção de machos para crescimento pode evitar os problemas de reprodução descontrolada em viveiros, promovendo maior produtividade, por apresentarem maior crescimento no mesmo tempo de cultivo, em comparação às fêmeas

(Meurer et al. 2004). É frequente o uso do hormônio 17- α -metiltestosterona nas criações de tilápia em todo o mundo, com o objetivo de obter populações compostas principalmente por machos (Tachibana et al., 2004; Neumann, Koberstein e Braga, 2009). Porém, o hormônio 17- α -metiltestosterona é um esteroide andrógeno e seu uso não é aprovado pela Food and Drug Administration dos EUA; países como Índia, Costa Rica, Equador, países da União Europeia e alguns países subsaarianos restringiram a venda e o cultivo de peixes tratados com hormônios, limitando a produção e comercialização do produto (Mlalila et al., 2015).

Além da problemática do uso do hormônio, um outro fator que limita a expansão da aquicultura é a formulação de rações de baixo custo (Cottrell et al., 2020). A alimentação na piscicultura pode representar até 70% do custo de produção e as fontes proteicas são as mais onerosas na formulação de dietas para peixes (Yuan et. al., 2017; Costa, Sabbag e Martins, 2018; Limbu, 2020; Kunda, Pandit e Harun-Al-Rashid, 2021). Dessa forma, é necessário otimizar a utilização de proteínas para aumentar a retenção de nutrientes pelos peixes, diminuindo a perda de nitrogênio e os custos de cultivo. Para esse fim, ingredientes não proteicos, como carboidratos (CHO) e lipídios (LIP) devem ser usados para aumentar a energia da dieta, principalmente considerando que um desequilíbrio de fontes de energia não proteica pode afetar diretamente o desempenho, saúde e viabilidade da produção (Coutinho et al., 2018).

Uma abordagem para tornar a produção de tilápia mais atraente está diretamente relacionada aos efeitos das relações de carboidratos e lipídios (CHO/LIP) nas dietas, juntamente com uma alternativa de controle sexual baseada em métodos ambientalmente seguros e economicamente viáveis. Para melhorar a eficiência do sistema de produção de tilápia, é necessário reduzir os gastos com alimentação, que representam o maior custo de insumos (Garcia et al., 2013; Ayroza et al., 2014), bem como priorizar a diminuição ou eliminação de resíduos de hormônios utilizados na masculinização de tilápias, visando produzir peixes mais saudáveis e capazes de aproveitar adequadamente os nutrientes da dieta. Essa abordagem pode aumentar a aceitação do produto, especialmente garantindo ao consumidor a compra de um produto mais saudável e seguro (Boyd, 2020).

Como existem poucos estudos econômicos nesta área, o presente trabalho tem o intuito de fornecer informações econômicas baseadas no conhecimento detalhado do custo de produção, bem como a de indicadores de rentabilidade na produção de tilápias masculinizadas por hormônio, por temperatura ou não masculinizadas, em tanques-rede. Também foram avaliados os benefícios da melhor relação de carboidratos e lipídios das dietas como poupadores da proteína que propiciem melhor rentabilidade à produção.

4.2 Material e métodos

Condições experimentais da produção e simulação econômica

O ensaio foi realizado no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA) do Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP), Campus de Jaboticabal, São Paulo. O experimento foi autorizado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. (CEAU FCAV/UNESP – Protocolo nº 3383/20).

Para o estudo, um pré-experimento na fase inicial de produção das larvas (primeiros 30 dias de vida) foi realizado, no qual um grupo foi selecionado para o tratamento de masculinização por hormônio (MH). Dessa forma para verificar o efeito dessa masculinização por hormônio, foi utilizada nas dietas a dose de 60 mg/kg do hormônio 17- α -metiltestosterona. O hormônio foi pesado em uma balança analítica. Posteriormente foi diluído em álcool etílico hidratado (92%) e misturados na dieta até que ficassem totalmente homogêneas e secas ao ar. As dietas contendo hormônio foram fornecidas por 30 dias (Popma e Lovshin, 1996), segundo o tratamento tradicional utilizado para masculinização de tilápias.

Outro grupo foi submetido à masculinização por temperatura (MT). Neste protocolo de masculinização envolveu um aumento gradual de 0,5°C/dia na temperatura utilizando termostatos, até atingir um máximo 34°C e mantendo durante os primeiros 14 dias de vida. Após esse período, os termostatos foram removidos, mantendo a temperatura da água ambiente. Por fim, um terceiro grupo não foi submetido a nenhum método de masculinização, perfazendo o tratamento de tilápias não masculinizadas (NM).

Após 30 dias da fase de larvicultura, esses grupos de juvenis masculinizados (hormônio e temperatura) ou não masculinizados, foram alimentados com uma dieta comercial padrão para a fase com o objetivo de padronizar o tamanho dos peixes antes da alocação nos tanques-rede para a realização do experimento.

Quando os juvenis dos grupos masculinizados ou não, alcançaram aproximadamente 45.98 ± 0.77 g, cerca de 1080 juvenis foram acondicionados em 18 tanques-rede, na densidade de 60 peixes/m³. Dessa forma, o ensaio experimental contou com 1080 juvenis divididos e acondicionados em 18 tanques-rede, na densidade de 60 peixes/m³. Os tanques-rede de 1m³ de volume útil (1,0 x 1,0 x 1,2 m) foram dispostos paralelamente em três linhas no sentido longitudinal em um viveiro de aproximadamente 1.822 m² de espelho d'água e profundidade média de 2,0m.

Foram avaliados um total de seis tratamentos em um delineamento inteiramente casualizado, relacionando os três tratamentos de peixes masculinizados (por hormônio e temperatura) e não masculinizados, juntamente com as duas dietas experimentais de baixa e alta relação de carboidratos e lipídios (CHO/LIP). Os seis tratamentos foram: peixes masculinizados por hormônio, alimentados com alta relação de carboidratos e lipídios (MH-HCHO/LIP); peixes masculinizados por hormônio, alimentados com baixa relação de carboidratos e lipídios (MH-LCHO/LIP); peixes masculinizados por temperatura, alimentados com alta relação de carboidratos e lipídios (MT-HCHO/LIP); peixes masculinizados por temperatura, alimentados com baixa relação de carboidratos e lipídios (MT-LCHO/LIP); peixes não masculinizados, alimentados com alta relação de carboidratos e lipídios (NM-HCHO/LIP); e peixes não masculinizados, alimentados com baixa relação de carboidratos e lipídios (NM-LCHO/LIP).

Para realizar a avaliação econômica, utilizamos os dados do ensaio experimental e estimamos uma escala de produção de acordo com a resolução (CONAMA, nº 413 de 2009), levando em consideração a área média de produção de 1.000 a 5.000m³. Realizamos uma simulação considerando a utilização de 100 tanques-rede de 6m³ cada de volume útil (2,0 x 2,0 x 1,5 m)

com capacidade para 360 peixes por tanque-rede, em um ciclo de produção de aproximadamente 128 dias calculando assim, a produção por ciclo.

Desse modo, para essa simulação foram utilizados os dados de aquisição de cerca de 36.000 juvenis de tilápia vermelha no ciclo, com peso inicial de 45.98 ± 0.77 g para cada tratamento conforme observado no ensaio experimental. Um ponto importante foi preço de aquisição dos juvenis para a análise econômica, sendo determinado com base em dados coletados em fevereiro de 2023 em pisciculturas no Estado de São Paulo que fornecem juvenis de tilápia vermelha com um peso médio inicial estudado. Dessa forma, juvenis masculinizados por hormônio são comercializado no preço de R\$ 950,00 o milheiro. Uma piscicultura que utiliza o método de masculinização por temperatura é comercializado os juvenis a um preço de R\$ 1040,00 por milheiro. E para os peixes que não foram masculinizados por nenhum método conforme citado anteriormente, foi estabelecido um preço de R\$ 855,00 por milheiro.

A alimentação seguiu um protocolo de cinco vezes ao dia, nos seguintes horários: 08h, 10h30, 13h00, 15h30, 18h até a saciedade aparente. Ao final do experimento, foram realizadas medições do peso médio dos peixes em cada gaiola experimental, bem como registrados os consumos de cada unidade experimental e a taxa de sobrevivência ao longo do período experimental. Com estes valores, foram calculados os indicadores de desempenho: produção total de peixes (t/ciclo), consumo total de ração (t/ciclo), peso final (kg), ganho de peso (kg), conversão alimentar aparente, produção em ciclos por ano e sobrevivência.

Análise de investimentos

Os preços dos ingredientes usados nas dietas e os custos foram obtidos por meio de pesquisa de mercado em várias empresas no Estado de São Paulo no mês de fevereiro de 2023. Na Tabela 1, encontram-se os preços unitários dos ingredientes e o custo para 100 kg de cada dieta experimental. Foi considerado um valor fixo para o processamento do produto de R\$ 0,50/kg de ração produzida.

Tabela 1. Preço dos ingredientes e custo das dietas utilizadas na produção de tilápias vermelhas masculinizadas ou não, alimentados com diferentes relações de carboidratos e lipídios em tanques-rede em fevereiro de 2023 (R\$).

Ingredientes (%)	Preço (R\$/kg)	Custo relativo (R\$)	
		LCHO/LIP	HCHO/LIP
Hemoglobina suína	5,10	15,30	15,30
Farelo de Soja	3,63	82,65	108,03
Glúten de milho	6,10	100,65	91,13
Milho	1,81	10,86	14,48
Farelo de Arroz	1,90	41,80	8,44
Quirera de arroz	2,30	36,80	0,00
Amido	2,70	0,00	93,15
Óleo de soja	9,29	32,98	18,58
BHT	21,09	4,22	4,22
Calcário Calcítico	1,00	0,95	0,69
Fosfato Bicálcico	6,60	7,26	9,90
DL – Metionina	38,02	0,00	2,28
L – Lisina	15,75	0,79	0,00
Premix	13,00	6,50	6,50
Sal	1,00	0,20	0,20
Antifúngico	26,00	3,90	3,90
Vit C – Fosfatada 35%	2,12	0,04	0,04
Caulim	0,96	6,70	0,00
Processamento	0,50	50,00	50,00
Total em 100 kg	-	401,60	426,84
<i>Composição analisada</i>			
Proteína bruta		27,22	26,79
Proteína digestível		25,17	25,11
Extrato etéreo		7,73	4,46
Fibra bruta		4,82	4,80
Cinzas		6,81	5,72
Extrato não nitrogenado		37,98	49,16
Energia Bruta (MJ/kg)		17,15	17,39
Energia Digestível (MJ/Kg)		12,83	12,83
Relação CHO/LIP*		4,91	11,02

* Carboidratos e lipídios

Os itens de investimentos avaliados, em valores do mês de fevereiro de 2023. foram: a infraestrutura dos tanques-rede; passarela flutuante; um barco (6m de comprimento e motor de 15HP); depósito para armazenamento da ração (50m²) e os equipamentos: aeradores do tipo chafariz; balança; peagâmetro;

sonda multiparâmetro de oxigênio e temperatura; disco de secchi; puçás e veículo para transporte; além de outros gastos. Para cada item, foram mensurados: valor total (montante financeiro atribuído a um determinado item), vida útil (em anos) (período estimado em que se espera que o item seja utilizado de forma eficiente e produtiva), valor de sucata (valor estimado do item no final de sua vida útil), depreciação (redução gradual do valor do item ao longo do tempo, devido ao desgaste, obsolescência ou outros fatores) e porcentagem de contribuição do valor de depreciação.

Na simulação da produção foi estimada, em horas/homens, a mão de obra necessária para as operações manuais utilizadas no povoamento, alimentação, controle dos parâmetros físico-químicos da água e despesca. O valor do custo com mão de obra para as operações manuais foi calculado multiplicando-se o número de horas de cada atividade pelo custo hora da mão de obra de fevereiro de 2023 conforme os dados do Instituto de Economia Agrícola para trabalhador rural na Região de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (IEA, 2023).

Custos de produção

O custo de produção foi baseado no Custo Operacional Total (COT), proposto por Matsunaga et al. (1976). O COT é composto pelo Custo Operacional Efetivo (COE) (insumos e operações manuais), acrescido da depreciação dos bens materiais (investimentos, equipamentos, máquinas e outros gastos), encargos sociais (45,59% do valor da mão de obra) (CONAB, 2010), contribuição especial de seguridade social rural (CESSR) (1,2% da receita bruta) e despesas gerais (5% do COE). O período de avaliação econômica foi relativo à produção por ciclo, sendo os preços empregados na moeda Real (R\$) em fevereiro de 2023.

Indicadores de lucratividade

O preço médio de venda dos peixes masculinizados por hormônio, após um ciclo de produção, foi determinado com base em dados coletados em fevereiro de 2023 em pisciculturas e pontos de venda (incluindo feiras e pesque-pague) no Estado de São Paulo. Esses locais adquirem as tilápias vermelhas

híbridas no peso médio final estudado, resultando em um valor de venda de R\$ 12,90 por quilo.

No que diz respeito às tilápias que não foram submetidas ao processo de masculinização por hormônio, utilizando em vez disso, a masculinização por temperatura ou optando por não masculinizar, o preço de venda estabelecido foi um acréscimo de 16,6% ao preço para produtos de aquicultura produzidos sem a utilização de substâncias químicas, tais como hormônios masculinizantes obtendo o preço em R\$ 15,04 por quilo. Essa estratégia está em sintonia com a abordagem de Li e Kallas (2021), os quais destacam que esta prática sustentável na aquicultura de peixes visa a minimização dos impactos ambientais, a redução do uso de antibióticos e produtos químicos, bem como a melhoria do bem-estar dos peixes.

Assim, foram empregados os indicadores de análise de lucratividade proposto por Martin et al. (1998), definidos como:

- Receita Bruta (RB): constituída pela receita esperada para determinada produção para cada tratamento, para um preço de venda pré-definido, ou efetivamente recebido, expresso por $RB = Pr \times Pu$, em que Pr = produção da atividade por unidade de área; Pu = preço unitário do produto;

- Lucro Operacional (LO): resultante da diferença entre a receita bruta e o custo operacional total; o indicador do resultado deste índice mede a lucratividade da atividade no curto prazo, mostrando as condições financeiras e operacionais da atividade, por meio da expressão $LO = RB - COT$;

- Relação benefício/custo (B/C): calculada dividindo-se a receita bruta (benefício) pelo custo operacional total, por meio da expressão $B/C = RB/COT$; Quando a relação B/C é maior que 1, significa que os benefícios esperados superam os custos envolvidos.

- Índice de Lucratividade (IL): a relação entre o lucro operacional e a receita bruta (em percentagem) é também uma medida importante de rentabilidade, uma vez que mostra a taxa disponível de receita da atividade após o pagamento de todos os custos operacionais, identificado por $IL = (LO / RB) \times 100$;

- Quantidade de nivelamento (QN): fornece informações do custo em relação ao produto, determinando qual seria a produção mínima necessária para atender o custo, conforme o preço de venda unitário, dado por $QN = COT/Pu$;

- Preço de nivelamento (PN): indica o preço mínimo necessário para atender o custo operacional total (COT), dada uma produção (Q). Fornecendo informações da quantidade mínima a ser produzida sem que haja prejuízos dado por $PN = COT/Q$.

4.3 Resultados

Para a implantação do projeto que consiste em 100 tanques-rede de 6m³ em um ciclo de 128 dias no período das chuvas (verão) em Jaboticabal, São Paulo, Brasil, o investimento em capital fixo foi estimado em R\$ 283.640,67 (Tabela 2). Além disso, foi observado que o valor total da sucata foi de R\$ 25.954,95 e a depreciação total dos investimentos foram de R\$ 7.384,60.

O principal grupo de investimento em todos os modelos de produção analisados foi atribuído a infraestrutura representando 76,50% de contribuição (Figura 1), sendo caracterizado pela aquisição dos tanques-rede (68,38%), passarela flutuante (4,51%) e depósito para armazenamento da ração (3,61%). O segundo grupo de maior importância econômica foi a aquisição de máquinas (barco e veículo) com 15,68% de contribuição, seguido pelos equipamentos com 6,53% e outros gastos com 1,28%.

Para os itens que compõe o Custo Operacional Efetivo (COT), os insumos apresentaram a maior parcela de contribuição (Tabela 3). A ração, em todos os modelos de produção foi o item mais oneroso variando de 58,94 – 62,31%. O segundo item de importância foi a aquisição dos juvenis de tilápias vermelhas híbridas, variando de 21,01 – 24,57%. Para as operações manuais o principal item foi a mão de obra para alimentação representado de 2,58 a 2,68%. No que se refere ao Custo Operacional Total (COT), observou-se uma variação de R\$ 143.244,48 para o tratamento de não masculinização e R\$ 148.729,34 para o tratamento de masculinização por temperatura, ambos caracterizados pela baixa relação de carboidratos e lipídios.

Tabela 2. Valores dos itens do investimento inicial (capital fixo) de janeiro a fevereiro de 2023 na produção em tanques-rede de tilápias vermelhas masculinização ou não masculinizadas, alimentados com baixa ou alta relação de carboidratos e lipídios em fevereiro de 2023 (moeda em real R\$).

Itens do investimento inicial	Medida	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Valor total (R\$)	Vida útil (anos)	Sucata (%)	Valor de sucata (R\$/ciclo)	Depreciação (R\$)
Infraestrutura								
Tanque-rede de 18m ³	unidade	100	1.599,00	159.900,00	10	10	15.990,00	5.049,47
Passarela Flutuante (12m ²)	m ²	12	1.080,00	12.960,00	15	12	1.555,20	266,78
Depósito de ração (50m ²)	m ²	50	800,00	40.000,00	40	5	2.000,00	333,33
Equipamentos								
Aeradores	unidade	4	1.199,00	4.796,00	5	5	239,80	319,73
Balança de 1g até 10 kg	unidade	1	999,00	999,00	20	2	19,98	17,18
pHmetro	unidade	1	229,00	229,00	5	0	0,00	16,07
Medidor de oxigênio e temperatura	unidade	1	3.017,00	3.017,00	15	0	0,00	70,57
Disco de secchi	unidade	1	90,00	90,00	5	0	0,00	6,32
Puça	unidade	3	49,89	149,67	1	0	0,00	52,52
Véículos								
Barco (6m e motor 15HP)	unidade	1	20.000,00	20.000,00	20	10	2.000,00	315,79
Veículo para transporte	unidade	1	40.000,00	40.000,00	15	10	4.000,00	842,11
Outros gastos								
Gastos adicionais	unidade	1	1.500,00	1.500,00	5	10	150,00	94,74
Total (R\$)	-	-	-	283.640,67	-	-	25,954.98	7.384,60

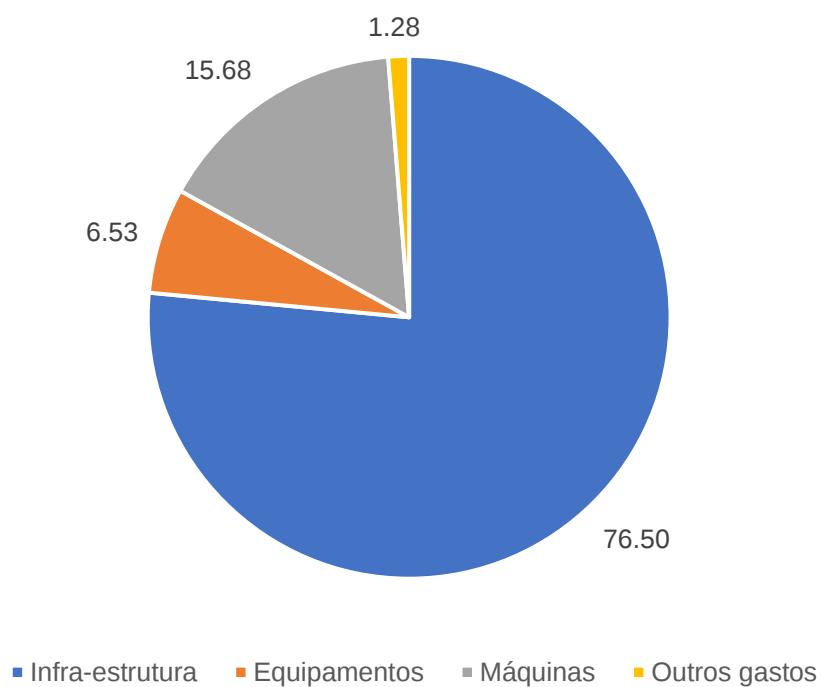


Figura 1. Contribuição percentual médio dos itens que compõem o investimento inicial para implantação do projeto da produção de tilápias vermelhas masculinização ou não masculinizadas, alimentadas com baixa e alta relação de carboidratos e lipídios em 100 tanques-rede de 6m³ em reais (R\$/ciclo) de fevereiro de 2023.

Tabela 3. Valor total e porcentagem de participação dos itens que compõem o custo operacional efetivo e total na produção de tilápias vermelhas com ou sem masculinização, alimentadas com baixa e alta relação de carboidratos e lipídios em 100 tanques-rede de 6m³ em reais (R\$/ciclo) de fevereiro de 2023.

Itens	Masculinização por hormônio		Masculinização por temperatura		Sem masculinização	
	HCHO/LIP	LCHO/LIP	HCHO/LIP	LCHO/LIP	HCHO/LIP	LCHO/LIP
Insumos						
Aquisição de juvenis de tilápia	34.200,00 (23,22) ⁴	34.200,00 (23,23)	36.360,00 (24,57)	36.360,00 (24,45)	30.780,00 (21,01)	30.780,00 (21,49)
Ração extrusada	88.918,43 (60,38)	88.913,66 (60,38)	87.228,16 (58,94)	87.973,91 (59,15)	91.274,56 (62,31)	88.311,26 (61,65)
Sal (profilaxia)	1.500,00 (1,02)	1.500,00 (1,02)	1.500,00 (1,01)	1.500,00 (1,01)	1.500,00 (1,02)	1.500,00 (1,05)
Operações manuais						
Povoamento	319,74 (0,22)	319,74 (0,22)	319,74 (0,22)	319,74 (0,21)	319,74 (0,22)	319,74 (0,22)
Alimentação	3.836,92 (2,61)	3.836,92 (2,61)	3.836,92 (2,59)	3.836,92 (2,58)	3.836,92 (2,62)	3.836,92 (2,68)
Controle dos parâmetros físico-químicos da água	63,95 (0,04)	63,95 (0,04)	63,95 (0,04)	63,95 (0,04)	63,95 (0,04)	63,95 (0,04)
Despesa	319,74 (0,22)	319,74 (0,22)	319,74 (0,22)	319,74 (0,21)	319,74 (0,22)	319,74 (0,22)
Custo operacional efetivo (COE)	129.158,79 (87,71)	129.154,02 (87,71)	129.628,52 (87,60)	130.374,28 (87,66)	128.094,92 (87,45)	125.131,62 (87,36)
Depreciação (itens do investimento inicial)	7.384,60 (5,01)	7.384,60 (5,01)	7.384,60 (4,99)	7.384,60 (4,97)	7.384,60 (5,04)	7.384,60 (5,16)
Encargos sociais ¹	2.068,59 (1,40)	2.068,59 (1,40)	2.069,95 (1,40)	2.069,95 (1,39)	2.069,95 (1,41)	2.069,95 (1,45)
CERSS ²	2.192,89 (1,49)	2.187,87 (1,49)	2.418,84 (1,63)	2.381,79 (1,60)	2.520,22 (1,72)	2.401,73 (1,68)
Despesas gerais ³	6.457,94 (4,39)	6.457,70 (4,39)	6.481,43 (4,38)	6.518,71 (4,38)	6.404,75 (4,37)	6.256,58 (4,37)
Custo operacional total (COT)	147.262,80	147.252,77	147.983,33	148.729,34	146.474,44	143.244,48

HCHO/LIP - Dieta com alta relação de carboidratos e lipídios; LCHO/LIP - Dieta com baixa relação de carboidratos e lipídios.

¹ Refere-se à mão-de-obra (45,59%). ² Refere-se à contribuição especial de seguridade social rural (1,2% sobre a receita bruta). ³ Referse-se à 5% do COE. ⁴ Porcentagem de participação.

Vale ressaltar que para a simulação econômica utilizou-se os resultados de um ensaio experimental que mostrou variações na produção total de peixes e no consumo total de ração. Estas variações foram inferidas nos valores de ganho de peso, conversão alimentar aparente e sobrevivência para a simulação econômica.

O modelo de produção dos peixes sem a masculinização, independente da dieta oferecida aos peixes (baixa e alta relação de carboidratos e lipídios) apresentaram os melhores valores de lucratividade (Tabela 4) seguido pelo método alternativo da masculinização por temperatura. Em contrapartida, verificou-se que os tratamentos de produção de peixes utilizando a masculinização por hormônio apresentaram os piores resultados econômicos, uma vez que não demonstraram o mesmo valor agregado observado nos métodos de masculinização por temperatura e não masculinização (Tabela 4).

E ao comparar as dietas fornecidas aos peixes, a alta relação de carboidratos e lipídios revelou-se a mais lucrativa em todos os tratamentos, comparando aos métodos de masculinização (por hormônio e temperatura) quanto a não masculinização, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4. Desempenho, custo e lucratividade na produção de tilápias vermelhas masculinizadas ou não, alimentados com diferentes relações de carboidratos e lipídios com baixa e alta relação de carboidratos e lipídios em tanques-rede em reais (R\$) de fevereiro de 2023.

Indicadores de desempenho	Masculinizadas por hormônio		Masculinizadas por temperatura		Sem masculinização	
	Alta CHO/LIP	Baixa CHO/LIP	Alta CHO/LIP	Baixa CHO/LIP	Alta CHO/LIP	Baixa CHO/LIP
Produção total de peixes (t/ciclo)	14,17	14,13	13,40	13,20	13,96	13,31
Consumo total de ração (t/ciclo)	20,83	22,14	20,44	21,91	21,38	12,99
Peso Final (kg)	0,430	0,427	0,410	0,401	0,412	0,405
Ganho de peso (kg)	0,384	0,381	0,354	0,343	0,357	0,348
Conversão alimentar aparente	1,47	1,57	1,52	1,67	1,53	1,65
Sobrevivência (%)	94,66	95,15	94,15	94,33	95,46	95,92
Indicadores de lucratividade						
Preço de venda R\$/kg	12,90	12,90	15,04	15,04	15,04	15,04
Receita bruta (R\$/ciclo)	182.740,69	182.322,34	201.569,88	198.482,88	210.018,61	200.143,78
Custo operacional total (R\$/ciclo)	147.262,80	147.252,77	147.983,33	148.729,34	146.474,44	143.244,48
Relação benefício/custo	1,24	1,24	1,36	1,33	1,43	1,40
Lucro operacional (R\$)	35.477,89	35.069,56	53.586,55	49.753,54	63.544,17	56.899,31
Índice de lucratividade (%)	19,41	19,23	26,58	25,07	30,26	28,43
Ponto de nivelamento em produção (t/ciclo) ¹	11,42	11,41	9,84	9,89	9,74	9,52
Ponto de nivelamento em preço (R\$/kg) ²	10,40	10,42	11,04	11,27	10,49	10,76

¹Volume mínimo de produção (t) para cobrir os custos de produção (Custo total/Preço de venda).

²Preço mínimo de venda para a cobertura dos custos de produção (Custo operacional total/Produção total).

4.4 Discussão

Neste estudo realizou-se uma simulação da análise econômica na produção de tilápias vermelhas híbridas, em tanques-rede, masculinizadas por hormônio, por temperatura e a não masculinização alimentadas com dietas com alta ou baixa relação de carboidratos e lipídios (CHO/LIP). Esses tratamentos testados orientam e servem de atratividade para o aumento da eficiência e lucratividade na produção de tilápias híbridas vermelhas em tanques-rede.

Na simulação para escala comercial de produção, observou que a infraestrutura foi o item de maior peso de investimento inicial sendo que a

aquisição dos tanques-rede foi mais representativa dentro dessa classe. Esse resultado também foi observado por Furlaneto et al. (2006), Ayroza et al. (2011) e Costa, Sabbag e Martins (2018) para a produção de tilápias. O segundo grupo mais significativo do investimento foi para a aquisição de veículo e barco para transporte, seguido pelos equipamentos necessários.

No custo operacional efetivo independente da relação de carboidratos e lipídios o custo da alimentação foi o item mais representativo em todos os tratamentos estudados, assim como observado por Costa, Sabbag e Martins (2018) avaliando pisciculturas de pequeno, médio e grande porte. Na aquicultura como um todo, os custos com alimentação representam mais da metade dos custos de produção (Yuan et. al., 2017; Limbu, 2020; Kunda, Pandit e Harun-Al-Rashid, 2021; Santos et al., 2023). Neste estudo, o custo da ração, também afetou fortemente o custo operacional total. Portanto, aumentar a eficiência da utilização da ração pode ajudar a trazer benefícios econômicos para os produtores.

No presente trabalho foi observado que a dieta com alta relação carboidratos e lipídios foi a mais onerosa em dois das três situações estudadas. Possivelmente o custo elevado dessa dieta experimental foi ocasionado pelo preço do amido de milho. É importante destacar que variação no tipo de qualquer flutuação nas matéria-prima utilizada na formulação das dietas, seja devido a sazonalidade ou a alterações nos preços de aquisição, pode afetar a viabilidade econômica dos modelos de produção propostos.

Resultados semelhantes também foram observados por Coutinho et al., (2018) no qual a alta relação de carboidratos e lipídios foi correlacionado com o aumento do preço da dieta experimental para a produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) da linhagem GIFT em tanques-rede. Esses autores citam que dietas contendo 39% de carboidratos com 8% de lipídios e 43% de carboidratos com 7% de lipídios produziram o melhor desempenho econômico na produção das tilápias.

A inclusão de carboidratos nas dietas para tilápias beneficia a extrusão, melhora as qualidades físicas e nutricionais dos pellets extrusados e minimiza a excreção de nitrogênio no ambiente aquático (Romano e Kumar, 2019). No entanto, apesar de implicar em custos mais elevados no presente estudo, a dieta

com alta relação de carboidratos e lipídios resultou em maior lucro operacional quando comparadas com a baixa relação de carboidratos e lipídios.

A aquisição dos juvenis, independentemente dos tratamentos testados, também desempenhou um papel significativo no custo operacional efetivo. Essa variável está estreitamente ligada aos canais de comercialização. Portanto, para reduzir os custos associados à aquisição dos juvenis, é essencial ter um conhecimento profundo dos preços de mercado na região onde o empreendimento será estabelecido (Ayroza et al., 2011, Costa et al., 2017; Costa, Sabbag e Martins, 2018).

Quanto ao custo com mão de obra, o fornecimento de ração para os peixes nos tanques-rede se destacou como o item mais oneroso. No entanto, de maneira geral, a redução dos custos de mão de obra depende da habilidade do tratador em tomar decisões sobre a quantidade de ração a ser fornecida, considerando fatores como peso, temperatura, níveis de oxigênio dissolvido e observações sobre os animais (Costa et al., 2017). Além disso, é essencial contar com uma equipe capacitada não apenas para a execução do manejo alimentar, mas também para o eficaz gerenciamento de todas as atividades relacionadas à aquicultura (Furlaneto et al., 2006).

Para Scorvo Filho et al. (2008), os custos tendem a ser decrescentes à medida que o produtor ganha experiência e passa a ter maior controle de sua produção, diminuindo as perdas com insumos e melhorando o processo produtivo. Assim, a capacidade de gerenciamento também é um fator determinante para o sucesso da piscicultura e uma das principais diferenças nos resultados obtidos entre os produtores (Andrade et al., 2005; Botelho, 2011).

Ao contrário do presente estudo, os resultados apresentados por Siddik et al. (2014) em viveiros durante o inverno indicam que a produção de tilápia monossexuada é mais lucrativa devido à sua taxa de crescimento superior. Observa-se que um dos desafios na produção de tilápias não masculinizadas em viveiros é o problema da reprodução descontrolada, conforme discutido por Little, Bhujel e Pham (2003). No entanto, quando a produção é realizada em tanques-rede, como no presente estudo, a questão da reprodução deixa de ser um grande obstáculo, uma vez que a incapacidade das tilápias de construir ninhos dificulta o processo de desova.

De modo geral, os modelos de produção de tilápia vermelhas mostraram uma atividade lucrativa, mas, com variações nos índices da análise econômica. O índice de lucratividade da tilápia vermelha híbrida é altamente sensível aos custos da alimentação, preços de mercado e taxas de sobrevivência (Chaibu et al., 2004). Ainda, o preço do peixe desempenha um papel importante na lucratividade econômica, pois a margem de lucro é baixa e o preço do peixe varia de acordo com a estação e a localização (Yuan et al., 2017).

Nesse contexto, ressalta-se a importância de evitar o uso do hormônio 17 α -metiltestosterona na produção de tilápias, devido aos riscos associados à saúde ambiental e social. A economia da criação de tilápia pode ser prejudicada pelo uso contínuo da masculinização por hormônio como uma estratégia para maximizar o retorno do investimento através do aumento da eficiência na produção. É evidente que métodos alternativos, como a masculinização por temperatura e a não masculinização, surgem como opções atraentes para a produção, especialmente quando oferecem valor agregado aos produtos.

Isso é particularmente influenciado por preocupações de segurança alimentar, principalmente por consumidores, como apontado por Balcombe et al. (2021). Além disso, a administração do hormônio masculinizante para tilápias não é aprovada pela Food and Drug Administration dos EUA, e países como a Índia, Costa Rica, Equador, os países da União Europeia e alguns países subsaarianos restringiram a venda e o cultivo de peixes tratados com hormônios (Mlalila et al., 2015). Assim, é importante considerar práticas alternativas para evitar tais riscos como apresentado no presente estudo e por Rivero-Wendt et al. (2020).

De acordo com Bostock et al. (2022), a adoção da estratégia específica de não masculinização pode permitir uma maior aceitação social, possibilitando o uso de pequenas tilápias em programas nutricionais e de desenvolvimento. Portanto, este estudo demonstrou que o cultivo de tilápias, seja através da masculinização por temperatura ou sem a masculinização, é viável, desde que haja uma diferença de preço clara a favor dos peixes não tratados com hormônios. Com o crescimento contínuo da população global, é crucial que os sistemas de aquicultura continuem a melhorar a eficiência na utilização de recursos cada vez mais escassos, com o objetivo de promover a sustentabilidade ambiental e econômica, como destacado por Boyd et al. (2020).

4.5 Conclusão

Dentre as diversas abordagens de masculinização ou não, os cenários de produção mais favoráveis foram observados na ausência de masculinização e na masculinização por temperatura, acrescentando um valor de venda significativo à comercialização de produtos livres do uso de hormônios no processo de masculinização. Adicionalmente, a dieta com uma alta relação de carboidratos e lipídios demonstrou ser a mais lucrativa. No entanto, é crucial reconhecer que flutuações nos preços dos ingredientes, nos custos de processamento das dietas e principalmente no preço de venda dos peixes podem influenciar substancialmente esses cenários de produção.

Os resultados obtidos neste estudo fornecem informações valiosas para a implementação de uma produção comercial de tilápias em tanques-rede com alto valor agregado. Esta pesquisa se configura como uma ferramenta fundamental para gestores e profissionais do setor, oferecendo orientações cruciais para tomadas de decisão.

4.6 Referências bibliográficas

Andrade, R.L.B., Wagner, R.L., Mahl, I., Martins, R.S. Custos de produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade da região oeste do Estado do Paraná. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 198–203, 2005.

Ayroza, D.M.M.R., Garcia, F., Ayroza, L.M.S., Furlaneto, F.P.B., Ferraudó, A.S., Mercante, C.T.J. **Environmental conditions, fish disease, management and economic evaluation of tilapia cages in a Brazilian hydroelectric reservoir**. Tilapia: biology, management practices and human consumption. Nova Science Publishers, New York, 2014. p. 119-145

Ayroza, L.M.S., Romagosa, E., Rezende Ayroza, D.M., Scorvo Filho, J.D.; Salles, F.A. Costs and profitability of juvenile Nile Tilapia breeding using different stocking densities in net cages. **Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science**, v. 40, n. 2, p. 231–239, 2011.

Balcombe, K., Bradley, D., Fraser, I. Do consumers really care? An economic analysis of consumer attitudes towards food produced using prohibited production methods. **Journal of Agricultural Economics**, v. 72, n. 2, 452-469, 2021.

Bostock, J., Albalat, A., Bunting, S., Turner, W.A., Mensah, A.D., Little, D.C. Mixed-sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) can perform competitively with mono-sex stocks in cage production. **Aquaculture**, v. 557, p. 738315, 2022.

Botelho, A.A. O processo de gestão agropecuária como instrumento do desenvolvimento regional para a agricultura familiar. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 2, 2011.

Boyd, C.E., D'Abramo, L.R., Glencross, B.D., Huyben, D.C., Juarez, L.M., Lockwood, G.S., McNevin, A.A., Tacon, A.G.J., Teletchea, F., Tomasso, J.R., Craig, S.T., Valenti, W.C. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. **Journal World Aquaculture Society**, v. 51, p. 578–633, 2020.

Chaibu, P., Ungsethaphand, T. Maneesri, S. The costs and returns of Tilapia and Tubtim (red tilapia) cage culture in Chiang Mai province, Thailand. **Journal of Fisheries**, v. 57, n. 3, p. 244–250, 2004.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab**. 2010. 60p.

CONAMA (Conselho Nacional Do Meio Ambiente). Resolução CONAMA nº 413, de 27 de maio de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de irrigação e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2009. Seção 1, p. 83-85.

Costa, J.I., Sabbag, O.J., Ayroza, L.M.D.S., Martins, M.I.E.G. Productive performance and economic evaluation of tilapia stocked in different times of the year. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 553-559, 2017.

Costa, J.I., Sabbag, O.J., Martins, M.I.E.G. Economic evaluation of tilapia production in cages in the middle Paranapanema-SP. **Costs and Agribusiness On Line**, v. 14, n. 4, p. 259-281, 2018.

Cottrell, R.S., Blanchard, J.L., Halpern, B.S., Metian, M., Froehlich, H.E. Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. **Nature Food**, v. 1, n. 5, p. 301-308, 2020.

Coutinho, J.J.O., Neira, L. M., Sandre, L.C.G., Costa, J.I., Martins, M.I.E.G., Portella, M.C., Carneiro, D. J. Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. **Aquaculture**, 497, 520-525, 2018.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. 2022.

Furlaneto, F.P.B., Ayroza, D.M.M.R., Ayroza, L.M.S. Custo e rentabilidade da produção de tilápia (*Oreochromis* spp.) em tanque-rede no médio paranapanema, Estado de São Paulo, safra 2004/05. **Informações Econômicas São Paulo**, NV - 3, 2006.

Garcia, F., Romera, D.M., Gozi, K.S., Onaka, E.M., Fonseca, F.S., Schalch, S. H., Candeira, P.G., Guerra L.O.M., Carmo, F.J., Carneiro, D.J., Martins, M.I.E.G., Portella, M.C. Stocking density of Nile tilapia in cages placed in a hydroelectric reservoir. **Aquaculture**, v. 410, p. 51-56, 2013.

Green, B.W. Tilapia fingerling production systems. In: C. Lim, C. Webster (Eds). **Tilapias: Biology, Culture, and Nutrition**. Food Products Press. Binghamton, NY. 2006. 181–210 p.

IEA (Instituto de Economia Agrícola). **Salários Rurais**. 2023. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/Bancodedados.php>. Acesso em: 01 fev. 2023.

Kunda, M., Pandit, D., Harun-Al-Rashid, A. Optimization of stocking density for mono-sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production in riverine cage culture in Bangladesh. **Heliyon**, v. 7, n. 11, p. e08334, 2021.

Li, S., Kallas, Z. Meta-analysis of consumers' willingness to pay for sustainable food products. **Appetite**, v. 163, p. 105239, 2021.

Limbu, S.M. The effects of on-farm produced feeds on growth, survival, yield and feed cost of juvenile African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*). **Aquaculture and Fisheries**, v. 5, n. 1, p. 58-64, 2020.

Little, D.C., Bhujel, R.C., Pham, T.A. Advanced nursing of mixed-sex and mono-sex tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry, and its impact on subsequent growth in fertilized ponds. **Aquaculture**, v. 221, n. 1-4, p. 265-276, 2003.

Martin, N.B., Serra, R., Oliveira, M.D.M., Ângelo, J.A., Okawa, H. Sistema integrado de custos agropecuários – CUSTAGRI. **Informações Econômicas**, v. 28, p. 7-28, 1998.

Matsunaga, M., Bemelmans, P.F., Toledo, P.E.N., Dulley, H.D., Okawa, H., Pedroso, I.A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, v. 23, p. 123-139, 1976.

Meurer, F.; Carmino H.; Fornari, D.C.; Bombardelli R.A.; Barbero L. Milheto em rações para a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante a reversão sexual. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, p. 323-327, 2004.

Mlalila, N., Mahika, C., Kalombo, L., Swai, H., Hilonga, A. Human food safety and environmental hazards associated with the use of methyltestosterone and other steroids in production of all-male tilapia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 7, 4922-4931, 2015.

Neumann, E., Koberstein, T.C.R.D., Braga, F.M.D.S. Desempenho de três linhagens de tilápia submetidas ao tratamento com 17- α -metiltestosterona em condições ambientais não controladas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 973-979, 2009.

Ng, W.K., Hanim, R. Performance of genetically improved Nile tilapia compared with red hybrid tilapia fed diets containing two protein levels. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 9, p. 965-972, 2013.

Ramírez-Paredes, J.G., Garduño-Lugo, M., Muñoz-Córdova, G. Productive performance of a new synthetic red tilapia population 'Pargo-UNAM' compared with that of wild-type Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v. 43, n. 6, p. 870-878, 2012.

Rivero-Wendt, C.L.G., Miranda-Vilela, A.L., Domingues, I., Oliveira, R., Monteiro, M.S., Moura-Mello, M.A., Matias, R., Soares, A.M.V.S., Grisolia, C.K. Steroid androgen 17 alpha methyltestosterone used in fish farming induces biochemical alterations in zebrafish adults. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, V. 55, N. 11, p. 1321-1332, 2020.

Romano, N., Kumar, V. Starch gelatinization on the physical characteristics of aquafeeds and subsequent implications to the productivity in farmed aquatic animals. **Reviews in Aquaculture**, v. 11, n. 4, p. 1271-128, 2019.

Santos, D.K.M., Freitas, O.R., Oishi, C.A., Fonseca, F.A.L., Parisi, G., Gonçalves, L.O. Full-Fat Black Soldier Fly Larvae Meal in Diet for Tambaqui, *Colossoma macropomum*: Digestibility, Growth Performance and Economic Analysis of Feeds. **Animals**, v. 13, n. 3, p. 360, 2023.

Scorvo-Filho, J.D., Mainardes-Pinto, C.S.R., Paiva, P.D.E., Verani, J.R., Silva, A.L. Custo operacional de produção da criação de tilápias tailandesas em tanques-rede, de pequeno volume, instalados em viveiros povoados e não povoados. **Custos e @gronegocio on line**, v. 4, n. 2, 2008.

Siddik, M.A.B., Nahar, A., Ahsan, M., Ahamed, F., Hossain, M. Over-wintering growth performance of mixed-sex and mono-sex Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in the northeastern Bangladesh. **Croatian Journal of Fisheries: Ribarstvo**, v. 72, v. 2, p. 70-76, 2014.

Tachibana, L., Castagnolli, N., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Valle, J.D.B., Siqueira, M.R. Performance of different Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains during sex reversal phase. **Acta Scientiarum-Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 305-311, 2004.

Yuan, Y., Yuan, Y., Dai, Y., Gong, Y. Economic profitability of tilapia farming in China. **Aquaculture international**, v. 25, p. 1253-1264, 2017.