



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

DOUGLAS ISMAEL CADORIN

**Efeito da frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho zootécnico,
composição corporal e metabólitos plasmáticos em juvenis de tilápia-do-nilo**

FLORIANÓPOLIS

2020

Douglas Ismael Cadorin

**Efeito da frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho zootécnico,
composição corporal e metabólitos plasmáticos em juvenis de tilápia-do-nilo**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Aquicultura.

Orientadora: Dr^a Débora Machado Fracalossi

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Cadorin, Douglas Ismael

Efeito da frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho zootécnico, composição corporal e metabólitos plasmáticos em juvenis de tilápia-do-nilo / Douglas Ismael Cadorin ; orientadora, Débora Machado Fracalossi, 2020.

63 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Nutrição de peixes. 3. Manejo alimentar. 4. Taxa de alimentação. 5. Oreochromis niloticus. I. Fracalossi, Débora Machado. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. III. Título.

Douglas Ismael Cadorin

**Efeito da frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho zootécnico,
composição corporal e metabólitos plasmáticos em juvenis de tilápia-do-nilo**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora
composta pelos seguintes membros:

Profa. Débora Machado Fracalossi, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Janaína dos Santos Pedron, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Camila Fernandes Corrêa, Dra.
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de mestre em Aquicultura.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura

Profa. Dra. Débora Machado Fracalossi
Orientadora

Florianópolis, 2020

RESUMO

A alimentação dos peixes na aquicultura objetiva atender às exigências nutricionais para alcançar maior crescimento, boa saúde, ótimo rendimento de carcaça e o mínimo desperdício de ração, otimizando a produção. Otimizar o manejo alimentar para melhorar a utilização dos nutrientes é fundamental para aliar o crescimento dos peixes à redução nos custos com alimentação. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar uma possível interação entre frequência alimentar e taxa de arraçoamento no crescimento, composição corporal e metabólitos plasmáticos, em juvenis de tilápia-do-nilo. Grupos de 26 peixes, com peso médio de 6,57 g foram distribuídos em 24 unidades experimentais, em delineamento completamente casualizado, em arranjo fatorial. Foram testados dois fatores 1) frequência alimentar: duas, quatro e seis vezes ao dia e 2) taxa de alimentação: saciedade aparente e restrita (85% em relação à saciedade aparente), totalizando assim, seis tratamentos com quatro repetições cada. O experimento durou 51 dias e os peixes foram pesados a cada 12 dias para monitorar o crescimento e ajustar o fornecimento de ração do tratamento restrito. Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA bifatorial e ao teste de Tukey, a um nível de significância de 5%. A frequência alimentar não afetou o consumo alimentar ou o ganho em peso nos peixes alimentados até a saciedade aparente, bem como naqueles alimentados sob o regime restrito. O ganho em peso diário e a taxa de crescimento específico foram 56% e 19% maiores, respectivamente, nos peixes alimentados até a saciedade aparente, quando comparados àqueles alimentados no regime restrito. A eficiência alimentar foi 14% melhor nos peixes alimentados no regime restrito. Além disso, os peixes alimentados até a saciedade aparente apresentaram maior acúmulo de gordura corporal (8,92%), quando comparados aos peixes submetidos ao regime alimentar restrito (6,64%). Os níveis de triglicérides e glicose também foram maiores nos peixes alimentados até a saciedade aparente, indicando um possível excesso de alimentação. A retenção proteica foi maior nos peixes alimentados no regime restrito, quando comparada aos peixes alimentados até a saciedade aparente (49,17% *versus* 42,51%, respectivamente), sendo que não houve interação entre os fatores para as variáveis supracitadas. Os peixes alimentados até a saciedade aparente cresceram mais devido a maior ingestão de nutrientes, ocasionado pelo maior consumo destes peixes. Entretanto, a eficiência alimentar foi reduzida e houve maior acúmulo de gordura quando os peixes foram alimentados até a saciedade aparente. Peixes alimentados até a saciedade aparente ganharam, em média, 62% mais gordura e 34% mais proteína, que aqueles sob o regime de alimentação restrita. Desta forma, conclui-se que, quando alimentados até a saciedade aparente os peixes utilizam a proteína da ração de uma maneira menos eficiente, refletindo na menor retenção proteica, sendo o excesso de proteína catabolizado para a produção de energia. Esta energia seria então armazenada como gordura. Os peixes submetidos ao regime alimentar restrito provavelmente otimizaram o processo de digestão, aproveitando os nutrientes de uma forma mais eficiente.

Palavras-chave: Aquicultura. Nutrição de peixes. Manejo alimentar. Taxa de alimentação. *Oreochromis niloticus*.

ABSTRACT

Fish feeding in aquaculture aims to meet nutritional requirements to achieve higher growth rates, good health, optimum dressing yield, and minimal feed waste. Optimizing feed management to improve nutrient utilization is a crucial key to match fish growth and feeding costs. Thus, the aim of this study was to evaluate a possible interaction between feeding frequency and feeding rate on growth, nutrient utilization, body composition, and plasma metabolites of juvenile Nile tilapia. Groups of 26 fish (6.57 g) were randomly distributed in 24 experimental units, following a completely randomized design in a factorial arrangement. We tested 1) three feeding frequencies: two, four, and six times a day and 2) two feeding ratios: apparent satiation or restricted regime (85% of apparent satiation), totaling six dietary treatments, set up in quadruplicate. The feeding trial lasted 51 days and fish were weighed every 12 days to monitor growth and to establish feed allowance. Resulting data were subjected to a two-way ANOVA; Tukey's test was used to separate means, and the level of significance of 5% was adopted in all tests. Feeding frequency did not affect feed intake or weight gain in fish fed to apparent satiation as well as in fish fed under the restricted regime. The daily weight gain and specific growth rate were 56% and 19% higher in fish fed at apparent satiation when compared to fish fed at the restricted regime, respectively. However, feed efficiency was 14% higher in fish fed at the restricted regime. Fish fed to apparent satiation presented the highest body lipid (8.92%) than the ones fed at the restricted regime (6.64%) the lowest. Glucose and triglycerides were also higher in fish fed to apparent satiation, so overfeeding cannot be ruled out. The protein retention ratio was highest at the restricted regime (49.17% versus 42.51%, respectively). One could conclude that fish grow more when they are fed to apparent satiation since higher feed intake means higher nutrient intake, which improve fish growth. However, our results show that feed efficiency decreased when fish were fed to apparent satiation. Fish fed at apparent satiation got 34% more body protein, but also 62% more body fat than the fish fed at the restricted regime. We conclude that at apparent satiation fish tend to use protein less efficiently, as shown by the lowest protein retention when the excess protein is probably catabolized to yield energy. Fish under the restricted feeding regime probably optimized the digestion process, using nutrients in a more efficient way.

Keywords: Aquaculture. Fish nutrition. Feeding management. Feeding rate. *Oreochromis niloticus*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de tilápias no Brasil nos últimos anos.....	14
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Frequência alimentar e taxa de arraçoamento para tilápia-do-nilo	25
Tabela 2. Formulação e composição da dieta experimental.....	35
Tabela 3. Protocolo alimentar dos peixes.....	36
Tabela 4. Variáveis de desempenho de juvenis de tilapia-do-nilo submetidos a diferentes manejos alimentares, quando criados por 51 dias a 28°C.....	40
Tabela 5. Composição corporal (g kg ⁻¹ peso úmido) de juvenis de tilápia-do-nilo submetidos a diferentes estratégias alimentares, quando criados por 51 dias a 28°C.....	41
Tabela 6. Metabólitos plasmáticos em juvenis de tilapia-do-nilo submetidos a diferentes estratégias alimentares, quando criados por 51 dias a 28 °C.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	10
1.1	PANORAMA DA PRODUÇÃO PESQUEIRA E AQUÍCOLA	10
1.2	TILÁPIA	11
1.2.1	Tilápia-do-nilo.....	12
1.3	MORFOLOGIA E FISILOGIA DIGESTÓRIA EM PEIXES	16
1.4	MANEJO ALIMENTAR	18
1.5	FREQUÊNCIA ALIMENTAR	21
1.5.1	Frequência alimentar para tilápia-do-nilo.....	22
1.6	TAXA DE ARRAÇOAMENTO	26
1.7	METABÓLITOS PLASMÁTICOS.....	28
1.7.1	Efeito da taxa de arraçoamento nos metabólitos plasmáticos	29
1.7.2	Efeito da frequência alimentar nos metabólitos plasmáticos	30
1.8	OBJETIVO GERAL	31
1.8.1	Objetivos específicos	31
2	ARTIGO CIENTÍFICO.....	32
2.1	INTRODUÇÃO	33
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.2.1	Dieta experimental	34
2.2.2	Protocolo alimentar.....	36
2.2.3	Peixes e condições experimentais.....	36
2.2.4	Biometria e coleta de amostras.....	37
2.2.5	Análise centesimal.....	38
2.2.6	Metabólitos plasmáticos.....	38
2.2.7	Variáveis indicadoras de qualidade de água	38
2.2.8	Análise estatística	39
2.3	RESULTADOS	39
2.3.1	Desempenho zootécnico e retenção de nutrientes	39
2.3.2	Composição corporal	40
2.3.3	Metabólitos plasmáticos.....	41
2.4	DISCUSSÃO	42
2.5	CONCLUSÃO.....	46

2.6	REFERÊNCIAS.....	47
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	54

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 PANORAMA DA PRODUÇÃO PESQUEIRA E AQUÍCOLA

A população mundial vem aumentando ao longo dos anos, tendo ultrapassado a expressiva marca de 7,7 bilhões no ano de 2019, segundo dados publicados pelas nações unidas (UN, 2019). Com o considerável aumento populacional, um dos principais desafios da sociedade é fornecer alimento a uma população com previsão de atingir 9 bilhões de pessoas até metade do século XXI (FAO, 2018) e 11 bilhões de pessoas até o fim do referido século (UN, 2019).

A principal atividade responsável por fornecer proteína como alimento à população humana é a criação de animais. Dentro desse cenário, a produção de pescados foi a principal responsável pela produção de proteína, tendo sido responsável por mais de 172,6 milhões de toneladas por ano, sendo seguida pela criação de aves, com 122 milhões de toneladas, seguido pela criação de suínos, com 121 milhões de toneladas e pela pecuária, que produz anualmente 72 milhões de toneladas de carne (FAO, 2019; FAO, 2018).

A produção de pescados pode ser dividida em duas modalidades: pesqueira e aquícola. A primeira foi responsável por aproximadamente 92,5 milhões de toneladas, o que corresponde a aproximadamente 54% do total produzido. Porém, dentro desta quantidade constam 19 milhões de toneladas que foram destinadas à produção de outros animais aquáticos, ou seja, foram utilizados como isca-viva ou para a fabricação de farinha e óleo de peixe, não tendo como fim o consumo direto por humanos (FAO, 2019).

A produção pesqueira cresceu significativamente dos anos 1950 até o final da década de 1980, tendo alcançado a marca de aproximadamente 90 milhões de toneladas ao ano no final desta década. No entanto, desde então, a produção continua estagnada em torno de 90 milhões de toneladas anuais, mesmo com o avanço da tecnologia pesqueira e também o aumento do esforço de pesca (FAO, 2018). A produção aquícola, por sua vez, passou de cerca de 10 milhões de toneladas anuais, em meados dos anos 1990 até, perto de 80 milhões de toneladas produzidas em 2017, correspondendo a quase 46% do montante referente a produção total de pescado no referido ano (FAO, 2019). Porém, diferente da produção pesqueira, a produção aquícola em sua totalidade foi destinada ao consumo humano. Este aumento na produção aquícola refletiu positivamente no consumo de pescados pela população, onde o consumo per capita aumentou de 9,9 kg na década de 1960 até atingir mais de 20 kg per capita em 2016 (FAO, 2018).

A China é o maior produtor aquícola do mundo desde 1991, produzindo quantidade superior à de todos os outros países do planeta combinados. Em 2017, a China foi seguida por Índia, Indonésia, Vietnã, Bangladesh, Egito e Noruega. Neste cenário, o Brasil aparece como o 13º maior produtor aquícola, segundo dados da FAO (2019). Em relação à piscicultura de água doce, a China produziu mais de 27 milhões de toneladas de peixe em 2018, o que representa em média 60% de toda a produção de peixes de água doce do mundo, enquanto o Brasil produziu aproximadamente 519.300 toneladas (IBGE, 2019), o que equivale a 2% da produção mundial.

Atualmente 598 espécies aquáticas são criadas em mais de 190 países, em diversos sistemas de criação; no entanto, 27 espécies de peixes são responsáveis por mais de 90% total da produção piscícola. Vale destacar, neste contexto, a produção de carpas e tilápias, sendo o último grupo produzido em mais de 130 países, totalizando mais de 4,5 milhões de toneladas no ano de 2017 (FAO, 2019).

1.2 TILÁPIA

Tilápias são peixes de água doce que pertencem a família Cichlidae, sendo estes animais nativos da África e da Palestina. Sua introdução ocorreu em diversos países tropicais, subtropicais e até de clima temperado na segunda metade do século XX (PILLAY, 1990). Diversos foram os motivos que promoveram a disseminação destes peixes mundialmente, podendo-se destacar: produção de alimentos, pesca esportiva, controle de plantas aquáticas em lagos, além de pesquisas científicas (EL SAYED, 2006).

Alguns registros históricos indicam que as primeiras criações de tilápias aconteceram a mais de 4 mil anos, no Egito (BALARIN; HATTO, 1979). De acordo com El Sayed (2006) é possível dividir o desenvolvimento global da criação de tilápias em três períodos históricos, sendo estes:

Antes de 1950, existem registros de apenas 5 países criando esta espécie, e em 1969, doze países. Isto ocorria devido à falta de conhecimento sobre aquicultura neste período, em especial a criação de tilápias como fonte de alimento. De 1970 a 1990 houve uma expansão na criação de tilápias, sendo este grupo de peixes produzidos em 78 países, mesmo que em pequenas quantidades. Durante estas duas décadas, ocorreu um crescimento médio anual de 14,2% na criação de tilápias. De 1990 até o momento, a criação de tilápias se difundiu mundialmente, sendo o segundo grupo de peixes mais produzido no mundo (FAO, 2018).

As tilápias podem ser, pela taxonomia, divididas em três principais gêneros, divergindo entre si pela forma como cada um incuba seus ovos. O gênero *Tilapia* realiza a incubação dos ovos no substrato. *Sarotherodon* é o gênero em que tanto indivíduos machos quanto fêmeas realizam a incubação dos ovos na boca, enquanto o gênero *Oreochromis* também realiza a incubação na boca, porém, apenas pelos indivíduos fêmea (EL SAYED, 2006). No que diz respeito a aquicultura, destaca-se o gênero *Oreochromis*, em especial a espécie *Oreochromis niloticus* que é atualmente a quarta espécie de peixe mais produzida no mundo (FAO, 2018). Em volume de produção, é possível destacar as espécies *Oreochromis mossambicus* e *Oreochromis aureus*.

1.2.1 Tilápia-do-nilo

A espécie tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*, possui diversos atributos que a transformaram na espécie com maior potencial de criação, dentre os quais se destacam: rusticidade e capacidade de se adaptar a diversos sistemas de criação (MICHELATO et al., 2016), alta taxa de crescimento, resistência a enfermidades, fácil reprodução e larvicultura (HE et al., 2013). Outro ponto chave que facilita sua criação é a capacidade de receber alimento inerte logo após a completa absorção do saco vitelínico (BOONANUNTANASARN et al., 2018; EL SAYED, 2006). Adicionalmente, possui carne branca, sem a presença de espinhos intramusculares, com ótima aceitabilidade pelo mercado consumidor (OLIVEIRA FILHO et al., 2010).

Apesar de ser uma espécie de origem tropical, a tilápia-do-nilo é criada em diversos países com clima subtropical, onde existe uma grande variação na temperatura da água ao longo do ano. A faixa de temperatura ideal de criação para esta espécie é de 26°C a 30°C e em temperaturas entre 13°C e 16°C ela para de se alimentar (MA et al., 2015). A temperatura letal varia de 6°C a 10°C (ABDEL-GANHAY et al., 2019) e em temperaturas superiores a 42°C (FAO, 2005).

Esta espécie também tolera baixas concentrações de oxigênio dissolvido, sendo que a dose letal para a espécie ocorre apenas quando esta variável atinge 0,1 mg L⁻¹. No que diz respeito ao pH, os melhores resultados de desempenho são obtidos dentro da faixa que vai de 7 e 8, porém, a espécie é capaz de resistir a valores que variam de 5 a 11 (ZANIBONI FILHO, 2004).

A tilápia-do-nilo é considerada uma espécie onívora, ingerindo uma ampla gama de alimentos na natureza, destacando-se a ingestão de organismos bentônicos, invertebrados

aquáticos, larvas de peixes, além de matéria orgânica em decomposição e detritos (EL-SAYED, 2006). Além disto, as tilápias podem ser consideradas filtradoras, devido a uma adaptação existente na brânquia destes peixes, que secreta muco e prende o plâncton presente na água, sendo este material ingerido e posteriormente assimilado ao longo do trato digestório (POPMA; MASSER, 1999; SANDERSON et al., 1996).

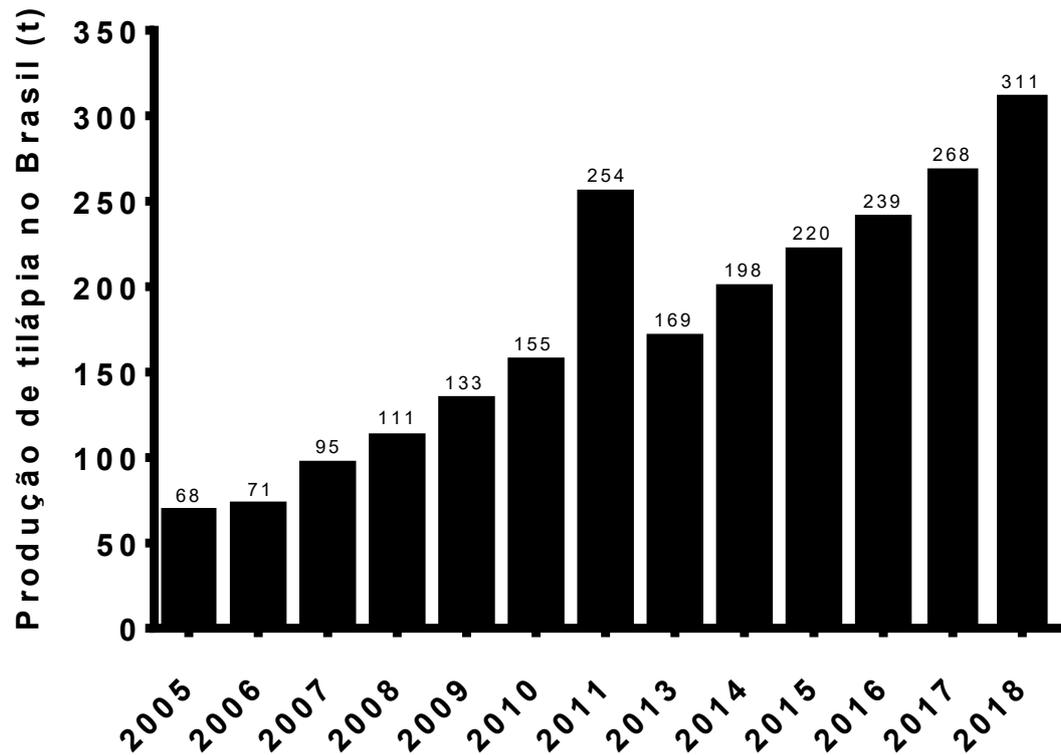
Com relação à reprodução, esta espécie é caracterizada por atingir maturação sexual precoce, com 5 ou 6 meses de vida, desde que a temperatura da água esteja próxima aos 24°C. Uma das características desta espécie é a confecção de ninhos escavados, além de um forte territorialismo por parte dos machos. Logo após a fertilização dos óvulos, as fêmeas realizam a incubação dos ovos na cavidade bucal. O processo de incubação costuma durar, em média, 14 dias, dependendo da temperatura da água (FAO, 2005).

A tilápia-do-nilo foi introduzida no Brasil na década de 1970, por meio de ações do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), sendo importadas da Costa do Marfim, para povoar reservatórios públicos localizados na região nordeste do país (ZANIBONI FILHO, 2004). Desde então, a criação de tilápias no Brasil apresenta uma tendência ao aumento na produção ao longo dos anos (Figura 1). Em 2005 foram produzidas aproximadamente 68 mil toneladas, mas em 2018 este número atingiu 311 mil toneladas, indicando um crescimento na atividade de aproximadamente 350% no período.

No ano de 2018, a tilápia-do-nilo foi responsável por 60% da produção total de peixes no Brasil, o que representa aproximadamente 311 mil toneladas despesadas, sendo a região sul do país responsável por 45,8% da produção total desta espécie (IBGE, 2019). De acordo com o anuário PEIXE-BR (2019), outra fonte de dados de produção de piscicultura, no Brasil são produzidas mais de 400 mil toneladas desta espécie. Apesar da região sul ser destaque nacional na produção de tilápias e ser caracterizada pelo clima subtropical, as regiões tropicais são mais favoráveis ao crescimento da espécie ao longo de todo o ano, não havendo a necessidade de realização de entressafra, fato que necessariamente ocorre na região Sul, devido às baixas temperaturas que ocorrem no inverno da região. Por outro lado, os produtores da região Sul contam com rações de 10% a 20% mais baratas do que os produtores da região Nordeste, por questões de logística (BARROSO et al., 2018).

No que diz respeito aos sistemas de criação utilizados nos principais polos produtivos, destaca-se o emprego de tanques-rede, nos quais as densidades de estocagem variam de 70 a 150 kg/m³ e de criações semi-intensivas em viveiros escavados, que aplicam densidades entre 10 e 40 kg/m² (BARROSO et al., 2018).

Figura 1. Produção de tilápias no Brasil nos últimos anos.



Fonte: Adaptado de Embrapa (2018).

A linhagem de tilápias conhecida como GIFT (*Genetic Improved Farmed Tilapia*), é a mais criada no Brasil (SANTOS et al., 2019) tendo sido introduzida no país em 2005, através de uma parceria realizada com a Universidade Estadual de Maringá (UEM) e a extinta Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP/PR). Através dessa parceria, foram recebidos 600 animais oriundos da *World Fish Center* (SCORVO FILHO et al., 2010). Esta linhagem foi fruto de melhoramento genético desenvolvido nas Filipinas, no qual foi utilizado uma ampla base genética de animais selvagens, oriundos do Egito, Gana, Quênia e Senegal, além de animais provenientes de criações introduzidas nas Filipinas vindos de Israel, Singapura, Tailândia e Taiwan (BENTSEN et a., 1998).

Desde a introdução desta variedade de tilápias no Brasil, a UEM continua o programa de melhoramento genético. Durante os primeiros anos do programa no país, o critério de seleção adotado foi o peso corporal. Após anos de bons resultados e constante evolução, o programa alterou o critério de seleção para o ganho em peso diário, objetivando a redução de tempo no ciclo produtivo, para que o animal atinja o tamanho de abate num menor período de tempo. Além disso, são notáveis os resultados referentes ao aumento na área e no volume do corpo dos animais, o que promove um melhor rendimento de filé (RIBEIRO; LEGAT, 2008).

A criação de tilápia possui uma característica peculiar, que é a produção exclusiva de indivíduos machos. Embora a tilápia possua uma série de características que a torna uma das espécies mais produzidas no mundo, a maturação sexual precoce é um ponto negativo na sua criação. Por este fato, justifica-se a criação somente de indivíduos machos para fins de controle populacional e maior crescimento, o que melhora a viabilidade econômica da atividade (BARROSO et al., 2018). Esta prática pode também ser justificada devido a características zootécnicas distintas entre machos e fêmeas desta espécie (LIND et al., 2015). Os machos crescem duas vezes mais rápido do que as fêmeas (LAGO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2013; POPMA; MASSER, 1999), pois estas direcionam energia para o desenvolvimento das gônadas, diminuindo assim o crescimento muscular (BALDISSEROTTO, 2009). Além disso, outro ponto negativo em possuir fêmeas no lote, mesmo que em quantidades entre 2 e 3%, estas estimulam disputas entre machos e a formação de ninhos, quando criados em viveiros, reduzindo assim o crescimento dos animais (BARROSO et al., 2018). Para a redução deste problema, técnicas que visam a produção de populações monossexo são mundialmente utilizadas. A principal técnica utilizada é a incorporação do hormônio sintético 17 α -metiltestosterona na ração (EL SAYED, 2006), sendo aplicada desde a primeira alimentação das larvas até o 28º dia após a eclosão, que é o período onde ocorre a diferenciação sexual. Os protocolos utilizados atualmente para a inversão sexual que utilizam o hormônio na ração foram adaptados do protocolo sugerido por Popma e Green (1990).

Técnicas de seleção manual baseadas em critérios morfológicos e hibridização entre espécies com diferentes mecanismos sexuais (*Oreochromis niloticus* - XX XY x *Oreochromis aureus* - ZW ZZ) foram utilizados por décadas (PRUGNIN et al., 1975). A produção de progênie a partir de reprodutores invertidos sexualmente (machos YY de *Oreochromis niloticus*) também é possível, porém, exigem uma grande quantidade de tempo tanto para a produção de larvas quanto seleção dos reprodutores (SCOTT; PENMAN; BEARDMORE, 1989). Além destas técnicas, alguns autores evidenciam uma potencial influência da temperatura da água na produção de indivíduos monossexo, onde experimentos comprovaram que tilápias do gênero *Oreochromis* sp., mantidas a 37°C, tendem a resultar em uma prole totalmente masculinizada (BAROILLER et al., 1996). Porém, para atingir um nível satisfatório de população monossexo, os animais precisam ser expostos por semanas a elevadas temperaturas, o que pode reduzir a sobrevivência do lote (BARAS; JACOBS; MÉLARD, 2001). Resultados satisfatórios para a masculinização de tilápias-do-nilo através de imersão das larvas em 17 α -metildehidrotestosterona por 3 h nos dias 10 e 13 após a fertilização também foram relatados (GALE; FITZPATRICK; LUCERO, 1999).

1.3 MORFOLOGIA E FISIOLOGIA DIGESTÓRIA EM PEIXES

Dentro dos animais vertebrados, uma das principais características da superclasse dos peixes é que estes, ao contrário dos demais vertebrados, conseguem consumir uma ampla gama de alimentos e esta ingestão se dá de diversas formas (OLSSON, 2011). Enquanto algumas espécies se alimentam de organismos microscópicos vegetais, outras apresentam-se como predadoras vorazes, o que resulta em distintos hábitos alimentares, cada qual conferindo variações na morfologia e fisiologia do sistema digestório. Porém, a maioria dos peixes podem ser considerados oportunistas, pois alimentam-se dos itens disponíveis no meio (NRC, 2011). Neste contexto, destaca-se a tilápia-do-nylo que é capaz de filtrar o fitoplâncton (PERSCHBACHER; LORIO, 1993), ingerir e digerir perifiton (AZIM et al., 2003), zooplâncton (IBRAHIM et al., 2015) além de ração. Apesar de existir uma -de variações morfológicas, as funções do trato digestório continuam semelhantes, sendo estas: digestão dos alimentos, osmorregulação, secreção de hormônios, além de defesa do organismo contra patógenos (BUDDINGTON; KUZ'MINA, 2000).

As características morfofisiológicas do sistema digestório estão diretamente associadas ao hábito alimentar de cada espécie. Estas características vão desde a estrutura bucal, que é responsável pela captura do alimento, passando pela forma e tamanho do estômago e intestino, até a produção de enzimas digestivas que implicam na digestão, absorção e aproveitamento dos nutrientes (GONÇALVES et al., 2013).

No que diz respeito aos principais hábitos alimentares dos peixes, que está baseado nos principais itens que compõem sua dieta no ambiente natural, destacam-se: herbívoros, onívoros e carnívoros. De acordo com Harder (1976), o trato digestório dos peixes pode ser dividido em quatro regiões: 1) *headgut* que inclui a boca e a faringe, órgãos presentes na porção cefálica; 2) *foregut*, incluindo o esôfago e estômago e constituindo a porção anterior; 3) *midgut*, incluindo o intestino propriamente e 4) *hindgut*, que seria o reto. De uma forma geral, a boca e a faringe são responsáveis pela captura e pelo processamento mecânico inicial (CLEMENTS; RAUBENHEIMER, 2005). A digestão química inicia-se no esôfago e estômago, continuando até o intestino propriamente dito, que é onde se dá principalmente o processo de absorção dos nutrientes (WILSON; CASTRO, 2011).

Os processos de busca, seleção, apreensão, orientação e preparação pré-digestiva do alimento são realizadas pelos órgãos de apreensão, sendo este conjunto composto pelos seguintes órgãos: boca, língua, dentes, arcos branquiais, além do esôfago. Basicamente, estes órgãos são responsáveis pela execução de uma força mecânica capaz de quebrar os alimentos

ingeridos em partículas menores, o que facilita o processo de ação das enzimas digestivas em processos digestórios futuros (RUST, 2002; BUDDINGTON; KUZ'MINA, 2000). As tilápias possuem dentes pequenos, achatados distalmente, o que é uma característica comum de espécies de hábito alimentar diversificado (BEVERIDGE; BAIRD, 2000). Ainda sobre os órgãos de apreensão, as tilápias possuem adaptações nos rastros branquiais para secreção de muco, destinado a captação de fitoplâncton para posterior digestão (SANDERSON et al., 1996). Além disso, outra característica do grupo das tilápias, é que estas possuem um esôfago pequeno, que permite a passagem do alimento previamente digerido pela cavidade bucal até o estômago (BEVERIDGE; BAIRD, 2000).

Por outro lado, os órgãos digestórios são responsáveis pelo processo de digestão, principalmente química, e absorção dos nutrientes. Sendo estes: estômago e cecos pilóricos, ausente em algumas espécies, além do intestino, que é responsável pela digestão e absorção do alimento. O hepatopâncreas, incluindo a vesícula biliar, também é considerado um órgão digestório, responsável pela produção de enzimas, armazenamento e secreção de bile, armazenamento e assimilação de nutrientes, além de promover a homeostase, que é capacidade do organismo de controlar as concentrações de sais nos tecidos (RUST, 2002). As tilápias possuem um pequeno estômago (EL SAYED, 2006) que se conecta a um longo intestino, sendo este órgão muito maior, em termos de comprimento, do que o próprio corpo do animal (GONÇALVES et al., 2013), estas características indicam que a espécie não ingere grande quantidade de alimento por alimentação, porém, possui uma ampla área destinada a absorção de nutrientes. Esta menor ingestão de alimento de uma só vez também é compensada por uma ingestão mais frequente de alimento.

Devido a diferenças na morfologia e fisiologia do sistema digestório entre as espécies de peixes, o tipo de alimento e a frequência alimentar estão geralmente relacionados a hábitos alimentares distintos. Isto se reflete, por exemplo, no tamanho do estômago, definindo o intervalo de tempo entre as alimentações (KAPOOR; SMITH; VERIGHINIA, 1975). Os peixes carnívoros, principalmente os piscívoros, tendem a apresentar um estômago grande, com alta capacidade de distensão, que pode aumentar seu tamanho até quatro vezes, além de realizar o processo de digestão mais lentamente. Por outro lado, os peixes onívoros e herbívoros tendem a realizar várias alimentações em curto período de tempo; portanto, possuem estômagos menores, porém com uma grande quantidade de músculos, que proporcionam fortes contrações para triturar os alimentos ingeridos, normalmente com maior conteúdo em matéria fibrosa, com menor digestibilidade (BALDISSEROTTO, 2009).

Pode-se dizer que as espécies herbívoras tendem a possuir intestinos mais longos, tendo em vista que os itens que compõem a dieta destes animais são pouco digestíveis e de baixo valor nutricional. Por outro lado, os carnívoros geralmente possuem intestinos curtos, já que se alimentam de alimentos mais digestíveis e com alto valor nutricional e os peixes onívoros tendem a ter intestino de tamanho intermediário, variando conforme a complexidade dos alimentos consumidos pela espécie (KAPOOR; SMITH; VERIGHINIA, 1975). Os peixes considerados onívoros, apresentam uma grande variedade de tamanho de intestino, podendo este órgão ser curto em espécies onívoras com tendência à carnivoria, como é o caso do jundiá (*Rhamdia quelen*), que apresente um coeficiente intestinal (comprimento do intestino/comprimento corporal) próximo de 1 ou possuir intestinos longos, como é o caso da tilápia-do-nilo, que apresenta um coeficiente intestinal de 6,14 (RODRIGUES et al., 2012).

A tilápia-do-nilo possui um longo intestino, adaptado a receber uma ampla gama de alimentos, incluindo matéria fibrosa, que possui baixa digestibilidade (EL SAYED, 2006). Ainda, um intestino longo, propicia a atuação da microbiota benéfica na biossíntese de vitaminas e na redução de bactérias patogênicas, podendo influenciar na digestão, nutrição, desempenho e na resistência do hospedeiro a enfermidades (GHANBARI; KNEIFEL; DOMIG, 2015). O intestino longo pode ser considerado um dos grandes mecanismos adaptativos desenvolvidos pela tilápia-do-nilo, que resulta em maior rusticidade e, conseqüentemente, sucesso na criação intensiva.

Sugere-se que, dietas ricas em ingredientes com baixos valores de digestibilidade e itens de difícil digestão, tendem a ser compensados por maiores frequências alimentares, além de um maior comprimento do intestino, para atender às exigências nutricionais desta espécie (BALDISSEROTTO, 2009).

1.4 MANEJO ALIMENTAR

O objetivo da alimentação dos peixes na aquicultura é atender às exigências nutricionais para alcançar um crescimento ótimo, boa saúde, ótimo rendimento de carcaça e o mínimo desperdício de ração, de modo a otimizar a produção (SCHMITTOU; JIAN; CRAMBER, 1998). A qualidade da dieta e o manejo alimentar afetam diretamente a composição corporal dos peixes, que é frequentemente utilizada como um indicador da qualidade do pescado (AHMED, 2007).

O excesso de ração, além de promover a deterioração da água na criação, pode promover alterações no aproveitamento dos nutrientes pelos peixes. Por outro lado, quando a

alimentação é fornecida em quantidades insuficientes, resulta em baixo desempenho zootécnico e crescimento heterogêneo (LOURES et al., 2001). Estratégias alimentares que combinem frequência alimentar e taxa de alimentação adequadas, podem melhorar o crescimento e a conversão alimentar dos peixes (DWYER et al., 2002), além de refletir positivamente nos custos de produção (BARBOSA; NEVES; CERQUEIRA, 2011).

É indicado que os peixes sejam alimentados em um horário definido e que este protocolo seja mantido, uma vez que possuem um mecanismo chamado de atividade antecipatória de alimentação, que promove um processo interno, englobando ritmos biológicos e rotina alimentar, conhecido como cronobiologia alimentar. As vantagens de se manter a cronobiologia alimentar podem ser comparadas à adaptação dos animais a um fotoperíodo ou a uma faixa de temperatura (STICKNEY, 1979). Uma vez que os peixes se acostumam com a rotina alimentar, os mesmos criam mecanismos que os possibilitam otimizar a utilização dos nutrientes da dieta (COMPERATORE; STEPHAN, 1987). Os protocolos alimentares promovem diversas funções comportamentais e fisiológicas nos animais, podendo inclusive afetar o crescimento (BOUJARD; LEATHERLAND, 1992). Vale ressaltar que a atividade antecipatória de alimentação é um processo que ocorre gradualmente, depois de um determinado período com o animal recebendo alimentações nos mesmos horários e que o mesmo ocorre para a cronobiologia alimentar (SÁNCHEZ-VÁZQUEZ; MADRID, 2001). Portanto, os peixes podem ser treinados a receber sua alimentação em horários definidos, permitindo que os peixes passem a se preparar para a digestão antes mesmo de serem alimentados.

A quantidade de ração que os peixes recebem por dia pode ser calculada tanto em relação ao seu peso vivo (taxa de arraçoamento), fornecendo aos peixes um percentual da sua biomassa, como pode ser fornecida até a saciedade aparente. Uma vez que o aumento da biomassa é algo que ocorre diariamente nos peixes, a taxa de alimentação precisa ser ajustada periodicamente. A forma mais precisa de ajustar a taxa de alimentação seria pesar todos os animais diariamente, porém, isto se torna inviável, principalmente devido ao estresse que os peixes estariam sujeitos, além do esforço de trabalho que seria dispendido. Assim sendo, recomenda-se um intervalo que varie de uma a duas semanas para o controle da taxa de arraçoamento (LIM; WEBSTER, 2006; STICKNEY, 1979).

A ração também pode ser fornecida para os peixes até a saciedade aparente. Nesta forma de manejo alimentar, a ração é oferecida até que não haja mais consumo. Esta forma de alimentação pode ser comparada ao método *ad libidum*, que é amplamente utilizado para os animais terrestres, onde o alimento é fornecido à vontade em comedouros e, posteriormente

quantifica-se o consumo, descontando-se a sobra de alimento ofertado. Porém, no meio aquático, a ração quando em contato com a água por longos períodos, perde nutrientes por lixiviação, deteriorando a qualidade da água e prejudicando a conversão alimentar. Desta forma, quando a alimentação for realizada até a saciedade aparente, o alimentador deve perceber o exato momento em que os peixes param de se alimentar, para não ofertar ração em excesso (FRACALLOSSI; CYRINO, 2013).

Em situações onde o desperdício de ração tem como origem a alimentação excessiva, uma análise no manejo alimentar deve ser realizada. Este fato geralmente se justifica pelo fornecimento de ração aos peixes superior ao apetite dos animais. Para a determinação do manejo alimentar ideal, é fundamental compreender o comportamento alimentar e o funcionamento do apetite. Também, deve-se verificar se o regime alimentar, quantidade de ração fornecida por alimentação, frequência alimentar e duração das alimentações estão ajustadas visando o crescimento ótimo e uma melhor conversão alimentar (GODDARD, 1996).

Complexos mecanismos metabólicos, neurofisiológicos e hormonais estão envolvidos na regulação do apetite, além de fatores ambientais e operacionais. É comum perceber a redução no consumo alimentar após a realização de biometrias, por exemplo (GODDARD, 1996).

Em peixes, dentre os processos fisiológicos relacionados ao apetite, os quais são semelhantes aos de vertebrados superiores, pelo menos dois mecanismos de *feedback* ocorrem. Um, a curto prazo, em resposta à distensão do estômago e o outro, relacionado à resposta metabólica dos peixes à percepção de uma determinada quantidade de nutrientes na corrente sanguínea. Durante o processo de alimentação, receptores presentes na parede do estômago e na região proximal do intestino, ligados ao cérebro dos peixes, monitoram a quantidade de alimento presente no estômago. Quanto o estômago está cheio, a região do hipotálamo do cérebro, responsável pelo controle da saciedade, responde à informação recebida e indica que o animal pode parar de se alimentar. O retorno da atividade alimentar acontecerá apenas quando o estômago liberar uma quantidade considerável do seu conteúdo para o intestino. Quanto isso ocorrer, a região do hipotálamo referente à alimentação promoverá o retorno de apetite (GODDARD, 1996). De acordo com Smith (1989), a mudança nos níveis de glicose, ácidos graxos e aminoácidos essenciais absorvidos no intestino e que estão circulando na corrente sanguínea também são monitorados por receptores presentes no fígado e cérebro.

Em estudo com tilápia-do-nilo, utilizando dietas peletizadas e avaliando o efeito de frequências alimentares de três e cinco vezes ao dia sobre o tempo de evacuação gástrica e o retorno do apetite, foi constatado que os peixes alimentados com intervalo de 4 a 5 h consumiram tanto quanto eles haviam evacuado neste período, enquanto que os peixes

alimentados com intervalos de 2 a 3 h apresentaram sobrecarga gástrica. Assim, os autores constataram que o retorno do apetite ocorre aproximadamente 4 h após uma alimentação até a saciedade aparente. Assim, quando alimentadas com dietas peletizadas e mantidas a 28°C, as frequências que respeitem o intervalo de 4 h entre refeições devem aumentar a eficiência produtiva da tilápia-do-nilo (RICHE et al., 2004).

1.5 FREQUÊNCIA ALIMENTAR

A frequência alimentar pode ser definida como o número de alimentações fornecidas ao dia para os peixes. Está diretamente associada à sobrevivência, crescimento, conversão alimentar e composição corporal dos peixes (VOLKOFF; PETER, 2006). Frequências alimentares insuficientes reduzem o crescimento e aumentam a mortalidade em peixes, enquanto o aumento da frequência alimentar geralmente melhora a eficiência produtiva, devido ao maior crescimento e o menor desperdício de ração (XIE et al., 2011). Entretanto, um número excessivo de alimentações pode aumentar o trabalho na piscicultura, o que leva a um aumento nos custos de produção (WANG et al., 2007). O excesso também pode causar uma piora na conversão alimentar e na qualidade da água (BISWAS et al., 2006), além de reduzir a eficiência na absorção dos nutrientes (LEE; CHO; KIM, 2000).

Zhou e colaboradores (2003) avaliaram o efeito de frequências alimentares de duas, quatro, seis, 12 e 24 vezes ao dia para juvenis de carpas gibel, *Carassius auratus gibelio*, peixes onívoros, com peso inicial médio de 3 g e verificaram aumento no consumo de ração em relação ao aumento da frequência alimentar, com exceção dos peixes alimentados 12 e 24 vezes ao dia. Entretanto, os autores concluem que a frequência alimentar ideal é de 24 vezes ao dia, pois resulta em melhor crescimento para juvenis desta espécie. Não houve diferença na composição corporal dentre os diferentes tratamentos testados.

Em contraste, juvenis de *blunt snout bream*, *Megalobrama amblycephala*, de hábito alimentar herbívoro, apresentaram melhor crescimento quando alimentados três vezes ao dia, quando testados em uma, duas, três, quatro, cinco e seis frequências alimentares. Ainda, os autores verificaram aumento no teor lipídico na carcaça quando os peixes foram alimentados acima de três vezes ao dia. Como conclusão, frequências alimentares insuficientes ou em demasia resultaram em retardo de crescimento e piora na eficiência alimentar nesta espécie, enquanto que os melhores resultados de desempenho foram encontrados nos animais alimentados três vezes ao dia. (TIAN et al., 2015).

Ao avaliar o efeito de diferentes frequências alimentares para juvenis de linguado do rabo amarelo, *Limanda ferrugínea*, que são animais carnívoros, Dwyer e colaboradores (2002) relataram melhor crescimento e eficiência alimentar nos peixes alimentados duas vezes ao dia até a saciedade aparente, quando comparado aos alimentados em dias alternados, uma e quatro vezes ao dia.

Juvenis de truta *dolly varden char*, *Salvelinus malma*, salmonídeo com hábito alimentar carnívoro, alcançaram melhores resultados de desempenho zootécnico quando alimentados quatro vezes ao dia (GUO al., 2018). Neste estudo, foram avaliadas as frequências alimentares de uma, duas, três, quatro, cinco e seis vezes ao dia e observou-se que, quando os peixes são submetidos a baixas frequências alimentares (1, 2 e 3 vezes ao dia), apresentam pior crescimento. Entretanto, peixes alimentados seis vezes ao dia também atingiram piores resultados de crescimento, evidenciando a importância da adoção de um manejo alimentar adequado para um ótimo crescimento.

Juvenis do carnívoro bijupirá (100 a 200 g), *Rachycentron canadum*, alimentados uma, duas, três, quatro e seis vezes ao dia não apresentaram diferenças nas variáveis indicadoras de desempenho zootécnico em condições laboratoriais. Portanto, sugere-se que a frequência alimentar ideal para esta espécie seja de apenas uma vez ao dia nesta fase de desenvolvimento (COSTA-BONFIM et al., 2014).

Portanto, fatores biológicos como espécie, estágio de desenvolvimento, hábito alimentar, linhagem e fatores ambientais como temperatura ótima e qualidade de água são extremamente relevantes para a determinação da frequência alimentar ideal.

1.5.1 Frequência alimentar para tilápia-do-nilo

Não foi encontrada interação entre o efeito de duas frequências alimentares (quatro e seis vezes ao dia) e de três diferentes taxas de arrazoamento (6, 9 e 12% do peso vivo ao dia) para tilápia-do-nilo (0,57 g), linhagem chitralada, alimentada com dieta farelada com 48% de proteína bruta, em viveiros revestidos com lona. A frequência alimentar não interferiu no desempenho produtivo, porém melhores resultados de desempenho foram alcançados quando os peixes foram alimentados com a taxa de alimentação correspondente a 9 e 12% do seu peso vivo. Assim, os autores recomendam alimentar juvenis de tilápias-do-nilo, linhagem chitralada, com 9% do peso vivo, quatro vezes ao dia (SANTOS et al., 2015). Entretanto, resultados distintos foram relatados em experimento em arranjo fatorial com tilápia-do-nilo da linhagem GIFT, em estágio de desenvolvimento similar (0,84 g), onde duas frequências alimentares (duas

ou três alimentações ao dia) e cinco taxas de arraçoamento (2, 4, 6, 8 e 10% do peso vivo) foram avaliadas. Após 70 dias, os melhores resultados foram encontrados nos peixes que receberam 6% do peso vivo e que foram alimentados duas vezes ao dia (HUANG et al., 2015). Desta forma, fica evidenciado de que a linhagem é uma das características que afeta o manejo alimentar ideal, alterando inclusive parâmetros de desempenho. Portanto, este aspecto ser levado em consideração na criação destes peixes.

Em juvenis de tilápias-do-nilo (1 g), alimentados duas, três, quatro e cinco vezes ao dia com dieta experimental contendo 35% de proteína bruta, mantidos na salinidade 14 ‰ por durante 42 dias, a composição lipídica corporal foi maior nos peixes alimentados quatro e cinco vezes ao dia, os quais também apresentaram o maior ganho em peso, taxa de crescimento específico e melhor conversão alimentar. Os autores recomendam que os peixes sejam alimentados quatro vezes ao dia quando mantidos em condições ambientais similares (DAUDPOTA et al., 2016).

Juvenis de tilápia-do-nilo da linhagem *genetically male tilápia* (GMT[®]) pesando 2,65 g foram alimentados duas e oito vezes ao dia com dietas isonitrogenadas, variando a fonte proteica entre protenose, concentrado proteico de ervilha, semente de girassol ou farelo de soja e farinha de peixe para avaliar o crescimento, nível de estresse e resposta dos macrófagos. Não foram encontradas diferenças para o crescimento com os tratamentos avaliados. O cortisol, parâmetro utilizado para determinar o estresse em peixe, também não diferiu entre os tratamentos utilizados, estando dentro da faixa de conforto para a espécie. Porém a quantidade de macrófagos coletada em peixes alimentados duas vezes ao dia foi inferior àquela coletada em peixes alimentados oito vezes, quando desafiados com duas cepas de *Yersinia ruckeri*. Com isso, os autores concluem que o aumento na frequência alimentar pode aumentar a resistência dos animais contra enfermidades (GARCIA; VILLAROEL, 2009).

Ao avaliar o efeito da frequência alimentar (duas e seis vezes ao dia) e três fontes de carboidratos na dieta (amido de milho, dextrina e glicose) em híbridos de tilápia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) com peso inicial de 7,77 g, constatou-se que os peixes alimentados seis vezes ao dia, independente da fonte de inclusão de carboidrato na dieta, alcançaram melhores resultados de crescimento e eficiência alimentar do que aqueles alimentados duas vezes ao dia, sem diferença para a deposição lipídica corporal (TUNG; SHIAU, 1991).

Foi avaliado o desempenho de juvenis de tilápia-do-nilo da linhagem GIFT, invertidos sexualmente para macho, com peso inicial de 11,8 g, por três meses, em sistema de recirculação de água, alimentando-os uma ou duas vezes ao dia em horários distintos (06 h e 12 h ; 06 h e

18 h) e três vezes ao dia até a saciedade aparente, com um dieta comercial que continha 18% de proteína bruta. Cabe ressaltar que a quantidade de proteína bruta presente na ração fornecida para a espécie está em desacordo com a exigência do gênero proposta pelo NRC (2011). Ainda assim, o crescimento foi semelhante entre os animais alimentados duas vezes ao dia (06 h e 18 h) e três vezes ao dia. Não foram encontradas diferenças para a conversão alimentar e composição corporal. Como os autores avaliaram frequências alimentares que são comumente utilizadas na Tailândia como tratamentos, eles sugerem que a frequência alimentar ideal é de duas vezes ao dia, alimentando os animais às 06 h e às 18 h (THONGPRAJUKAEW et al., 2017).

Juvenis de tilápia-do-nilo foram alimentados duas e quatro vezes ao dia com dietas isonitrogenadas, visando avaliar tanto a frequência alimentar quanto a fonte de proteína na dieta de peixes com peso médio de 50,87 g, em tanques de concreto. Não foram evidenciadas diferenças para o crescimento entre os peixes que recebiam farinha de peixe ou farelo de soja, porém, aqueles alimentados quatro vezes ao dia apresentaram maior ganho em peso, quando comparado àqueles alimentados duas vezes ao dia (GABER; HANAFY, 2008).

Visando abolir o uso de farinha de peixes em rações para o estágio inicial de criação de tilápias-do-nilo, única fase na qual este insumo ainda é utilizado, Zhao e colaboradores (2010) avaliaram o efeito de substituir a farinha de peixe por concentrado proteico de soja alimentando os animais duas ou seis vezes ao dia. Os resultados apontaram que a farinha de peixe pode ser totalmente substituída pelo concentrado proteico de soja, desde que exista a suplementação com metionina e que os animais sejam alimentados seis vezes ao dia.

Ao avaliar o efeito de diferentes frequências alimentares, duas, cinco e oito vezes ao dia, para larvas de tilápia-do-nilo das linhagens GIFT e chitralada em temperatura subótima (23°C), Silva e colaboradores (2017) relataram melhores resultados de desempenho com as larvas da linhagem chitralada. Os autores relatam que os resultados encontrados com as frequências de cinco e oito vezes ao dia foram similares, mas superiores quando comparados a fornecer alimentação duas vezes ao dia. Sugere-se, portanto, que larvas de tilápias-do-nilo da linhagem chitralada criadas em temperatura subótima sejam alimentadas cinco vezes ao dia.

Além de interferir no desempenho dos peixes, a frequência alimentar também pode afetar a taxa de inversão sexual. Ao avaliar o efeito de uma dieta suplementada com o hormônio 17- α -metiltestosterona nas frequências alimentares de uma, duas, três, quatro e cinco vezes ao dia sobre a taxa de inversão sexual, constatou-se índices superiores a 95% de inversão sexual para indivíduos machos foi encontrada apenas nos peixes que recebiam alimentação quatro ou

cinco vezes ao dia, estando os resultados atribuídos a maior circulação do hormônio na corrente sanguínea durante o período de diferenciação sexual (MEURER et al., 2012).

Os estudos mencionados acima estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1. Frequência alimentar e taxa de arraçoamento para tilápia-do-nilo.

reqüência alimentar	Taxa de arraçoamento	Peso inicial	Linagem	Temperatura	Duração do experimento	Melhor resultado	Ganho em peso	Conversão alimentar	Referência
Unidade	%	g		°C	dias		g		
4 e 6	6, 9 e 12	0,57	Chitralada	30	35	9%, independente da frequência	9,88	1,05	SANTOS et al., 2015
2 e 3	2, 4, 6, 8 e 10	0,84	GIFT	28,2	70	6%, 2 vezes/dia	21,43	1,08	HUANG et al., 2015
2, 3, 4 e 5	3	1,0		29	42	4 vezes ao dia	4,8	3,46	DAUDPOTA et al., 2016
2 e 8	10	2,65	GMT	28	60	8 vezes ao dia	8		GARCIA; VILLAROEL, 2009
1, 2 e 3	Saciedade aparente	11,8	GIFT	29,81	90	2 vezes ao dia	171	1,61	THONGPRAJUKA EW et al., 2017
2 e 4	2%	50,27		27,5	168	4 vezes ao dia	150,3	2,66	GABER; HANAFY, 2008

A salinidade de 14 foi utilizada no trabalho realizado por Daudpota e colaboradores (2016)

1.6 TAXA DE ARRAÇOAMENTO

Taxa de arraçoamento é definida como a quantidade de alimento fornecida aos animais em relação ao seu peso vivo, sendo expressa na forma de porcentagem (%). O peso vivo dos animais ser obtido por meio de estimativas, utilizando taxas de crescimento específico e conversão alimentar, ou por meio de biometrias (LIM; WEBSTER, 2006). A taxa de arraçoamento deve ser ajustada semanalmente ou a cada duas semanas (LIM; WEBSTER, 2006; STICKNEY, 1979).

Um dos fatores que influenciam na taxa de arraçoamento é o tamanho dos peixes. Sabe-se que peixes nas fases iniciais de desenvolvimento exigem maior quantidade de energia e nutrientes para o metabolismo por unidade de peso vivo. Nestas fases, os peixes apresentam uma maior taxa de crescimento, consumindo uma quantidade percentual maior de alimento em relação ao peso vivo de peixes com peso maior (LIM; WEBSTER, 2006).

Além disso, fatores ambientais, destacando-se a temperatura da água, afetam diretamente o metabolismo, crescimento e outros processos fisiológicos nos organismos aquáticos (LIM; WEBSTER, 2006; JIAN; CHENG; CHEN, 2003). Quando a temperatura é mantida na faixa de conforto da espécie, há um aumento e na taxa metabólica e, conseqüentemente, na demanda por alimento, enquanto que, em temperaturas altas ou baixas, ocorre redução na taxa metabólica, reduzindo o consumo de alimento e o crescimento do animal (CORRÊA et al., 2018; MA et al., 2015; LIM; WEBSTER, 2006).

Diversos estudos relatam que alimentação em excesso pode levar à deterioração da qualidade de água, proliferação de doenças e aumento nos custos de produção (SILVA; BRANDÃO; GOMES, 2007; MIHELAKAKIS; TSOLKAS; YOSHIMATSU, 2002; NG et al., 2000). Por outro lado, alimentações insuficientes tendem a promover crescimento reduzido e aumentar a heterogeneidade no lote de peixes (AHMED, 2007; CHO; BUREAU, 2001).

Um experimento em arranjo fatorial testou seis taxas de arraçoamento, sendo estas: 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, 4% do peso vivo, além de alimentar os animais até a saciedade aparente tanto em água doce e quanto em água marinha para juvenis do carnívoro robalo europeu, *Dicentrarchus labrax*. O estudo propôs avaliar o desempenho deste peixe, sendo possível concluir que os melhores resultados de desempenho e eficiência alimentar foram alcançados quando os animais recebiam entre 3% e 3,5% do seu peso vivo em ração por dia, tanto em água doce quanto em ambiente marinho (EROLDOGAN; KUMLU; AKTAS, 2004).

Ao avaliar o efeito de taxas de arraçoamento (2, 4, 6, 8 e 10% do peso vivo por dia e até a saciedade aparente) sobre parâmetros zootécnicos e composição corporal de juvenis da

espécie herbívora sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis*, evidenciou-se que o peso final e a taxa de crescimento específico aumentou conforme a taxa de arraçoamento aumentava, enquanto que a conversão alimentar seguiu a tendência oposta. A deposição lipídica corporal também foi afetada pela taxa de arraçoamento, sendo esta maior nos animais alimentados com as maiores taxas de arraçoamento. Baseados em uma regressão polinomial de segunda ordem referente a taxa de retenção proteica, sugere-se que juvenis de sardinha sejam alimentadas com 5,45% do seu peso vivo por dia (BALOI et al., 2017).

Para os carnívoros juvenis de garoupa *Epinephelus coioides* alimentados com 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3% e 3,5% , notou-se um aumento no ganho de peso até a taxa da arraçoamento de 2,5% do peso vivo por dia, sendo este tratamento igual a 3% e 3,5% para esta variável, a composição corporal lipídica seguiu esta mesma tendência. Além disso, foi avaliado também a digestibilidade da matéria seca, proteína bruta e energia, com os coeficientes aumento até 2,5% onde atingiu-se um platô para os demais tratamentos. Desta forma, a taxa da arraçoamento recomendada para juvenis desta espécie é de 2,5% do peso vivo por dia (LUO et al., 2006).

Em um estudo com juvenis do carnívoro linguado *Paralichthys olivaceus*, tratamentos com animais alimentados a 70, 75, 80, 85, 90 e 95% da saciedade aparente com uma dieta extrusadas foram utilizados para avaliar o crescimento da espécie. O ganho em peso e taxa de crescimento específico não foram diferentes entre os tratamentos que receberam 100% e 95%, sendo menores nos outros tratamentos. Não foram encontradas diferenças para retenção proteica entre os tratamentos testados. Os autores concluíram que alimentando os animais com 95% do valor equivalente à saciedade aparente não ocorre supressão no crescimento dos animais (CHO et al., 2006).

Ao investigar o efeito de alimentar na espécie herbívora carpas capim *Ctenopharyngodon idellus* com dietas extrusadas e peletizadas com a mesma composição em diferentes taxas de arraçoamento, não foram encontradas diferenças no consumo entre dietas peletizadas e extrusadas. Porém, nas taxas de arraçoamento equivalentes os animais que receberam ração extrusadas apresentaram melhores resultados para ganho em peso, retenção proteica e lipídica, além de menor conversão alimentar. Baseados nos resultados encontrados, sugere-se que os animais sejam alimentados com dietas extrusadas em 80% da saciedade aparente para melhores resultados de desempenho (LI et al., 2018). Em contraste, o onívoro bagre do canal *Ictalurus punctatus* não apresentou resultados diferentes para crescimento quando alimentados com dietas extrusadas ou peletizadas. Além disso, a espécie apresentou

melhor aproveitamento da ração quando alimentada com uma quantidade referente a 70% da saciedade aparente (XU et al., 2017).

1.7 METABÓLITOS PLASMÁTICOS

O sangue é um tecido líquido e móvel que está em equilíbrio com praticamente todos os outros tecidos do corpo. Dentre as funções deste tecido, destaca-se o transporte de gases respiratórios, nutrientes e produtos em degradação. O sangue é composto de um meio líquido, chamado de plasma ou soro, sendo este obtido por meio de centrifugação, onde estão suspensos os elementos figurados pertencentes a três classes de glóbulos: vermelhos, brancos e trombócitos. O plasma é composto por 90% de água, 7% de proteínas, além de solutos variados, metabólitos, enzimas, etc (RANZANI-PAIVA et al., 2013).

Os metabólitos plasmáticos fornecem uma visão geral do estado nutricional dos peixes, pois refletem a utilização dos nutrientes da dieta (LUNDSTEDT; MELO; MORAES, 2004), além do seu estado fisiológico e clínico. A aplicação de estratégias para monitorar parâmetros plasmáticos pode ser relevante para adequar o manejo alimentar ideal em espécies aquícolas, já que esta opção é rápida, barata e não letal. Vale ressaltar que os parâmetros metabólicos devem ser determinados em peixes não alimentados, para que a alimentação fornecida não interfira nos resultados, porém, estes parâmetros não tem muita valia quando coletados em peixes submetidos a jejuns prolongados (PERES; SANTOS; OLIVA-TELES, 2013).

Além dos aspectos supracitados, fatores como a adequação a uma nova ração ou manejo alimentar, qualidade de água e presença de estressores crônicos, agudos ou enfermidades também promovem alterações nos metabólitos plasmáticos (PERES; SANTOS; OLIVA-TELES, 2013). Estes, portanto, devem ser também considerados para a interpretação dos seus resultados.

É preciso pontuar que para animais terrestres, o desenvolvimento de exames sanguíneos de rotina, proporcionam uma avaliação mais prática, sofisticada e precisa do estado nutricional, permitindo que situações de má nutrição ou saúde sejam rapidamente detectadas (KNOX et al., 1998). Espera-se que, no futuro, esta seja também uma ferramenta utilizada na criação intensiva de peixes, para avaliar principalmente o estado nutricional e fisiológico dos animais.

Dentre os metabólitos plasmáticos, a glicose é a principal fonte de energia metabólica que circula em teleósteos e é o principal combustível para o funcionamento do cérebro (SOENGAS; ALDEGUNDE, 2002). Além disso, os níveis de glicose podem ser influenciados

pelo estresse e por fatores nutricionais. Já os triglicerídeos, são a reserva lipídica mais prontamente disponível durante as fases iniciais de redução de oferta de alimento (NAVARRO; GUTIÉRREZ, 1995). Por serem insolúveis em água, estes podem ser estocados em grande quantidade no tecido adiposo do animal. Estes metabólitos estão presentes no plasma e são importantes indicadores do metabolismo de carboidratos e lipídios em peixes, respectivamente (XU et al., 2017).

Além destes, as proteínas totais do soro são compostas por um grande número de proteínas, como albuminas e globulinas, que participam de diversas funções como transporte de nutrientes, metabólitos, hormônios e produtos em excreção, são sintetizadas no fígado e a taxa de síntese pode ser associada ao estado nutricional do animal. Este metabólito reflete o funcionamento do metabolismo proteico, sendo que o aumento das proteínas totais no plasma é resultado de uma maior deposição proteica no corpo dos animais (LIU et al., 2019; (NAVARRO; GUTIÉRREZ, 1995).

O colesterol, que pode ter origem exógena, proveniente da alimentação, ou endógena, sendo sintetizado principalmente pelo fígado. Este metabólito plasmático é um lipídio que possui importante papel na biossíntese de vários hormônios, além de ser um importante constituinte da estrutura das membranas celulares. Níveis baixos de colesterol podem indicar deficiências energéticas enquanto que níveis altos podem refletir o consumo em excesso de gorduras e carboidratos (PALMERINI et al., 2009; NAVARRO; GUTIÉRREZ, 1995)

1.7.1 Efeito da taxa de arraçoamento nos metabólitos plasmáticos

Ao avaliar o efeito de diferentes taxas de arraçoamento com dietas extrusadas e peletizadas para o onívoro bagre-do-canal, *Ictalurus punctatus*, os níveis séricos de triglicerídeos diminuíram com a redução da taxa de alimentação (XU et al., 2017). Resultados semelhantes foram encontrados para a também onívora, carpa comum *Cyprinus carpio*. Além disso, para a carpa comum houve também uma redução nos níveis de glicose, conforme a taxa de alimentação era reduzida, com o uso de dietas peletizadas (SHIMENO et al., 1997). Porém, com dietas extrusadas, a variação nas taxas de arraçoamento não afetaram os teores de glicose, o que pode ser justificado pelo melhor aproveitamento do amido presente na dieta, com o processamento desta por extrusão (GLENCROSS et al., 2012). Em consequência, a redução dos níveis de triglicerídeos e colesterol plasmáticos em taxas de alimentação menores pode ser resultado do aumento das taxas de mobilização de lipídios (MCCUE, 2010).

Em estudo com juvenis do onívoro tambaqui, *Colossoma macropomum*, com peso médio de 55 g, alimentados com 5%, 7,5% e 10% do peso vivo por dia, foi relatada uma redução significativa nos valores de proteínas totais no sangue nos peixes submetidos a menor taxa de alimentação. Este resultado provavelmente é devido à menor ingestão de alimento destes peixes, os quais metabolizavam proteínas para a produção de energia (CHAGAS et al., 2005). Peixes alimentados a 5% do peso vivo apresentaram resultados mais satisfatórios para a criação da espécie em tanque-rede.

Ao avaliar as respostas metabólicas a diferentes taxas de alimentação (2,28%, 2,07%, 1,85%, 1,64%, 1,16% e 0,72%) em carpas comum, que é uma espécie onívora, foram evidenciadas maiores concentrações de colesterol, triglicerídeos e proteínas totais no plasma dos peixes alimentados com as mais altas taxas de alimentação (SHIMENO et al. 1997).

Ao avaliar o efeito de diferentes taxas de alimentação (2%, 4%, 6%, 8% e 10%) em juvenis da espécie herbívora sardinha, *Sardinella brasiliensis*, sobre glicose, proteínas totais, colesterol e triglicerídeos, com exceção da glicose os metabólitos plasmáticos foram afetados pela taxa de alimentação, destaca-se que as taxas de alimentação mais elevadas resultaram em maiores valores dos parâmetros citados (BALOI et al., 2017).

1.7.2 Efeito da frequência alimentar nos metabólitos plasmáticos

Ao avaliar o efeito da frequência alimentar no onívoro *jade perch* *Scortum barcoo* de uma, duas, três e quatro vezes ao dia foi evidenciado efeito dos tratamentos sobre os parâmetros metabólicos colesterol, glicose e triglicerídeos. A glicose e o colesterol apresentaram menores valores nos peixes alimentados uma vez ao dia quando comparados com aqueles alimentados três vezes ao dia. Os triglicerídeos foram menores nos peixes alimentados uma vez ao dia do que naqueles alimentados duas vezes ao dia (AL-KHAFAJI et al., 2017). Para as variáveis de crescimento, os peixes alimentados três vezes ao dia foram os que apresentaram melhores resultados.

Ao alimentar juvenis de tilápia-do-nilo duas e três vezes ao dia com 2%, 4%, 6%, 8% e 10% da biomassa, relatou-se o efeito da frequência alimentar sobre os níveis de colesterol e triglicerídeos sanguíneos. Neste caso, tanto os níveis de triglicerídeos quanto de colesterol foram menores nos peixes alimentados três vezes ao dia, quando comparado aos peixes alimentados duas vezes ao dia (HUANG et al., 2015). Entretanto, os peixes alimentados duas vezes ao dia apresentaram melhores resultados de desempenho.

Não foram encontradas diferenças em glicose ou colesterol plasmático ao estudar o efeito de diversas estratégias alimentares em juvenis do carnívoro pirarucu, *Arapaima gigas* (PEDROSA et al., 2019). As estratégias testadas foram: peixe acionando o alimentador (equivalente à saciedade aparente), alimentação fornecida manualmente duas vezes ao dia até a saciedade aparente, três vezes ao dia até a saciedade aparente e 2% do peso vivo fornecidos duas vezes ao dia.

1.8 OBJETIVO GERAL

Contribuir para o aprimoramento do manejo alimentar em juvenis de tilápia-do-nilo.

1.8.1 Objetivos específicos

Avaliar o efeito da taxa de alimentação no desempenho, composição corporal e metabólitos plasmáticos de juvenis de tilápia-do-nilo.

Avaliar o efeito da frequência alimentar no desempenho, composição corporal e metabólitos plasmáticos de juvenis de tilápia-do-nilo.

Verificar uma possível interação entre frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho, composição corporal e metabólitos plasmáticos de juvenis de tilápia-do-nilo.

2 ARTÍGO CIENTÍFICO

O artigo a seguir será submetido ao periódico *Aquaculture*.

Tilápia-do-nilo alimentada em regime de restrição alimentar, independente da frequência alimentar, acumula menos gordura corporal e é mais eficiente na utilização da proteína da dieta

Douglas Ismael Cadorin¹, Maria Fernanda Oliveira da Silva¹, Karthik Masagounder²
& Débora Machado Fracalossi^{1,*}

¹ Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil.

² Evonik Nutrition & Care GmbH, Hanau-Wolfgang, Alemanha.

*Autor correspondente: Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, UFSC, Rodovia Admar Gonzaga, 1346. CEP: 88034-001, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *E-mail*: debora.fracalossi@ufsc.br

RESUMO

Otimizar o manejo alimentar para melhorar a utilização dos nutrientes é fundamental para aliar o crescimento dos peixes à redução dos custos com alimentação. O objetivo deste estudo foi avaliar uma possível interação entre frequência alimentar e taxa de arraçoamento no crescimento, composição corporal e metabólitos plasmáticos em juvenis de tilápia-do-nilo. Grupos de 26 peixes (peso médio 6,57 g) foram distribuídos em 24 unidades experimentais, sendo submetidos a diferentes regimes de alimentação, seguindo delineamento completamente casualizado, em arranjo fatorial. Foram testados dois fatores 1) frequência alimentar: duas, quatro e seis vezes ao dia e 2) taxa de alimentação: saciedade aparente ou restrito (85% em relação à saciedade aparente), totalizando assim, seis tratamentos com quatro repetições cada. O experimento durou 51 dias e foi realizado em um sistema de recirculação de água, com temperatura controlada (28°C). Para monitorar o crescimento e ajustar o fornecimento de ração, os peixes foram pesados a cada 12 dias. O ganho em peso diário e a taxa de crescimento específico foram 56% e 19% mais altos, respectivamente, nos peixes alimentados até a saciedade aparente, quando comparados àqueles alimentados sob o regime restrito. A eficiência alimentar foi 14% melhor nos peixes alimentados no regime restrito. Além disso, os peixes alimentados até a saciedade aparente apresentaram maior acúmulo de gordura corporal (8,92%) quando comparados aos peixes submetidos ao regime alimentar restrito, que apresentaram 6,64% de gordura. Os níveis de triglicerídeos e glicose também foram maiores nos peixes alimentados até a saciedade aparente, indicando um possível excesso no consumo de ração. A retenção proteica foi maior nos peixes alimentados no regime restrito quando comparada aos animais alimentados até a saciedade aparente. Pode-se afirmar que os peixes cresceram mais quando alimentados até a saciedade aparente, pois quanto maior o consumo alimentar, maior será a ingestão de nutrientes. Entretanto, a eficiência alimentar foi reduzida quando os peixes foram alimentados até a saciedade aparente. Peixes alimentados até a saciedade aparente ganharam, em média, 34% a mais proteína, mas também ganharam 62% mais gordura que aqueles sob o regime de alimentação restrita. Ressalta-se que não houve interação entre os fatores para as variáveis supracitadas. Conclui-se que, quando alimentados até a saciedade

aparente, os peixes utilizam a proteína da ração de uma maneira menos eficiente, refletindo na menor retenção proteica, sendo o excesso de proteína catabolizado para a produção de energia. Provavelmente os peixes submetidos ao regime alimentar restrito otimizaram o processo de digestão, aproveitando os nutrientes de uma forma mais eficiente.

Palavras-chave: nutrição de peixes, manejo alimentar, taxa de alimentação, *Oreochromis niloticus*.

2.1 INTRODUÇÃO

A tilápia-do-nylo, *Oreochromis niloticus*, é a quarta espécie de peixe mais produzida no mundo, estando atrás apenas do grupo das carpas (FAO, 2019). O Brasil é o quarto produtor mundial da espécie (FAO, 2018), onde a tilápia representa mais que 60% do total da produção em aquicultura (IBGE, 2019). Várias características tornam a tilápia-do-nylo uma importante espécie na aquicultura mundial: apresenta rápido crescimento, resistência ao manejo e adaptada a diversos sistemas intensivos de criação (MICHELATO et al., 2016), além de sua carne branca ser bem aceita pelo mercado consumidor (OLIVEIRA FILHO et al., 2010). Possui programa de melhoramento genético, além de ser fácil a obtenção de formas jovens (HE et al., 2013), principalmente pela sua prolificidade e capacidade de consumir alimento inerte desde a primeira alimentação exógena (BOONANUNTANASARN et al., 2018).

A ração representa o principal custo nos sistemas intensivos de produção aquícola (CRAIG, 2017; SCORVO FILHO et al., 2010; TACON; METIAN, 2008; (SILVA; BRANDÃO; GOMES, 2007). Além disso, o desperdício de ração promove a deterioração dos parâmetros de qualidade de água (BISWAS et al., 2006) e reduz a utilização dos nutrientes pelos peixes (XU et al., 2017). Neste contexto, otimizar o manejo alimentar para aprimorar a utilização dos nutrientes pela tilápia-do-nylo é fundamental para combinar o aumento da produtividade com redução dos custos relacionados à alimentação. Uma vez que a dieta oferecida atenda suas exigências nutricionais, o manejo alimentar pode ser a principal ferramenta responsável por aumentar a eficiência alimentar e o crescimento (BISWAS et al., 2010).

Os peixes tendem a apresentar melhor desempenho quando são alimentados mais vezes ao longo do dia (XIE et al., 2011; DWYER et al., 2002; TSEVIS et al., 1992). Porém, se o intervalo entre as alimentações é curto demais, o alimento passa muito rápido pelo trato digestório, reduzindo a capacidade de absorção dos nutrientes (LIU; LIAO, 1999). Altas frequências alimentares promovem aumento nos custos laborais (WANG et al., 2007), mas frequências alimentares insuficientes levam ao crescimento reduzido dos peixes (TIAN et al.,

2015). A frequência alimentar ideal está diretamente associada ao tempo de esvaziamento gástrico (LEE; CHO; KIM, 2000), sendo que o retorno do apetite depende, diretamente, do esvaziamento do estômago (LEE; CHO; KIM, 2000; HUEBNOR; LANGTON, 1982). O consumo alimentar é ditado pela quantidade de alimento que permanece no estômago, oriundo da última alimentação. Assim, fornecer alimento em intervalos menores do que aqueles necessários para o retorno do apetite promovem uma sobrecarga intestinal, o que resulta em menor absorção de nutrientes (RICHE et al., 2004).

Para a tilápia-do-nilo, em fases iniciais de vida é necessária uma maior frequência alimentar, bem como taxa de arraçoamento (SILVA et al., 2017; SANTOS et al., 2015; GARCIA; VILLAROEL, 2009), devido ao seu rápido desenvolvimento durante esta fase, além de alta taxa metabólica. Para juvenis e fases de terminação, com o total desenvolvimento corporal, a frequência alimentar e taxa de arraçoamento são exigidas em menor frequência e porcentagem, respectivamente. Há na literatura diversos estudos avaliando a taxa de arraçoamento e frequência alimentar, porém, os resultados são conflitantes, devido principalmente a diferentes linhagens utilizadas entre os estudos, além de diferenças nas condições experimentais (SILVA et al., 2017; THONGPRAJUKAEW et al., 2017; DAUDPOTA et al., 2016; HUANG et al., 2015; SANTOS et al., 2015).

Diversos estudos mostram que o estado nutricional dos peixes reflete diretamente no metabolismo dos mesmos (PERES et al., 2013; CONGLETON; WAGNER, 2006). Desta forma, metabólitos como: glicose, triglicerídeos, colesterol e proteínas totais, por indicarem mudanças no metabolismo lipídico, proteico e dos carboidratos (YUAN et al., 2019) podem auxiliar na determinação do manejo alimentar ideal. O gênero *Oreochromis* é um dos poucos a possuir um estudo que indique valores de metabólitos plasmáticos de referência (HRUBEC et al., 2000).

Este estudo foi conduzido para verificar uma possível interação entre a frequência alimentar e taxa de arraçoamento no desempenho, composição corporal, retenção de nutrientes e metabólitos plasmáticos em um experimento realizado com juvenis de tilápia-do-nilo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Dieta experimental

Uma dieta experimental foi formulada para atender às exigências nutricionais de juvenis de tilápia-do-nilo (NRC, 2011; FURUYA, 2010) (Tabela 2). Antes da preparação da

ração, todos os ingredientes foram analisados para determinação da sua composição proximal. Os ingredientes secos foram moídos (1mm de malha, em moinho de martelo), peneirados manualmente (0,6 mm), pesados e homogeneizados em misturador horizontal (Inbramaq, Ribeirão Preto, Brasil). Na sequência, incorporou-se o óleo e a umidade da mistura foi ajustada com água destilada a 21%. A dieta foi extrusada em extrusora de rosca única modelo MX40 (Inbramaq, Ribeirão Preto, Brasil). Os parâmetros utilizados para a extrusão foram os seguintes: temperatura 100°C, taxa de fluxo: 20% da capacidade nominal, velocidade de rosca: 220 rpm, razão largura/diâmetro 2,3/1, diâmetro da rosca: 92,5 mm, comprimento do cilindro: 210 mm. Após a extrusão, os pellets (1,5 a 2,0 mm) foram secos em estufa de circulação de ar forçado (50 °C) até atingir aproximadamente 8% de umidade. Após estes procedimentos, a ração foi embalada e armazenada a 4°C em recipiente hermeticamente fechado, protegido de luz.

Tabela 2. Formulação e composição da dieta experimental.

Ingredientes	%
Farelo de soja ^a	50,40
Milho ^a	33,30
Farinha de vísceras ^b	7,50
Farinha de carne e ossos ^a	6,40
Premix ^c	1,00
Óleo de soja ^d	0,50
DL-Metionina ^c	0,35
Colina ^c	0,10
Hidroxitolueno butilado ^c	0,10
Composição, % matéria seca	
Energia bruta	4.450
Proteína bruta	35,14
Matéria seca	10,78
Extrato etéreo	6,48
Cinzas	6,14

^a Milho (8% de proteína bruta), farelo de soja (46% de proteína bruta), e farinha de carne e ossos (49% de proteína bruta) doados por Nicoluzzi Rações Ltda (Penha, Brasil).

^b 65% de proteína bruta, produzido por Kabsa S.A., Porto Alegre, Brasil.

^c Bitartarato de colina (Rhostrer, São Paulo, Brasil) ; Hidroxitolueno butilado (BHT) (Rhostrer, São Paulo, Brasil) e premix vitamínico-mineral (Cargill, São Paulo, Brasil), composição por kg produto: ácido fólico 420 mg, ácido pantotênico 8.333 mg, BHT 25000 mg, biotina 134 mg, sulfato de cobalto 27 mg, sulfato de cobre 1.833 mg, sulfato de ferro 8.000 mg, iodato de cálcio 92 mg, sulfato de manganês 3.500 mg, niacina 8.333 mg, selenito de sódio 100 mg, vitamina (vit.) A 1.666.670 UI, vit. B₁ 2.083 mg, vit. B₁₂ 5.000 µg, vit. B₂ 4.166 mg vit. B₆ 3.166 mg, ácido ascórbico 66.670 mg, vit. D₃ 666.670 UI, vit. E 16.666 UI, vit. K₃ 833 mg, sulfato de zinco 23.330 mg, inositol 50.000 mg, propionato de cálcio 250.000 mg.

^d Bunge Alimentos S.A., Gaspar, Brasil.

^e Evonik Industries AG, Essen, Alemanha.

2.2.2 Protocolo alimentar

O ensaio alimentar foi realizado sob um delineamento inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial. Dois fatores foram testados: frequência alimentar (2, 4 e 6 vezes ao dia) e taxa de arraçoamento (restrito e até a saciedade aparente), totalizando seis tratamentos, que foram testados em quatro repetições cada (Tabela 3). A quantidade de ração ofertada ao tratamento restrito foi definida como 85% do consumo em relação ao percentual do peso vivo dos peixes alimentados até a saciedade aparente duas vezes ao dia, sendo esta quantidade ajustada a cada 12 dias, após a realização de biometrias.

Tabela 3. Protocolo alimentar dos peixes

Frequência alimentar	Taxa de arraçoamento	Horário da alimentação, h
2	Saciedade aparente	10:00, 17:30
2	Restrito	10:00, 17:30
4	Saciedade aparente	10:00, 12:30, 15:00, 17:30
4	Restrito	10:00, 12:30, 15:00, 17:30
6	Saciedade aparente	10:00, 11:30, 13:00, 14:30, 16:00, 17:30
6	Restrito	10:00, 11:30, 13:00, 14:30, 16:00, 17:30

2.2.3 Peixes e condições experimentais

O experimento foi realizado nas dependências do Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD - UFSC). Juvenis de tilápia-do-nilo da linhagem *Genetic Improvement of Farmed Tilapia* (GIFT) foram obtidos de uma piscicultura local (Piscicultura Pomerode, Pomerode, Brasil), após masculinização com 17-alpha-metiltestosterona. O manejo dos animais foi aprovado pelo comitê de ética no uso de animais da Universidade Federal de Santa Catarina (CEUA, UFSC), através do protocolo 9377080618.

Os peixes foram aclimatados às condições experimentais por 14 dias. Neste período, os peixes foram alimentados duas vezes ao dia (10:00 e 17:30 h) até a saciedade aparente. Durante os sete primeiros dias, os peixes foram alocados em três tanques de 1.000 L e, após o sétimo dia, os peixes foram transferidos para as unidades experimentais. Cada unidade experimental consistia em um tanque de 100 L, o qual estava conectado ao mesmo sistema de recirculação de água dos tanques de 1.000 L. Este sistema incluía filtro mecânico, biológico, além de um sistema ultravioleta, utilizado para combater micro-organismos indesejados. Grupos de 26 juvenis de tilápia-do-nilo ($6,57 \pm 0,10$ g) foram estocados em cada unidade experimental. O fotoperíodo foi ajustado para 12 h.

2.2.4 Biometria e coleta de amostras

No início e no fim do período experimental, que durou 51 dias, os peixes foram pesados (0,001 g) e medidos individualmente. O peso dos peixes também foi registrado a cada 12 dias para monitorar o crescimento e ajustar a quantidade de ração a ser fornecida no tratamento restrito. Antes das biometrias, os peixes eram mantidos em jejum por 24 h e anestesiados com uma dose de 100 mg L⁻¹ de Eugenol[®] (Biodinâmica Química e Farmacêutica Ltda., Ibioporã, Brasil). As seguintes variáveis foram calculadas com os dados de consumo de alimento e com os dados obtidos nas biometrias:

Ganho em peso: GP (g) = (peso final – peso inicial)

Ganho em peso diário: GPD (g dia⁻¹) = (ganho em peso × dias de experimento⁻¹)

Taxa de crescimento específico: TCE (% dia⁻¹) = [\ln peso final – \ln peso inicial] × dias⁻¹] × 100

Eficiência alimentar: EA = [ganho em peso] × [consumo total de ração]⁻¹

Taxa de retenção proteica: TRP (%) =

[peso final × composição corporal proteica final] – [peso inicial × composição corporal proteica inicial] × [proteína consumida]⁻¹

Taxa de retenção lipídica: TRL (%) =

[peso final × composição lipídica corporal final] – [peso inicial × composição lipídica corporal inicial] × [consumo de lipídio]⁻¹

O consumo alimentar foi cuidadosamente registrado diariamente, em cada unidade experimental, pesando-se o recipiente que continha a ração antes de cada alimentação e após a última alimentação.

Para a determinação da composição proximal corporal, três grupos de 20 peixes foram amostrados no início do experimento. Para o mesmo propósito, três peixes por unidade experimental foram coletados no fim do experimento. Antes destas amostragens, os animais foram mantidos em jejum por 24 h e eutanasiados com uma superdose (200 mg L⁻¹) do anestésico Eugenol[®] seguido por secção na espinha dorsal. As amostras coletadas foram secas, homogeneizadas e armazenadas a –20 °C até a realização das análises.

Amostras de sangue de três peixes por unidade experimental foram coletadas através de uma punção realizada na veia caudal para a determinação dos metabólitos plasmáticos. Para este procedimento os peixes foram previamente anestesiados com 100 mg L⁻¹ de Eugenol[®].

2.2.5 Análise centesimal

As análises de composição centesimal da dieta e do corpo inteiro dos peixes foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI, UFSC) e seguiram procedimentos padronizados pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1999): umidade (secagem a 105 °C até peso constante, método 950.01), proteína bruta (Kjeldahl, método 945.01), gordura total (Soxhlet, método 920.39C) e cinzas (incineração a 550 °C, método 942.05). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica (PARR, model ASSY 6200), seguindo instruções do fabricante do equipamento. Três amostras de 100 g de ração experimental também foram analisadas seguindo os procedimentos supracitados.

2.2.6 Metabólitos plasmáticos

Ao final do ensaio de crescimento, imediatamente após a coleta de sangue, uma alíquota de sangue foi colocada em uma tira específica para a leitura da glicose, usando-se um glicosímetro digital (One Touch[®] Ultra[®], Johnson & Johnson Medical, São Paulo, Brasil). O plasma foi obtido através da centrifugação do sangue em 2000 g por 15 min, sendo armazenado a – 20°C para posterior determinação dos metabólitos plasmáticos. A determinação de proteínas totais (PT), triglicerídeos (TG) e colesterol (CHL) foram realizadas através do uso de *kits* enzimáticos colorimétricos (Labtest Diagnóstica SA, Lagoa Santa, Brasil: Colesterol Ref. 76; Triglicerídeos Ref. 87; Proteínas totais Ref. 99).

2.2.7 Variáveis indicadoras de qualidade de água

Com exceção de temperatura, oxigênio dissolvido e pH, que foram monitorados diariamente, as variáveis indicadoras de qualidade de água foram aferidas semanalmente. Os valores médios (\pm desvio padrão) foram: temperatura $27,54 \pm 0,86^{\circ}\text{C}$, oxigênio dissolvido $5,05 \pm 0,77 \text{ mg L}^{-1}$, pH $6,98 \pm 0,36$, salinidade $1,48 \pm 0,22 \text{ g L}^{-1}$; alcalinidade $58,92 \pm 8,03 \text{ CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$; amônia total $0,55 \pm 0,10 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ nitrito. Todas as variáveis citadas permaneceram dentro da zona de conforto para a tilápia-do-nylo (POPMA; LOVSHIN, 1995). A renovação de água nas unidades experimental foi de 25 mL s^{-1} .

2.2.8 Análise estatística

Todos os dados foram primeiramente analisados quanto à normalidade (teste Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste de Levene), para então serem submetidos à ANOVA bifatorial, para avaliar uma possível interação entre frequência alimentar e taxa de arraçoamento. O teste de Tukey foi utilizado somente quando diferenças significativas foram encontradas. O nível de significância adotado foi de 5% em todos os testes.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Desempenho zootécnico e retenção de nutrientes

Não foram registradas mortalidades ao longo do período experimental, sendo a média final de sobrevivência superior a 99%. Não houve interação entre os fatores para os parâmetros de desempenho zootécnico e retenção de nutrientes, apenas a taxa de arraçoamento promoveu diferença entre os parâmetros de desempenho zootécnico e retenção de nutrientes: O ganho em peso foi 56% maior nos peixes alimentados até a saciedade aparente quando comparado àquele atingido pelos peixes submetidos ao regime restrito. A eficiência alimentar foi maior nos peixes alimentados no regime restrito. A retenção proteica foi maior nos peixes alimentados no regime restrito quando comparado aos peixes alimentados até a saciedade aparente (Tabela 4).

No que diz respeito ao consumo alimentar, os resultados indicam que não houve diferença no consumo de ração, peso final e eficiência alimentar entre os peixes alimentados até a saciedade aparente, independente se estes foram alimentados 2, 4 ou 6 vezes ao dia. Também não houve diferença no peso final entre os peixes alimentados no regime restrito, independente da frequência alimentar (Tabela 4).

Tabela 4. Variáveis de desempenho de juvenis de tilapia-do-nilo submetidos a diferentes manejos alimentares, quando criados por 51 dias a 28°C.

Taxa de arraçamento	Frequência alimentar	Peso final ¹	Ganho em peso diário	Taxa de crescimento específico	Eficiência alimentar	Retenção proteica	Retenção lipídica	Consumo de ração
		g	g d ⁻¹	%	%	%	g peixe ⁻¹	
Restrito	2	50,22	0,86	4,01	0,97	48,87	103,26	44,77
	4	51,50	0,88	4,04	1,00	49,70	100,36	44,77
	6	51,90	0,89	4,05	1,00	48,93	103,58	44,77
	<i>Média</i>	51,21^b	0,88^b	4,03^b	0,99^a	49,17^a	102,40^b	44,77^b
Saciedade aparente	2	75,19	1,34	4,76	0,89	42,90	122,62	76,03
	4	77,30	1,39	4,83	0,85	42,26	123,48	79,43
	6	76,52	1,37	4,83	0,88	42,38	131,34	78,43
	<i>Média</i>	76,34^a	1,37^a	4,81^a	0,87^b	42,51^b	125,81^a	77,96^a
Pooled SEM²		3,16	0,06	0,09	0,04	1,89	8,42	0,71
Valor de P – ANOVA bi fatorial³								
Taxa de arraçamento		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Frequência alimentar		0,44	0,43	0,28	0,71	0,91	0,26	0,67
Taxa de arraçamento x frequência alimentar		0,88	0,88	0,88	0,13	0,64	0,49	0,73

¹ Peso médio inicial: 6,57 g ± 0,1 (média ± desvio padrão).

² Erro padrão das médias.

³ Valores seguidos por letras minúsculas (a ou b) na mesma coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre as taxas de arraçamento.

2.3.2 Composição corporal

No presente estudo, foi encontrada interação entre frequência alimentar e taxa de arraçamento para a matéria seca e para a composição corporal proteica, sendo que esta variável foi maior nos peixes alimentados 2 e 4 vezes ao dia no regime restrito, quando comparada àquela dos peixes alimentados 2 vezes ao dia até a saciedade aparente (Tabela 5), ainda que esta diferença represente apenas 4% de variação entre estes tratamentos. Entretanto, ressalta-se que não foi detectada interação entre frequência alimentar e taxa de alimentação em relação à retenção proteica.

Os peixes alimentados até a saciedade aparentem apresentaram um maior acúmulo de gordura corporal quando comparados aos peixes alimentados no regime restrito. Uma tendência inversa foi encontrada para a composição corporal de cinzas.

Tabela 5. Composição corporal (g kg⁻¹ peso úmido) de juvenis de tilápia-do-nilo submetidos a diferentes estratégias alimentares, quando criados por 51 dias a 28°C.

Taxa de arraçoamento	Frequência alimentar	Umidade	Proteína bruta	Extrato etéreo	Cinzas
				%	
Restrito	2	72,77 ^{xy}	17,13 ^x	6,74	3,70
	4	72,82 ^{xy}	17,13 ^x	6,52	3,72
	6	73,25 ^x	16,81 ^{xy}	6,67	3,55
	Média	72,94	17,02	6,64^a	3,66^b
Saciedade aparente	2	72,21 ^{zy}	16,48 ^y	8,58	3,20
	4	71,31 ^z	16,80 ^{xy}	8,86	3,39
	6	71,23 ^z	16,89 ^{xy}	9,31	3,37
	Média	71,58	16,72	8,92^b	3,32^a
Pooled SEM¹		0,55	0,31	0,51	0,23
ANOVA bi fatorial² - Valor de P					
Taxa de arraçoamento		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Frequência alimentar		0,19	0,43	0,30	0,47
Taxa de arraçoamento x frequência alimentar		0,01	0,04	0,24	0,25

¹ Erro padrão das médias.

² Valores seguidos por letras minúsculas (a ou b) na mesma coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre as taxas de arraçoamento. Valores seguidos por letras distintas como (x ou y) representam diferenças significativas que ocorreram na interação entre os fatores.

2.3.3 Metabólitos plasmáticos

Os resultados referentes aos metabólitos plasmáticos estão apresentados na Tabela 6. Não houve interação entre frequência alimentar e taxa de arraçoamento para os metabólitos plasmáticos. Triglicerídeos e glicose foram afetados pela taxa de alimentação: os peixes alimentados até a saciedade aparente apresentaram os maiores valores para estas variáveis quando comparados àqueles submetidos ao regime alimentar restrito.

Os metabólitos colesterol e proteínas totais não foram afetados pelas diferentes estratégias alimentares testadas, estando, ambos os valores, dentro da faixa de normalidade para o gênero *Oreochromis* (HRUBEC et al., 2000).

Tabela 6. Metabólitos plasmáticos em juvenis de tilapia-do-nilo submetidos a diferentes estratégias alimentares, quando criados por 51 dias a 28 °C.

Taxa de alimentação	Frequência alimentar	Proteínas totais	Glicose	Colesterol	Triglicerídeos
		g L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹	mmol L ⁻¹
Restrito	2	3,03	54,83	106,86	90,95
	4	3,46	54,42	110,46	71,55
	6	3,34	58,22	95,56	66,86
	Média	3,28	55,82^a	104,29	76,45^a
Saciedade aparente	2	3,38	60,56	113,94	101,32
	4	3,55	61,33	113,75	98,68
	6	3,48	62,94	114,88	111,86
	Média	3,47	61,61^b	114,19	103,95^b
Pooled SEM¹		0,47	7,12	25,49	19,47
ANOVA² bi fatorial - Valor de P					
Taxa de arraçoamento		0,21	0,04	0,26	<0,01
Frequência alimentar		0,30	0,64	0,79	0,44
Taxa de arraçoamento x Frequência alimentar		0,77	0,55	0,73	0,14

¹ Erro padrão das médias.

² Valores seguidos por letras minúsculas (a ou b) na mesma coluna indicam diferença significativa (P<0,05) entre as taxas de arraçoamento.

2.4 DISCUSSÃO

Os resultados de ganho em peso eram esperados, pois taxas de alimentação mais altas promovem maior ingestão de nutrientes, o que tende a aumentar o crescimento dos animais. Os peixes alimentados até a saciedade aparente apresentaram peso final médio de 76,34 g, o que representa um aumento de peso de 50% quando comparado àqueles alimentados no regime restrito, que atingiram 51,21 g de peso final médio. Estes resultados estão de acordo com aqueles relatados para a espécie herbívora carpa capim, *Ctenopharyngodon idellus* (LI et al., 2018), para o onívoro bagre-do-canal, *Ictalurus punctatus* (XU et al., 2017), bem como para as espécies carnívoras de linguado *Paralichthys olivaceus* (CHO et al., 2006) e *Scophthalmus maximus* (VAN HAM et al., 2003), além da truta, *Salmo trutta* (ARZEL et al., 1998).

A taxa de crescimento específico foi 20% maior nos peixes alimentados até a saciedade aparente do que naqueles submetidos ao regime restrito. Este resultado foi 10% superior àquele relatado em outro estudo (FERNANDES et al., 2018), conduzido pelo nosso grupo de estudos, com tilápia-do-nilo, em condições experimentais similares (dieta, peso inicial dos peixes,

duração do período experimental), onde os peixes foram alimentados duas vezes ao dia até a saciedade aparente. Adicionalmente, diversas espécies de peixes, independente do hábito alimentar, alcançaram taxas de crescimento específico maiores quando alimentadas até a saciedade aparente: os onívoros tambaquis *Colossoma macropomum* (SILVA; BRANDÃO; GOMES, 2007) e bagre-do-canal (ROBINSON; LI, 1999); além dos carnívoros bijupirá, *Rachycentron canadum* (SUN et al., 2006), robalo europeu *Dicentrarchus labrax* (EROLDOGAN et al., 2004) e o bagre *Mystus nemurus* (NG et al., 2000).

Por outro lado, os peixes alimentados até a saciedade aparente apresentaram menor eficiência alimentar, sendo 14% maior nos peixes alimentados no regime restrito. Uma possível explicação para este fato é que os peixes tendem a otimizar os processos de digestão quando são alimentados em regime de restrição alimentar, extraíndo nutrientes da dieta de uma forma mais eficiente (EROLDOGAN et al., 2004), o que resulta em uma melhor eficiência alimentar (VAN HAM et al., 2003).

Ainda, a eficiência alimentar está diretamente relacionada a manejo alimentar, pois o retorno do apetite está diretamente relacionado ao tempo de esvaziamento gástrico (LEE; CHO; KIM, 2000). O tempo de evacuação gástrica é um dos principais mecanismos que afeta a frequência alimentar em peixes (SILVA; BRANDÃO; GOMES, 2007; RICHE et al., 2004; VAN DER MEER et al., 1997). Em estudo com tilápia-do-nilo alimentada até a saciedade aparente, foi relatado que os peixes alimentados três e cinco vezes ao dia consumiram a mesma quantidade de ração, porém aqueles alimentados três vezes ao dia apresentaram melhores resultados de desempenho e eficiência alimentar (RICHE, 2000).

O retorno do apetite ocorreu 4 h após a alimentação em tilápia-do-nilo com peso médio de 183 g, quando alimentadas até a saciedade aparente com uma dieta peletizada, a 28°C; sendo que os peixes alimentados em intervalos menores, apresentaram sobrecarga intestinal, reduzindo assim a eficiência alimentar (RICHE et al., 2004). Ainda que os intervalos entre as alimentações no presente estudo variaram entre 1:30 h, 2:30 h e 7:30 h, não houve diferença no ganho em peso e eficiência alimentar. Uma possível explicação para isto é que, neste estudo, utilizou-se dieta extrusada, que normalmente possui maior digestibilidade para os peixes (GLENCROSS et al., 2012). Portanto, os peixes podem ter absorvidos os nutrientes da dieta mais rapidamente do que aqueles alimentados com dieta peletizada (RICHE et al., 2004), reduzindo assim o tempo necessário para o retorno do apetite. Além disso, talvez a diferença no peso médio dos peixes também possa afetar no retorno ao apetite. No presente estudo, o peso médio final foi de 70 g, enquanto que no estudo realizado por Riche e colaboradores (2004) os peixes pesavam cerca de 183 g no início do experimento.

Além do tamanho dos animais e forma de processamento da dieta, outra possível explicação para a inexistência de diferença no consumo alimentar entre os peixes submetidos à saciedade aparente, independente da frequência alimentar utilizada, pode ser atribuída ao equilíbrio entre o tempo de retenção do alimento no intestino e a energia gasta no processo de alimentação. Se o intervalo entre as alimentações é curto, o alimento passa mais rapidamente pelo trato digestório, reduzindo a absorção de nutrientes, como relatado para os carnívoros, que possuem intestino curto: o híbrido *Morone saxatilis* × *Morone chrysops* (LIU; LIAO, 1999) e o robalo europeu *Lates calcarifer* (BISWAS et al., 2010). De qualquer forma, isto não foi observado no presente estudo, uma vez que não houve diferença na eficiência alimentar entre os peixes alimentados 2, 4 ou 6 vezes ao dia. Considerando-se que a tilápia-do-nylo tem um longo intestino, com um coeficiente intestinal (relação do comprimento do intestino/comprimento corporal) de 6,14 (RODRIGUES et al., 2012), esta espécie pode ser capaz de aproveitar os nutrientes de uma forma eficiente, mesmo quando alimentada 6 vezes ao dia.

A composição corporal é utilizada como indicador de qualidade do pescado, sendo afetada por diversos fatores, incluindo a frequência alimentar e a taxa de alimentação (AHMED, 2007; KHAN et al., 2004). A composição proteica corporal geralmente não é influenciada pela taxa de alimentação, uma vez que os peixes, quando alimentados com quantidade suficiente de proteína para a manutenção, seguem depositando proteína corporal, enquanto utilizam lipídios como fonte energética (NRC, 2011).

Os peixes alimentados até a saciedade aparentem apresentaram 34% mais gordura corporal do que aqueles alimentados no regime restrito. Por outro lado, os peixes submetidos à saciedade aparente apresentaram menores índices de cinzas no corpo. Destaca-se que, ao aumentar a taxa de alimentação, geralmente observa-se um aumento na deposição de gordura e redução na umidade corporal (EROLDOGAN et al., 2004; ABDELGHANY et al., 2002; MIHELAKAKI et al., 2002; NG et al., 2000; SHIMENO et al., 1997). O excesso de ração consumida pelos peixes alimentados até a saciedade aparente (Figura 1), geralmente culminam num maior acúmulo de energia, levando ao aumento na composição lipídica corporal (MCCUE, 2010). Entretanto, apenas um estudo relatou a redução na quantidade de cinzas corporal aliada ao aumento da gordura corporal (VAN HAM et al., 2003), assim como encontrado no presente estudo. Por outro lado, a umidade foi maior nos peixes alimentados 6 vezes ao dia, no regime restrito, quando comparada àquela nos peixes alimentados até a saciedade aparente, independente da frequência alimentar utilizada.

Além disso, os peixes alimentados até a saciedade aparente apresentaram maior acúmulo em proteína corporal quando comparados àqueles alimentados no regime restrito, uma vez que acumularam 11,8 g em proteína corporal, enquanto que os peixes submetidos ao regime restrito, acumularam 7,75 g. No entanto, os peixes alimentados até a saciedade aparente apresentaram maior porcentagem de lipídio corporal (6,4 g *versus* 3,0 g). Peixes alimentados até a saciedade aparente acumularam, em média, 34% a mais proteína, mas também acumularam 62% mais gordura que aqueles sob o regime de alimentação restrita.

Juvenis de tilápia-do-nilo alimentadas no regime restrito apresentaram maior retenção proteica, mas pior retenção lipídica quando comparados aos peixes alimentados até a saciedade aparente (Tabela 3). Quando alimentados com altas taxas de alimentação, como na saciedade aparente, os peixes tendem a reduzir a retenção proteica (XU et al., 2017). Nestes casos, o excesso de proteína ingerido é catabolizado, sendo: 1) utilizado como energia metabólica, aumentando a retenção lipídica (LI et al., 2018) e levando a um maior acúmulo de gordura corporal (DENG et al., 2003) ou 2) excretado como amônia na água (WEBB; GATLIN, 2003; STEFFENS, 1989). Resultados similares, menor retenção proteica e maior retenção lipídica, foram relatados para juvenis de bagre-do-canal alimentados até a saciedade aparente (XU et al., 2017) e para larvas de esturjão branco, *Acipenser transmontanus* também alimentados até a saciedade aparente (DENG et al., 2003), resultados semelhantes também foram encontrados para tambaqui, onde os peixes que eram alimentados em taxas de alimentação inferiores, apresentaram melhor aproveitamento de nutrientes (SILVA; BRANDÃO; GOMES, 2007). A redução na retenção proteica pode ser justificada pela maior demanda energética para que seja possível assimilar uma maior quantidade de proteína ingerida (MEYER-BURGDORFF et al., 1989).

No que diz respeito aos índices séricos, tanto a glicose como os triglicerídeos plasmáticos refletem o metabolismo lipídico em peixes (XU et al., 2017): o aumento na circulação de triglicerídeos e glicose no plasma podem ser um indicativo tanto do aumento na deposição lipídica corporal, como também da diminuição do catabolismo lipídico (MCCUE, 2010). Para corroborar com esta hipótese, os peixes alimentados até a saciedade aparentem apresentaram maiores valores de glicose sanguínea, triglicerídeos, além de maior deposição de gordura corporal e retenção lipídica. Resultados similares foram relatados para a também onívora carpa comum, *Cyprinus carpio*, onde a lipogênese foi reduzida e os ácidos graxos presentes no hepatopâncreas foram mobilizados para fornecer energia para a manutenção, quando os peixes foram alimentados em regime de restrição alimentar (SHIMENO et al., 1997). Além disso, para bagre-do-canal, foram registrados uma maior quantidade de glicose, triglicerídeos e

retenção lipídica nos peixes alimentados até a saciedade aparente, onde uma quantidade maior de proteína poderia ser utilizada como energia no metabolismo, sendo assim convertida em acúmulo lipídico, reduzindo a retenção proteica (XU et al., 2017).

2.5 CONCLUSÃO

Apesar do maior ganho em peso, a eficiência alimentar diminuiu quando juvenis de tilápia-do-nylo foram alimentados até a saciedade aparente, ainda, os peixes submetidos a este regime acumularam uma maior quantidade de gordura corporal do que os peixes alimentados no regime alimentar restrito. Os peixes cresceram mais quando alimentados até a saciedade aparente. Entretanto, peixes alimentados até a saciedade aparente ganharam, em média, 34% a mais proteína, mas também ganharam 62% mais gordura que aqueles sob o regime de alimentação restrita. Não foram encontradas interações significativas entre a frequência alimentar e o regime alimentar (saciedade *versus* restrito). Desta forma, conclui-se que quando alimentados até a saciedade aparente os peixes utilizam a proteína da ração de uma maneira menos eficiente, refletindo na menor retenção proteica, sendo o excesso de proteína catabolizado para a produção de energia. Esta energia seria então armazenada como gordura, evidenciada no maior acúmulo de gordura nos peixes alimentados até a saciedade aparente, como reforçado pelos resultados das análises dos metabólitos plasmáticos. Provavelmente os peixes submetidos ao regime alimentar restrito otimizaram o processo de digestão, aproveitando os nutrientes de uma forma mais eficiente.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Evonik *Nutrition & Care GmbH* (Hanau-Wolfgang, Alemanha), através de parceria de pesquisa firmada entre empresa e o Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

À Nicoluzzi Rações Ltda (Penha, Santa Catarina, Brasil) e Kabsa S.A. (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) pela doação de ingredientes para a elaboração da dieta experimental. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, código de financiamento 001) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas ao primeiro e ao último autor, respectivamente.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil - (CAPES) - Código de Financiamento 001.

2.6 REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 17th ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1999.

BDELGHANY, A. E.; AYYAT, M.; AHMAD, M. H. Appropriate Timing of Supplemental Feeding for Production of Nile Tilapia, Silver Carp, and Common Carp in Fertilized Polyculture Ponds. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 33, n. 3, p.307-315, set. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00507.x>.

AHMED, I. Effect of ration size on growth, body composition, and energy and protein maintenance requirement of fingerling Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). **Fish Physiology And Biochemistry**, [s.l.], v. 33, n. 3, p.203-212, 3 abr. 2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10695-007-9132-y>.

ARZEL, J. et al. Relationship between ration size and dietary protein level varying at the expense of carbohydrate and lipid in triploid brown trout fry, *Salmo trutta*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 162, n. 3-4, p.259-268, mar. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00164-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00164-1).

BALOI, M. F. et al. Growth performance, body composition and metabolic response to feeding rates in juvenile Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 23, n. 6, p.1458-1466, 22 fev. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/anu.12521>.

BISWAS, G. et al. Effect of feeding frequency on growth, survival and feed utilization in mrigal, *Cirrhinus mrigala*, and rohu, *Labeo rohita*, during nursery rearing. **Aquaculture**, [s.l.], v. 254, n. 1-4, p.211-218, abr. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.001>.

BISWAS, G. et al. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackishwater environment. **Aquaculture**, [s.l.], v. 305, n. 1-4, p.26-31, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.002>.

BOONANUNTANASARN, S. et al. Molecular responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates. **Aquaculture**, [s.l.], v. 482, p.117-123, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.032>.

CHO, S. H. et al. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. **Aquaculture**, [s.l.], v. 251, n. 1, p.78-84, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.041>.

CONGLETON, J. L.; WAGNER, T. Blood-chemistry indicators of nutritional status in juvenile salmonids. **Journal Of Fish Biology**, [s.l.], v. 69, n. 2, p.473-490, ago. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01114.x>.

CRAIG, S. et al. **Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding (Publication 420-256)**. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech and Virginia State University, 2017. <https://fisheries.tamu.edu/files/2019/01/FST-269.pdf>

DAUDPOTA, A. M. et al. Effect of Feeding Frequency on Growth Performance, Feed Utilization and Body Composition of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) Reared in Low Salinity Water. **Pakistan Journal of Zoology**, Pakistan, v. 1, n. 48, p.171-177, maio 2016.

DENG, D. et al. Effects of feeding rate on growth performance of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) larvae. **Aquaculture**, [s.l.], v. 217, n. 1-4, p.589-598, mar. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00461-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00461-1).

DU, Z. et al. The influence of feeding rate on growth, feed efficiency and body composition of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Aquaculture International**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.247-257, 10 dez. 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-005-9029-7>.

DWYER, K. S. et al. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 213, n. 1-4, p.279-292, out. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00224-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00224-7).

EROLDOGAN, O. T.; KUMLU, M; AKTAS, M. Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. **Aquaculture**, [s.l.], v. 231, n. 1-4, p.501-515, mar. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.020>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The state of food and agriculture**. Rome, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Fishery and aquaculture statistics**. Rome, 2019.

FERNANDES, V. A. G. et al. *Aurantiochytrium* sp. meal as DHA source in Nile tilapia diet, part I: Growth performance and body composition. **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 50, n. 2, p.390-399, 28 nov. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/are.13887>.

FURUYA, W. M. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010.

GARCIA, J. A.; VILLARROEL, M. Effect of feed type and feeding frequency on macrophage functions in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.325-329, ago. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2009.05.018>.

GLENCROSS, B. et al. An assessment of cereal grains and other starch sources in diets for barramundi (*Lates calcarifer*) - implications for nutritional and functional qualities of extruded

feeds. **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 18, n. 4, p.388-399, 4 ago. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00903.x>.

HE, J. Y. et al. Methionine and lysine requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of two sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.629-640, 17 jan. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/anu.12012>.

HUANG, Q. et al. Feeding Frequency and Rate Effects on Growth and Physiology of Juvenile Genetically Improved Farmed Nile Tilapia. **North American Journal Of Aquaculture**, [s.l.], v. 77, n. 4, p.503-512, 16 set. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1080/15222055.2015.1066472>.

HUEBNER, J. D.; LANGTON, R. W. Rate of Gastric Evacuation for Winter Flounder, *Pseudopleuronectes americanus*. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.356-360, fev. 1982. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/f82-049>.

HRUBEC, T. C.; CARDINALE, J. L.; SMITH, S. A. Hematology and Plasma Chemistry Reference Intervals for Cultured Tilapia (*Oreochromis* Hybrid). **Veterinary Clinical Pathology**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.7-12, mar. 2000. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1939-165x.2000.tb00389.x>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019.

JOHANSEN, S.j.s.; JOBLING, Malcolm. The influence of feeding regime on growth and slaughter traits of cage-reared Atlantic salmon. **Aquaculture International**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-17, 1998. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1009250118318>.

KHAN, M. Afzal; JAFRI, A. K.; CHADHA, N. K. Growth and body composition of rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), fed compound diet: winter feeding and rearing to marketable size. **Journal Of Applied Ichthyology**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.265-270, ago. 2004. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2004.00550.x>.

LEE, S.; HWANG, U.; CHO, S. H. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 187, n. 3-4, p.399-409, jul. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(00\)00318-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(00)00318-5).

LI, X. et al. Grass carp fed a fishmeal-free extruded diet showed higher weight gain and nutrient utilization than those fed a pelleted diet at various feeding rates. **Aquaculture**, [s.l.], v. 493, p.283-288, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.04.058>.

LIU, F.; LIAO, I. C. Effect of Feeding Regimen on the Food Consumption, Growth, and Body Composition in Hybrid Striped Bass *Morone saxatilis*×*M. chrysops*. **Fisheries Science**, [s.l.], v. 65, n. 4, p.513-519, 1999. Japanese Society of Fisheries Science. <http://dx.doi.org/10.2331/fishsci.65.513>.

MCCUE, M. D. Starvation physiology: Reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. **Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, [s.l.], v. 156, n. 1, p.1-18, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.002>.

MEYER-BURGDORFF, K. H.; OSMAN, M. F.; GÜNTHER, K. D. Energy metabolism in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 79, n. 1-4, p.283-291, jul. 1989. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90469-9](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(89)90469-9).

MICHELATO, M. et al. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, [s.l.], v. 457, p.124-130, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>.

MIHELAKAKIS, A.; TSOLKAS, C.; YOSHIMATSU, T. Optimization of Feeding Rate for Hatchery-Produced Juvenile Gilthead Sea Bream *Sparus aurata*. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 33, n. 2, p.169-175, jun. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00491.x>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington: National Research Council, 2011.

NG, W. et al. Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. **Aquaculture International**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.19-29, 2000. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1009216831360>.

OLIVEIRA FILHO, P. R. C. et al. Quality of sausage elaborated using minced Nile Tilapia submitted to cold storage. **Scientia Agricola**, [s.l.], v. 67, n. 2, p.183-190, abr. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162010000200009>.

PERES, H.; SANTOS, S.; OLIVA-TELES, A. Selected plasma biochemistry parameters in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. **Journal Of Applied Ichthyology**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.630-636, 13 set. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.02049.x>.

POPMA, T. J.; LOVSHIN, L. L. **Worldwide prospects of commercial production of tilapia**. Auburn: Auburn University, 1995.

RICHE, M. **Effect of Phytic Acid on Nitrogen Retention in Tilapia (*Oreochromis niloticus*)**, 2000. Dissertação, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA, p. 166.

RICHE, M. et al. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, [s.l.], v. 234, n. 1-4, p.657-673, maio 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.012>.

RODRIGUES, A. P. O. et al. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.65-72, 29 jun. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x>.

ROBINSON, E. H.; LI, M. H. Effect of Dietary Protein Concentration and Feeding Rate on Weight Gain, Feed Efficiency, and Body Composition of Pond-Raised Channel Catfish *Ictalurus punctatus*. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 30, n. 3, p.311-318, set. 1999. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.1999.tb00681.x>.

SANTOS, M. M. et al. Level and frequency of the feeding in the Nile tilapia fingerling development. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 2, n. 41, p.387-395, abr. 2015.

SCORVO FILHO, J. D. et al. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 39, n. , p.112-118, jul. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982010001300013>.

SHIMENO, S. et al. Metabolic response to feeding rates in common carp, *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 151, n. 1-4, p.371-377, maio 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(96\)01492-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(96)01492-5).

SILVA, C. R.; GOMES, L. C.; BRANDÃO, F. R. Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. **Aquaculture**, [s.l.], v. 264, n. 1-4, p.135-139, abr. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.007>.

SILVA, E. T. L. da et al. Larvas de linhagens de tilápia do Nilo submetidas à frequências alimentares sob baixa temperatura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.193-203, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-99402017000100018>.

STEFFENS, W. **Principles of Fish Nutrition**. England: Ellis Harwood, 1989.

SUN, L.; CHEN, H.; HUANG, L. Effect of temperature on growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 261, n. 3, p.872-878, dez. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.028>.

TACON, A. G. J.; METIAN, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. **Aquaculture**, [s.l.], v. 285, n. 1-4, p.146-158, dez. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>.

TIAN, H. et al. Optimum feeding frequency of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 437, p.60-66, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.032>.

THONGPRAJUKAEW, K. et al. Effects of feeding frequency on growth performance and digestive enzyme activity of sex-reversed Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). **Agriculture And Natural Resources**, [s.l.], v. 51, n. 4, p.292-298, ago. 2017. Kasetsart University and Development Institute. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2017.04.005>.

TSEVIS, N.; KLAUDATOS, S.; CONIDES, A. Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency

patterns. **Aquaculture**, [s.l.], v. 101, n. 3-4, p.293-304, fev. 1992. Elsevier BV.
[http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90032-g](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(92)90032-g).

TUNG, P.; SHIAU, S. Effects of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, fed different carbohydrate diets. **Aquaculture**, [s.l.], v. 92, p.343-350, jan. 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90039-a](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(91)90039-a)

VAN DER MEER, M. B.; VAN HERWAARDEN, H.; VERDEGEM, M. C. J. Effect of number of meals and frequency of feeding on voluntary feed intake of *Colossoma macropomum* (Cuvier). **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 28, n. 6, p.419-432, jun. 1997. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.1997.00874.x>.

VAN HAM, E. H. et al. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 217, n. 1-4, p.547-558, mar. 2003. Elsevier BV.
[http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00411-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00411-8)

XIE, F. et al. The optimal feeding frequency of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson) larvae. **Aquaculture**, [s.l.], v. 311, n. 1-4, p.162-167, fev. 2011. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.005>.

XU, H. et al. Effects of different feeding rates of extruded and pelleted feeds on growth and nutrient retention in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture International**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.1361-1372, 30 jan. 2017. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10499-017-0119-0>.

WANG, Y. et al. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens. **Aquaculture**, [s.l.], v. 271, n. 1-4, p.350-356, out. 2007. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.022>.

YUAN, J. et al. Analysis of the growth performances, muscle quality, blood biochemistry and antioxidant status of *Micropterus salmoides* farmed in in-pond raceway systems versus usual-pond systems. **Aquaculture**, [s.l.], v. 511, p. 234-254, set. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734241>

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os principais resultados encontrados nesta pesquisa, destacamos a ausência de diferença significativa entre alimentar juvenis de tilápia-do-nilo duas, quatro ou seis vezes ao dia, fato este que quando aplicado em uma piscicultura, pode reduzir os custos de produção sem que os resultados de desempenho sejam prejudicados, já que alimentando-se os peixes somente duas vezes ao dia os custos laborais serão menores do que se os mesmos fossem alimentados seis vezes ao dia.

Além disso, reforçamos que os resultados indicam que alimentar os animais em regime de restrição alimentar é mais interessante do que até a saciedade aparente, já que o crescimento dos animais alimentados até a saciedade aparente ocorreu, principalmente, em gordura corporal. Este maior acúmulo de gordura ocorreu devido ao consumo alimentar excessivo dos peixes submetidos ao regime de saciedade aparente. Este resultado foi comprovado também pelos níveis de metabólitos plasmáticos, que podem então ser vistos como uma interessante ferramenta para adequar o manejo alimentar de peixes, pois refletem o uso dos nutrientes presentes na dieta.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomendamos a avaliação de regimes de restrição alimentar que sejam equivalentes a valores entre 90 e 95% do consumo dos peixes alimentados até a saciedade aparente, para confirmar a hipótese de melhor aproveitamento de nutrientes pelos peixes, sem que ocorra a redução do desempenho zootécnico.

Esta dissertação constitui parte de um projeto firmado entre a empresa *Evonik Nutrition & Care GmbH* (Hanau-Wolfgang, Alemanha) e a Universidade Federal de Santa Catarina, sob coordenação da professora Débora Machado Fracalossi, que objetiva estudar a nutrição de aminoácidos para a tilápia-do-nilo. Como continuação a este estudo, após o ensaio de crescimento, amostras de intestino e estômago também foram coletadas para a realização de análises de enzimas digestivas, bem como amostras de fezes, que foram coletadas para verificar uma possível interação entre frequência alimentar e taxa de arraçoamento sobre a digestibilidade de aminoácidos e o perfil de enzimas digestivas de tilápias-do-nilo.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- ABDEL-GHANY, H. M. et al. Dietary lipid sources affect cold tolerance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal Of Thermal Biology**, [s.l.], v. 79, p.50-55, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.009>.
- AHMED, I. Effect of ration size on growth, body composition, and energy and protein maintenance requirement of fingerling Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). **Fish Physiology And Biochemistry**, [s.l.], v. 33, n. 3, p.203-212, 3 abr. 2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10695-007-9132-y>.
- AL-KHAFAJI, F. M. et al. Effects of Feeding Frequencies on the Growth, Plasma Biochemistry, and Liver Glycogen of Jade Perch *Scortum barcoo* in a Recirculating System. **North American Journal Of Aquaculture**, [s.l.], v. 79, n. 3, p.216-223, maio 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1080/15222055.2017.1301604>.
- AZIM, M e et al. Ingestion and utilization of periphyton grown on artificial substrates by Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.85-92, jan. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00802.x>.
- BALARIN, J. D.; HATTON, J. P. **Tilapia: A guide to their biology and culture in Africa**. Stirling: University of Stirling, 1979.
- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2009.
- BALOI, M. F. et al. Growth performance, body composition and metabolic response to feeding rates in juvenile Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 23, n. 6, p.1458-1466, 22 fev. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/anu.12521>
- 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**, [s.l.], v. 192, n. 2-4, p.187-199, jan. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(00\)00452-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(00)00452-x).
- BARBOSA, M. C.; NEVES, F. F.; CERQUEIRA, V. R. Taxa alimentar no desempenho de juvenis de robalo-peva em tanque-rede. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, [s.l.], v. 33, n. 4, p.369-372, 9 set. 2011. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i4.11413>.
- BAROILLER, J. F. et al. Sex determination studies in two species of teleost fish, *Oreochromis niloticus* and *Leporinus elongatus*. **Zoology Studies**, Taipei, v. 35, n. 4, p. 279-285, 1996.
- BARROSO, R. M. et al. **Dimensão socioeconômica da tilapicultura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2008.
- BENTSEN, H. B. et al. Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**,

[s.l.], v. 160, n. 1-2, p.145-173, jan. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(97\)00230-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(97)00230-5).

BEVERIDGE, M. C. M.; BAIRD, D. J. Diet, feeding and digestive physiology. In: BEVERIDGE, M.c.m.; MCANDREW, B. J. (Ed.). **Tilapias: Biology and Exploitation**. Stirling: University Of Stirling, 2000. p. 59-81.

BISWAS, G. et al. Effect of feeding frequency on growth, survival and feed utilization in mrigal, *Cirrhinus mrigala*, and rohu, *Labeo rohita*, during nursery rearing. **Aquaculture**, [s.l.], v. 254, n. 1-4, p.211-218, abr. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.001>.

BOONANUNTANASARN, S. et al. Molecular responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates. **Aquaculture**, [s.l.], v. 482, p.117-123, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.032>.

BOUJARD, T.; LEATHERLAND, J. F. Circadian rhythms and feeding time in fishes. **Environmental Biology Of Fishes**, [s.l.], v. 35, n. 2, p.109-131, out. 1992. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00002186>.

BUDDINGTON, R. K.; CHEN, J. W.; DIAMOND, J. Genetic and phenotypic adaptation of intestinal nutrient transport to diet in fish. **The Journal Of Physiology**, [s.l.], v. 393, n. 1, p.261-281, 1 dez. 1987. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.1987.sp016823>.

BUDDINGTON, R. K.; KUZ'MINA, V. Digestive System. In: OSTRANDER, G. K. (Org.). **The laboratory fish**. Baltimore: Academic Press, 2000. p. 173-178.

BUDDINGTON, R. K.; KROGDAHL, Å.; BAKKE-MCKELLEP, A. M. The intestines of carnivorous fish: structure and functions and the relations with diet. **Acta Physiologica Scandinavica**, [s.l.], v. 161, p. 67-80, 1997.

CABALLERO, M. J. et al. Combined effect of lipid level and fish meal quality on liver histology of gilthead seabream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 179, n. 1-4, p.277-290, set. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(99\)00165-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(99)00165-9).

CHAGAS, E. C. et al. Desempenho de tambaqui cultivado em tanques-rede, em lago de várzea, sob diferentes taxas de alimentação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 40, n. 8, p.833-835, ago. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2005000800015>.

CHO, C. Y.; BUREAU, D. P. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 32, p.349-360, dez. 2001. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00027.x>.

CHO, S. H. et al. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. **Aquaculture**, [s.l.], v. 251, n. 1, p.78-84, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.041>.

CLEMENTS, K. D.; RAUBENHEIMER, D. Feeding and nutrition. In: Evans, D.H. & Claiborne, J. B. (Eds.). **The Physiology of Fishes** Gainesville: CRC Press, 2005. p.47-82.
COMPERATORE, C. A.; STEPHAN, F. K. Entrainment of Duodenal Activity to Periodic Feeding. **Journal Of Biological Rhythms**, [s.l.], v. 2, n. 3, p.227-242, set. 1987. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/074873048700200306>.

CORRÊA, C. F. et al. Mixes of plant oils as fish oil substitutes for Nile tilapia at optimal and cold suboptimal temperature. **Aquaculture**, [s.l.], v. 497, p.82-90, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.034>.

COSTA-BOMFIM, C. N. et al. The effect of feeding frequency on growth performance of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766). **Journal Of Applied Ichthyology**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.135-139, 7 out. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jai.12339>.

DAUDPOTA, A. M. et al. Effect of Feeding Frequency on Growth Performance, Feed Utilization and Body Composition of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) Reared in Low Salinity Water. **Pakistan Journal of Zoology**, Pakistan, v. 1, n. 48, p.171-177, maio 2016.

DWYER, K. S. et al. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 213, n. 1-4, p.279-292, out. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00224-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00224-7).

EL-SAYED, A. M. **Tilapia culture**. Oxfordshire: Cabi publishing, 2006.

EROLDOĞAN, O. T.; KUMLU, M.; AKTAS, M. Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. **Aquaculture**, [s.l.], v. 231, n. 1-4, p.501-515, mar. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.020>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The state of food and agriculture**. Rome, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The state of food and agriculture**. Rome, 2018.

FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. (ed.). **NUTRIAQUA: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática,, 2013.

GABER, M. M. A.; HANAFY, M. A. Relationship Between Dietary Protein Source and Feeding Frequency During Feeding Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*(L.) Cultured in Concrete Tanks. **Journal Of Applied Aquaculture**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.200-212, 17 set. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10454430802329721>.

GALE, W. L. et al. Masculinization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by immersion in androgens. **Aquaculture**, [s.l.], v. 178, n. 3-4, p.349-357, ago. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(99\)00136-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(99)00136-2).

- GARCIA, J. A.; VILLARROEL, M. Effect of feed type and feeding frequency on macrophage functions in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.325-329, ago. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2009.05.018>.
- GENTEN, F.; TERWINGHE, E.; DANGUY, A. **Atlas of Fish Histology**. Florida: CRC Press, 2009.
- GLENCROSS, B. et al. An assessment of cereal grains and other starch sources in diets for barramundi (*Lates calcarifer*) - implications for nutritional and functional qualities of extruded feeds. **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 18, n. 4, p.388-399, 4 ago. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00903.x>.
- GODDARD, S. **Feed management in intensive aquaculture**. New York : Chapman & Hall, 1996.
- GONÇALVES, L. U. et al. Morfologia e fisiologia do sistema digestório de peixes. In: FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. (Ed.). **Nutriaqua: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: Copiart, 2013. p. 9-36.
- GUO, Z. et al. Effect of feeding frequency on growth performance, antioxidant status, immune response and resistance to hypoxia stress challenge on juvenile dolly varden char *Salvelinus malma*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 486, p.197-201, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.031>.
- HARDER, W. **Anatomy of Fishes**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche, 1976.
- HE, J. Y. et al. Methionine and lysine requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of two sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.629-640, 17 jan. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/anu.12012>.
- HUANG, Q. et al. Feeding Frequency and Rate Effects on Growth and Physiology of Juvenile Genetically Improved Farmed Nile Tilapia. **North American Journal Of Aquaculture**, [s.l.], v. 77, n. 4, p.503-512, 16 set. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1080/15222055.2015.1066472>.
- IBRAHIM, A. N. A. F.; NOLL, M. S. M. C.; VALENTI, W. C. Zooplankton capturing by Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae) throughout post-larval development. **Zoologia (curitiba)**, [s.l.], v. 32, n. 6, p.469-475, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1984-46702015000600006>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019.
- JIAN, C. Y.; CHENG, S. Y.; CHEN, J. C. Temperature and salinity tolerances of yellowfin sea bream, *Acanthopagrus latus*, at different salinity and temperature levels. **Aquaculture**

Research, [s.l.], v. 34, n. 2, p.175-185, jan. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00800.x>.

KAPOOR, B. G.; SMIT, H.; VERIGHINA, I. A. The Alimentary Canal and Digestion in Teleosts. **Advances In Marine Biology Volume 13**, [s.l.], p.109-239, 1976. Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2881\(08\)60281-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0065-2881(08)60281-3).

KNOX, K. M. G et al. Objective interpretation of bovine clinical biochemistry data: application of Bayes law to a database model. **Preventive Veterinary Medicine**, [s.l.], v. 33, n. 1-4, p.147-158, jan. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0167-5877\(97\)00040-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0167-5877(97)00040-8).

KROGDAHL, A.; SUNDBY, A.; BAKE, A. M. Gut secretion and digestion. *In*: FARRELL, A. P. (Ed.). **Fish physiology**: from genome to environment. Italy: Academic Press, 2011. p. 1301-1311.

LAGO, A. A. et al. The development of genetically improved red tilapia lines through the backcross breeding of two *Oreochromis niloticus* strains. **Aquaculture**, [s.l.], v. 472, p.17-22, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.042>.

LEE, S. M.; CHO, S. H.; KIM, D. J. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 31, n. 12, p.917-921, dez. 2000. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00505.x>.

LI, X. et al. Grass carp fed a fishmeal-free extruded diet showed higher weight gain and nutrient utilization than those fed a pelleted diet at various feeding rates. **Aquaculture**, [s.l.], v. 493, p.283-288, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.04.058>.

LIM, C., WEBSTER, C. D. (Ed.) **Tilapia**: biology, culture, and nutrition. New York: Food product Press, 2006.

LIND, C. E. et al. Differences in sexual size dimorphism among farmed tilapia species and strains undergoing genetic improvement for body weight. **Aquaculture Reports**, [s.l.], v. 1, p.20-27, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.03.003>.

LIU, Y. et al. The effect of different lipid level on the growth performance, body composition and plasma biochemical indices in cobia (*Rachycentron canadum* L.) at two different sizes. **Acta Hydrobiologica Sinica**, v. 43, p. 233-243, 2019.

LOURES, B. R. R. et al. Manejo alimentar de alevinos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.), associado às variáveis físicas, químicas e biológicas do ambiente. **Acta Scientiarum**, v. 23, n.4, p. 877-883, 2001.

LUNDSTEDT, L. M.; MELO, J. F. B.; MORAES, G. Digestive enzymes and metabolic profile of *Pseudoplatystoma corruscans* (Teleostei: Siluriformes) in response to diet composition. **Comparative Biochemistry And Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, [s.l.], v. 137, n. 3, p.331-339, mar. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpc.2003.12.003>.

LUO, Z. et al. Effects of Feeding Levels on Growth Performance, Feed Utilization, Body Composition, and Apparent Digestibility Coefficients of Nutrients for Grouper *Epinephelus coioides* Juveniles. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 37, n. 1, p.32-40, 3 mar. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00004.x>.

MCCUE, M. D. Starvation physiology: Reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. **Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, [s.l.], v. 156, n. 1, p.1-18, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.002>.

MEURER, F. et al. Feeding frequency on growth and male percentage during sexual reversion phase of Nile tilapia. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [s.l.], v. 13, n. 4, p.1133-1142, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-99402012000400024>.

MICHELATO, M. et al. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, [s.l.], v. 457, p.124-130, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>.

MIHELAKAKIS, A.; TSOLKAS, C.; YOSHIMATSU, T. Optimization of Feeding Rate for Hatchery-Produced Juvenile Gilthead Sea Bream *Sparus aurata*. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 33, n. 2, p.169-175, jun. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00491.x>.

NG, W. et al. Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. **Aquaculture International**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.19-29, 2000. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1009216831360>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington: The national academic press, 2011.

NAVARRO, I.; GUTIÉRREZ, J. Fasting and starvation. In HOCHACHKA, P. W.; MOMMSEN, T.P. (Ed.) **Biochemistry and Molecular Biology of Fishes**. Canada: Elsevier Science, 1995. p. 393-434.

OLIVEIRA FILHO, P. R. C. et al. Quality of sausage elaborated using minced Nile Tilapia submitted to cold storage. **Scientia Agricola**, [s.l.], v. 67, n. 2, p.183-190, abr. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162010000200009>.

OLIVEIRA, A. M. S. et al. Padrões de crescimento de machos e fêmeas de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) da variedade GIFT. **Semina: Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 34, n. 4, p.1891-1900, 30 ago. 2013. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1891>.

OLSSON, C. Gut anatomy. In: FARRELL, A. P. (Ed.). **Fish physiology: from genome to environment**. Italy: Academic Press, 2011. p. 1268-1275.

OSTASZEWSKA, T. et al. Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein

replacement with soybean proteins. **Aquaculture**, [s.l.], v. 245, n. 1-4, p.273-286, mar. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.005>.

PALMERINI, C. A. et al. Blood Lipids in Antarctic and in Temperate-Water Fish Species. **Journal Of Membrane Biology**, [s.l.], v. 230, n. 3, p.125-131, ago. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00232-009-9192-2>.

PEDROSA, R. U. et al. Effects of feeding strategies on growth, biochemical parameters and waste excretion of juvenile arapaima (*Arapaima gigas*) raised in recirculating aquaculture systems (RAS). **Aquaculture**, [s.l.], v. 500, p.562-568, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.058>.

PERES, H.; SANTOS, S.; OLIVA-TELES, A. Blood chemistry profile as indicator of nutritional status in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). **Fish Physiology And Biochemistry**, [s.l.], v. 40, n. 5, p.1339-1347, 20 mar. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10695-014-9928-5>.

PERSCHBACHER, P. W.; LORIO, W. J. Filtration Rates of Catfish Pond Phytoplankton by Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. **Journal Of The World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 24, n. 3, p.434-437, set. 1993. Wiley. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00177.x>

PILLAY, T.V. R. **Aquaculture Principles and Practices**. Oxford: Blackwell Publishing, 1990.

POPMA, T.; MASSER, M. **Tilapia life history and biology**. Texas: Southern Regional Aquaculture Center, 1999.

POPMA, T. J.; GREEN, B.W. **Sex reversal of tilapia in earthen ponds: Aquacultural Production Manual**. Auburn: Auburn University, 1990.

PRUGININ, Y. et al. All male broods of Tilapia nilotica x T. aurea hybrids. **Aquaculture**, v. 6, p.11-21, 1975.

RANZANI-PAIVA, M. J. T. et al. **Métodos para análise hematológica em peixes**. Maringá: Eduem, 2013.

RIBEIRO, R. P.; LEGAT, A. P. **Delineamento de programas de melhoramento genético de espécies aquícolas do Brasil**. Teresina: Embrapa, 2008.

RICHE, M. et al. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, [s.l.], v. 234, n. 1-4, p.657-673, maio 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.012>.

RODRIGUES, A. P. O. et al. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.65-72, 29 jun. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x>.

RUST M. B. Nutritional physiology. In: HALVER J. E.; HARDY R.W. (Ed.). **Fish Nutrition**. San Diego: Academic Press, 2002. p.367-446.

SANCHEZ-VAZQUEZ, F. J.; MADRID, J. A. Feeding Anticipatory Activity. *In*: HOULIAND, D.; BOUJARD, T.; JOBLING, M. (Ed.) **Food Intake In Fish**. Oxford: Blackwell Science. 2001, p.216-232.

SANDERSON S. L. et al. Mucus entrapment of particles by a suspension-feeding tilapia (Pisces: Cichlidae). **Journal of Experimental Biology** 199: 1743-1756, 1996.

SANTOS, M. M. et al. Level and frequency of the feeding in the Nile tilapia fingerling development. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 2, n. 41, p.387-395, abr. 2005.

SANTOS, S. K. A. et al. Evaluation of growth and fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with *Schizochytrium* sp. **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 50, n. 4, p.1068-1074, 15 fev. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/are.13979>.

SCHMITTOU, R. H., JIAN Z.; CRAMBER, M. C. **Principles and practices of 80:20 pond fish farming**. St. Louis: American Soybean Association, 1998.

SCORVO FILHO, J. D. et al. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l.], v. 39, n. , p.112-118, jul. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982010001300013>.

SCOTT, A. G. et al. The ‘YY’ supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. **Aquaculture**, [s.l.], v. 78, n. 3-4, p.237-251, jun. 1989. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90102-6](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(89)90102-6).

SHIMENO, S. et al. Metabolic response to feeding rates in common carp, *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 151, n. 1-4, p.371-377, maio 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(96\)01492-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(96)01492-5).

SILVA, C. R.; GOMES, L. C.; BRANDÃO, F. R. Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. **Aquaculture**, [s.l.], v. 264, n. 1-4, p.135-139, abr. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.007>.

SILVA, E. T. L. et al. Larvas de linhagens de tilápia do Nilo submetidas à frequências alimentares sob baixa temperatura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.193-203, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-99402017000100018>.

SLACK, J. M. **Developmental biology of the pancreas**. *Development*, v. 121, p. 1569-1580, 1995.

SMITH, R. R. Nutritional energetics. *In*: HALVER, J. E. **Fish Nutrition**. San Diego: Academic Press, 1989, p. 2–29.

SOENGAS, J. L.; ALDEGUNDE, M. Energy metabolism of fish brain. **Comparative Biochemistry And Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, [s.l.], v. 131, n. 3, p.271-296, mar. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1096-4959\(02\)00022-2](http://dx.doi.org/10.1016/s1096-4959(02)00022-2).

STICKNEY, R. R. **Principles of Warmwater Aquaculture**. New York: John Wiley & Sons, 1979.

THONGPRAJUKAEW, K. et al. Effects of feeding frequency on growth performance and digestive enzyme activity of sex-reversed Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). **Agriculture And Natural Resources**, [s.l.], v. 51, n. 4, p.292-298, ago. 2017. Kasetsart University and Development Institute.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2017.04.005>.

TIAN, H. et al. Optimum feeding frequency of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. **Aquaculture**, [s.l.], v. 437, p.60-66, fev. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.032>.

TUNG, P.; SHIAU, S. Effects of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, fed different carbohydrate diets. **Aquaculture**, [s.l.], v. 92, p.343-350, jan. 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90039-a](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(91)90039-a)

UNITED NATIONS - UN. **World population prospects 2019: Highlights**. New York: United Nations, (2019).

VOLKOFF, H.; PETER, R. E. Feeding Behavior of Fish and Its Control. **Zebrafish**, [s.l.], v. 3, n. 2, p.131-140, jun. 2006. Mary Ann Liebert Inc.
<http://dx.doi.org/10.1089/zeb.2006.3.131>.

WANG, Y. et al. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens. **Aquaculture**, [s.l.], v. 271, n. 1-4, p.350-356, out. 2007. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.022>.

WILSON, J. M.; CASTRO, L. F. C. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. In: GROSSEL, M., FARRELL, A. P., BRAUNER, C.J. (Ed.). **The multifunctional gut of fish**, Burlington: Academic Press, 2011, p. 1-55.

MA, X. Y. et al. Changes in the physiological parameters, fatty acid metabolism, and SCD activity and expression in juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared at three different temperatures. **Fish Physiology And Biochemistry**, [s.l.], v. 41, n. 4, p.937-950, 5 maio 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10695-015-0059-4>.

XIE, F. et al. The optimal feeding frequency of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson) larvae. **Aquaculture**, [s.l.], v. 311, n. 1-4, p.162-167, fev. 2011. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.005>.

XU, H. et al. Effects of different feeding rates of extruded and pelleted feeds on growth and nutrient retention in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture International**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.1361-1372, 30 jan. 2017. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10499-017-0119-0>.

ZANIBONI FILHO, E. Piscicultura das espécies exóticas de água doce. In: POLI, Carlos Rogério et al (Org.). **Aquicultura: Experiências brasileiras**. Florianópolis: Multitarefa, 2004. p. 337-368

ZHAO, H. et al. Fishmeal can be completely replaced by soy protein concentrate by increasing feeding frequency in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* GIFT strain) less than 2 g. **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 16, n. 6, p.648-653, 9 nov. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00708.x>.

ZHOU, Z. et al. Effect of feeding frequency on growth, feed utilization, and size variation of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). **Journal Of Applied Ichthyology**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.244-249, ago. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0426.2003.00453.x>