



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

Rafael de Souza Romaneli

**Nutrição aminoacídica em tilápia-do-nilo: balanço e elaboração de modelo de predição
para aminoácidos essenciais**

Florianópolis-SC

2023

Rafael de Souza Romaneli

**Nutrição aminoacídica em tilápia-do-nilo: balanço e elaboração de modelo de predição
para aminoácidos essenciais**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de Doutor em Aquicultura.

Orientadora: Profa. Débora Machado Fracalossi, Dra.
Coorientador: Prof. João Batista Kochenborger
Fernandes, Dr.

Florianópolis-SC

2023

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

Romaneli, Rafael de Souza

Nutrição aminoacídica em tilápia-do-nylo: balanço e elaboração de modelo de predição para aminoácidos essenciais. / Rafael de Souza Romaneli ; orientadora, Débora Machado Fracalossi, coorientador, João Batista Kochenborger Fernandes, 2023.

79 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Formulação de dieta. 3. Manejo alimentar. 4. Dietas balanceadas. I. Fracalossi, Débora Machado . II. Fernandes, João Batista Kochenborger . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Rafael de Souza Romaneli

**Nutrição aminoacídica em tilápia-do-nilo: balanço e elaboração de modelo de predição
para aminoácidos essenciais**

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 28 de fevereiro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

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

Prof. Robson Andrade Rodrigues, Dr.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Wilson Massamitu Furuya, Dr.
Instituição Universidade Estadual de Ponta Grossa

Luiz Eduardo Lima de Freitas, Dr.
Instituição Embrapa Pesca e Aquicultura

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



Documento assinado digitalmente
Mauricio Laterca Martins
Data: 11/05/2023 14:31:51-0300
CPF: ***.371.998-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Documento assinado digitalmente
Debora Machado Fracalossi
Data: 11/05/2023 16:58:28-0300
CPF: ***.348.610-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profª. Débora Machado Fracalossi, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2023.

DEDICATÓRIA

À minha mãe Luzia e ao meu pai Aeriton, que são dois anjos que Deus me deu a
oportunidade de nascer como filho,

À minha irmã Gabriela, por todos esses anos de muito amor,

À minha esposa Sílvia, por todo amor oferecido e que tanto me fez crescer como ser
humano,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Evonik Industries pelo financiamento do primeiro estudo e, em especial, a Karthik Masagounder pela supervisão do projeto e Valeska Passarelo e Gabriella Nunes pelas análises dos ingredientes e envio das dietas para a Alemanha.

Em especial a minha querida orientadora, Profa. Débora Machado Fracalossi, por todo carinho, orientação, ensinamentos e por confiar no meu trabalho.

Ao Prof. João Batista Kochenborger Fernandes, pela oportunidade oferecida que mudou a minha trajetória em 2016, além de sua orientação durante o mestrado e co-orientação no doutorado.

À toda equipe do Labnutri: Maria, Kath, Guto, Soninha, Bruna, Renatinha, Bianca, Rosa, Jorge, Vicky, Virian, pela troca de conhecimentos e por todo o suporte oferecido.

À toda equipe do LAPAD: Prof. Alex, Luciano, Vinicius, Jana, Josi, Maurício, Ronaldo, Renata por todo o apoio e estruturas disponibilizadas.

Aos vigias Edson e Felipe, pelas conversas que rendiam boas risadas.

À coordenação do programa de pós-graduação em aquicultura da UFSC, em especial ao Carlito Aloísio Klunk por toda atenção e suporte ofertado.

Aos professores do programa de pós-graduação, por todo o conhecimento transmitido, os quais serão extremamente importantes em minha jornada como profissional.

À Epagri, em especial ao Bruno Corrêa, pelo fornecimento dos peixes e pelas tabelas de alimentação que contribuíram para a redação do segundo artigo.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya, Prof. Dr. Robson Andrade Rodrigues e Dr. Luiz Eduardo Lima de Freitas pelas sugestões durante o exame de qualificação, que ajudaram a lapidar este trabalho.

A todos da Família Souza e Romaneli, que me ensinaram o valor de ter pessoas que nos amam em nossas vidas.

À minha mais nova família, Zezinho, Maria “in memoriam”, Eliza, Ana Beatriz, Dandara, Gustavo, Carolina, Manuella e Arthur.

À Sílvia, minha companheira de vida, por todo o apoio e que me fez sempre seguir em frente.

Aos meu país, Luzia e Aeriton, pelo exemplo de vida, no qual eu procuro sempre me espelhar.

À Deus e aos amigos de outras vidas, por todo o amparo e iluminação.

A todos, eu deixo o meu muito obrigado. Gratidão!

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

“Ninguém cruza a nossa vida por acaso e nós não entramos na vida de alguém sem nenhuma razão.”

Chico Xavier

RESUMO

O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira, o objetivo foi desenvolver uma estratégia de formulação que proporcionasse o equilíbrio adequado entre os aminoácidos essenciais e reduzisse o nível de proteína em dietas para juvenis de tilápia-do-nilo, sem comprometer o crescimento dos peixes. Na segunda etapa do estudo, o objetivo foi modelar uma inclusão dinâmica de aminoácidos essenciais em dietas de tilápia-do-nilo com base na variação do consumo de dieta, causado pela temperatura da água e estágio de crescimento. No primeiro estudo, foi realizado um ensaio de alimentação, onde grupos de 20 peixes com peso médio inicial de $6,75 \pm 0,07$ g foram alimentados com quatro dietas isoenergéticas, que variaram em sua concentração de proteína, usando cinco repetições, em delineamento inteiramente casualizado. As dietas 32HighLys e 32LowLys continham 321 g de proteína kg^{-1} , enquanto as dietas 29BAL e 22BAL continham 292 e 222 g de proteína kg^{-1} , respectivamente. O crescimento dos peixes alimentados com a dieta 29BAL não foi comprometido, apesar de consumirem uma dieta com menor teor de proteína. O ganho em peso e coeficiente de crescimento térmico dos peixes alimentados com esta dieta foram semelhantes aos registrados nos peixes alimentados com as dietas 32HighLys e 32LowLys. No entanto, o ganho de proteína em peixes alimentados com a dieta 32HighLys foi significativamente maior comparado com os demais tratamentos. Ainda, a diminuição no teor de proteína da dieta resultou em menor excreção de resíduos nitrogenados nos peixes alimentados com as dietas 29BAL e 22BAL ($37,21 \pm 0,74$ e $23,59 \pm 0,88$ g N kg^{-1} produzido peixe $^{-1}$, respectivamente). A segunda etapa do estudo focou na premissa que os peixes consomem quantidades suficientes de nutrientes para atingir seu máximo potencial de crescimento. A partir desta premissa, foram obtidos modelos matemáticos para prever a exigência em alguns aminoácidos em mg por grama de ganho em peso, como em lisina, arginina, histidina e triptofano. Já a exigência nos aminoácidos que não foram estimadas pelos modelos, foram estabelecidas com base na relação à lisina, obtida nos estudos de deleção de aminoácidos com tilápia-do-nilo. Os valores do coeficiente de crescimento térmico preditos pelo modelo, serviram como ferramenta para obter dados de crescimento diário, os quais, juntamente com os dados de exigência em aminoácidos essenciais (mg g^{-1} de ganho de peso), possibilitaram a estimativa das exigências diárias para cada aminoácido. Como conclusão, a estratégia de formulação proposta no primeiro estudo, que utilizou a inclusão de aminoácidos cristalinos para balancear o perfil de aminoácidos essenciais, mostrou-se eficiente na redução de 3% de proteína digestível na dieta de juvenis de tilápia-do-nilo, de 32% para 29%, sem comprometer o crescimento dos peixes e promovendo menor excreção de resíduos nitrogenados na água. Ainda, diferentes recomendações em aminoácidos essenciais foram preditos com base na capacidade de crescimento e de alimentação da tilápia-do-nilo em diferentes condições de temperatura e estágio de desenvolvimento. Este estudo é um passo inicial para o desenvolvimento de dietas balanceadas que atendam às demandas da espécie em diferentes temperaturas e estágios de desenvolvimento no processo produtivo.

Palavras-chave: Aquicultura. Formulação de dieta. Manejo alimentar. Dietas balanceadas.

ABSTRACT

The study was divided into two stages. In the first one, the objective was to develop a formulation strategy to maintain an adequate balance among essential amino acids while reducing the protein level in diets for juvenile Nile tilapia, without compromising fish growth. In the second part of the study, the objective was to model a dynamic inclusion of essential amino acids in Nile tilapia diets based on the variation in feed intake, caused by water temperature and growth stage. In the first study, groups of 20 fish with an average initial weight of 6.75 ± 0.07 g were fed four isoenergetic diets, which varied in their protein concentration, using five replicates, in a completely randomized design. Diets 32HighLys and 32LowLys contained 321 g protein kg^{-1} , while diets 29BAL and 22BAL contained 292 and 222 g protein kg^{-1} , respectively. The growth of fish fed the 29BAL diet was not compromised, despite feeding on a diet with lower protein content. The weight gain and thermal growth coefficient of fish fed the 29BAL diet were like those recorded for fish fed the 32HighLys and 32LowLys diets. However, protein gain in fish fed the 32HighLys diet was significantly higher compared to the other treatments. Also, the decrease in protein content of the diet resulted in lower excretion of nitrogenous residues in fish fed the 29BAL and 22BAL diets (37.21 ± 0.74 and 23.59 ± 0.88 g N kg^{-1} produced fish $^{-1}$, respectively). The second stage of the study focused on the premise that fish consume enough nutrients to reach their maximum growth potential. Based on this premise, mathematical models were obtained to predict the requirement for some amino acids in mg per gram of weight gain, such as lysine, arginine, histidine, and tryptophan. As for the amino acid requirements that were not estimated by the models, they were established based on the lysine ratio obtained in amino acid deletion studies with Nile tilapia. The values of the coefficient of thermal growth predicted by the model served as a tool to obtain data on daily growth, which, together with data on the requirement for essential amino acids (mg g^{-1} of weight gain), made it possible to estimate the daily requirements for each amino acid. In conclusion, the formulation strategy proposed in the first study, which used the inclusion of crystalline amino acids to balance the profile of essential amino acids, proved to be efficient in reducing 3% of digestible protein in the diet of juvenile Nile tilapia, from 32% to 29%, without compromising fish growth and promoting lower excretion of nitrogenous waste in the water. Furthermore, different essential amino acid recommendations were predicted based on the growth and feeding capacity of Nile tilapia under different conditions of temperature and developmental stage. This study is an initial step towards the development of balanced diets that meet the demands of the species at different temperatures and stages of development in the production process.

Keywords: Aquaculture. Feed formulation. Feed management. Balanced diets.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1	EXIGÊNCIA EM AMINOÁCIDOS PARA TILÁPIA-DO-NILO.....	12
1.1.1	Arginina	13
1.1.2	Fenilalanina	13
1.1.3	Histidina.....	14
1.1.4	Aminoácidos de cadeia ramificada (BCAAs).....	14
1.1.5	Lisina.....	15
1.1.6	Metionina	15
1.1.7	Treonina.....	16
1.1.8	Triptofano	16
1.2	IMPORTÂNCIA DO BALANÇO ENTRE AMINOÁCIDOS NA DIETA.....	20
1.3	IMPORTÂNCIA DA DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ALIMENTAR EM ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DA EXIGÊNCIA EM AMINOÁCIDOS	23
1.4	COEFICIENTES DE CRESCIMENTO PARA PREDIÇÃO DA EXIGÊNCIA EM AMINOÁCIDOS DIETÉTICOS	24
1.4.1	Crescimento linear.....	24
1.4.2	Taxa de crescimento específico	25
1.4.3	Coeficiente de crescimento diário.....	25
1.4.4	Coeficiente de crescimento térmico.....	25
1.5	OBJETIVOS	26
1.5.1	Objetivo geral	26
1.5.2	Objetivos específicos	26
2.	CAPÍTULO I: ESTRATÉGIA DE FORMULAÇÃO PARA MANTER O EQUILÍBRIO DE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS NA DIETA PARA JUVENIS DE TILÁPIA-DO-NILO	27
2.1.	INTRODUÇÃO	28
2.2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.2.1.	Peixes e delineamento experimental.....	29
2.2.2.	Dietas experimentais e manejo alimentar	30
2.2.3.	Variáveis mensuradas, coleta de amostras e análises laboratoriais ...	34
2.2.4.	Análise estatística.....	35
2.3.	RESULTADOS.....	35

2.3.1.	Crescimento	35
2.3.2.	Excreção de compostos nitrogenados	36
2.3.3.	Composição corporal	38
2.4.	DISCUSSÃO	39
2.5.	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS.....	43
3.	CAPÍTULO II: O CONHECIMENTO DO CONSUMO DE RAÇÃO É ESSENCIAL PARA DEFINIR AS NECESSIDADES DE AMINOÁCIDOS DA TILÁPIA-DO-NILO EM DIFERENTES TEMPERATURAS E ESTÁGIOS DE CRESCIMENTO	47
	RESUMO.....	47
3.1.	INTRODUÇÃO	48
3.2.	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.2.1.	Pesquisa de literatura e seleção dos dados	49
3.2.2.	Curva de crescimento.....	50
3.2.3.	Consumo de ração.....	52
3.2.4.	Exigências em aminoácidos	53
3.2.5.	Análise estatística.....	54
3.3.	RESULTADOS.....	54
3.3.1.	Crescimento e consumo de ração.....	54
3.3.2.	Exigência de aminoácidos	57
3.4.	DISCUSSÃO	61
3.5.	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS.....	65
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL	73

1. INTRODUÇÃO GERAL

A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) está entre as espécies de interesse na aquicultura mais produzidas no mundo; o que torna a sua criação um sucesso é a capacidade de produzi-la em regiões tropicais, subtropicais e temperadas (El-Sayed, 2019). Além disso, o potencial da espécie está expresso no seu rápido crescimento, resistência a doenças (XIAO et al., 2017), tolerância a diferentes condições ambientais (MICHELATO et al., 2016), rápido crescimento (HE et al., 2013), rusticidade (Takashita et al., 2009; He et al., 2013), além de filé com boas características organolépticas e ausência de espinhas intramusculares em forma de “Y” (FURUYA et al., 2005), o que facilita o processamento e a aceitação pelo consumidor. No Brasil, a tilápia-do-nilo é líder entre as espécies produzidas na piscicultura. Em 2020, foram produzidas 346,6 mil toneladas, o que corresponde a 62,3% de todo o pescado produzido (IBGE, 2021). No entanto, para o sucesso da tilapicultura, é imprescindível que a dieta fornecida aos peixes supra suas exigências nutricionais de forma economicamente viável (GHOMI et al., 2012). Entre os nutrientes necessários para o desenvolvimento dos peixes, a proteína é o nutriente que mais eleva os custos de uma dieta, atingindo cerca de 70% dos custos totais da produção (BALLESTER-MOLTÓ et al., 2017). Por este motivo, a proteína deve ser utilizada de maneira eficiente na dieta. Porém, mesmo sabendo da importância da utilização de níveis adequados de proteína na dieta, vale destacar que os peixes não possuem especificamente uma exigência para este nutriente, mas sim de quantidades balanceadas de aminoácidos que garantam o melhor desempenho zootécnico (WILSON E POE, 1985; WILSON, 2002; WEBSTER E LIM, 2002). Portanto, para que os peixes possam expressar a função nobre dos aminoácidos, que é a síntese proteica, é importante que as dietas contenham um adequado balanceamento destes nutrientes.

Os aminoácidos são nutrientes essenciais exigidos para o crescimento e saúde dos animais. Quando deficientes nas dietas, podem acarretar em baixa síntese proteica, redução no ganho de peso e uma infinidade de outros problemas relacionados à saúde dos peixes (KAUSHIK; SEILIEZ, 2010). Porém, os peixes, assim como outros animais, possuem a capacidade de sintetizar alguns aminoácidos por meio do metabolismo celular ou pela transaminação de outros aminoácidos provenientes da dieta, conhecidos como aminoácidos não essenciais (AANE). Já os aminoácidos que não são sintetizados pelo organismo, são classificados como aminoácidos essenciais (AAE), os quais devem ser incluídos em níveis adequados na dieta para garantir as funções fisiológicas, metabólicas e de crescimento (LI et al., 2009; WU, 2013; WU, 2014).

Sabendo disso, torna-se imprescindível a realização de estudos que visem estimar as quantidades adequadas para cada aminoácido dietético, de modo a atender às demandas diárias da espécie a ser produzida. Para tilápia-do-nilo, há uma diversidade de estudos que estimam a exigência em aminoácidos para a espécie. No entanto, dentro dessa gama de estudos, existe uma grande variabilidade entre as exigências em aminoácidos encontradas. Cowey (1995) relata algumas questões que podem acarretar esta discrepância entre as exigências, tais como: (1) modo de expressar os dados, por exemplo, na base de matéria seca ou úmida; (2) composição e tipo de dieta utilizada (semipurificada ou prática); (3) método utilizado para estimar a exigência; (4) tratamento estatístico dos dados obtidos. Além disso, estudos mais recentes também ressaltam o critério utilizado para avaliar as respostas de crescimento e das diferentes abordagens de interpretação dos dados, como o método de deleção, de suplementação e de diluição. Estes fatores, em conjunto, colaboram para a variabilidade dos dados sobre exigência em aminoácidos para a tilápia-do-nilo, encontrados na literatura.

1.1 EXIGÊNCIA EM AMINOÁCIDOS PARA TILÁPIA-DO-NILO

O ensaio de dose-resposta é o procedimento mais comum para determinar o nível ideal de aminoácidos para uma determinada espécie (MADRID et al., 2019). Neste procedimento, geralmente são utilizados dois métodos para formular as rações experimentais e obter os níveis crescentes do aminoácido avaliado: a técnica de suplementação e da diluição. A técnica da suplementação é amplamente usada para determinar a exigência em aminoácidos e envolve a adição gradual de um aminoácido teste em uma dieta basal, deficiente no aminoácido limitante (D'MELLO, 1982). Já a técnica de diluição, proposta originalmente por Fisher e Morris (1970), é uma alternativa à técnica de suplementação, onde diluições sucessivas são feitas, misturando-se uma dieta rica em proteína com uma dieta livre ou baixa em nitrogênio, mantendo-se o nível de energia constante entre as dietas. Este método permite obter os níveis intermediários do aminoácido teste, mantendo um equilíbrio entre os aminoácidos (GOUS & MORRIS, 1985). Além disso, a técnica de diluição permite a formulação de rações com uma ampla gama de aminoácidos e níveis mais baixos do aminoácido em teste; como consequência, espera-se uma ampla gama de respostas. Atualmente, os estudos que estimam as exigências em aminoácidos em peixes estão restritos à técnica de suplementação, havendo poucos estudos com a técnica da diluição. Com a utilização desta última técnica, ressalta-se o estudo relatado por Abboudi et al. (2007), estimando a necessidade de treonina para manutenção do salmão do Atlântico (*Salmo salar* L.); aquele relatado por Liebert e Benkendorff (2007a, b), utilizando os princípios da técnica de diluição para determinar as exigências em lisina, metionina e treonina para a tilápia-

do-nilo; além daquele relatado por Romaneli et al. (2021), estimando a eficiência de utilização da lisina para tilápia-do-nilo em diferentes fases de crescimento.

Em virtude do potencial produtivo da tilápia-do-nilo, há um banco de dados relevante a respeito das exigências em aminoácidos para a espécie. Na tabela 1 estão listados quarenta e seis estudos que estimaram as exigências em aminoácidos essenciais para a espécie. Vale destacar que a maior parcela dos estudos está concentrada na fase inicial de desenvolvimento (juvenis) com animais até 100 g de peso vivo, havendo poucos realizados para faixas de peso acima de 100 g.

1.1.1 Arginina

A arginina age como precursor na síntese de creatina e óxido nítrico. Além disso, atua como estimulante na secreção de hormônios como glucagon, prolactina (WU et al. 1997), insulina, crescimento, importante em processos anabólicos (WAN et al., 2006) e tem papel modulador em alguns mecanismos de imunidade inata (MOINARD et al. 2002; CHENG et al. 2012; POHLENZ et al. 2012). A arginina tem uma função importante no transporte do nitrogênio para os tecidos, como também participa na síntese de enzimas como a arginase, arginyl RNA sintetase (MORRIS, 2006; POHLENZ et al., 2013). As exigências em arginina nos estudos com tilápia-do-nilo variaram de 1,18 a 1,68% (Tabela 1), sendo a média de $1,44\% \pm 0,19$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; NEU et al., 2016; WU et al., 2016; PRABU et al., 2021).

1.1.2 Fenilalanina

A fenilalanina é convertida facilmente em tirosina pelos peixes, indicando que apenas a edição de fenilalanina na dieta é suficiente para atender as demandas por tirosina (WILSON, 1989; GUILLAUME et al., 1999). No entanto, com a presença de tirosina na dieta, a demanda de fenilalanina é reduzida pelo peixe (NRC, 2011). A fenilalanina e a tirosina, apresentam papéis regulatórios (YOO et al., 2000; CHANG et al., 2007) e em níveis adequados podem influenciar a pigmentação, consumo da dieta, crescimento, imunidade e a sobrevivência dos peixes. As exigências em fenilalanina variaram de 0,88 a 1,21% (Tabela 1), com média de $1,08\% \pm 0,19$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; JIANG et al., 2016; XIAO et al., 2019; ZEHRA E YOUSIF, 2021). Já as exigências em fenilalanina + tirosina variaram de 1,55 a 2,10%, com média de $1,83 \pm 0,25$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; ZEHRA E YOUSIF, 2021).

1.1.3 Histidina

A histidina é um precursor para produtos químicos bioativos, como a histamina e participa de reações alérgicas e inflamatórias (GLOVER; WOOD, 2008; JR; SERAFIN, 2000; KHAN; ABIDI 2014). A histidina em conjunto com os imidazóis atua em processos bioquímicos importantes, como a osmorregulação, tamponamento do pH muscular e desintoxicação de espécies reativas de carbonila (WAAGBOØ et al., 2010). Em salmonídeos foi relatado que a histidina ajuda a prevenir catarata, pois ela age com um antioxidante no cristalino (WAAGBOØ et al., 2010), e é o aminoácido mais abundante na estrutura proteica da hemoglobina. A exigência em histidina variou de 0,48 a 0,82% (Tabela 1), e a média entre os ensaios foi de $0,70\% \pm 0,16$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; MICHELATO et al., 2017; ZAMINHAN-HASSEMER et al., 2020).

1.1.4 Aminoácidos de cadeia ramificada (BCAAs)

Dentre os aminoácidos essenciais, a isoleucina em conjunto com leucina e valina são conhecidos como aminoácidos de cadeia ramificada (BCAAs), que são amplamente encontrados no interior do núcleo hidrofóbico de proteínas, onde realizam funções estruturais importantes, sendo, principalmente, depositados no músculo esquelético (NRC, 2011). Em estudos realizados com outras espécies de peixes, os autores têm relatado os BCAAs como reguladores da síntese de proteína, na qual atuam como sinalizadores de nutrientes anabólicos, ou seja, enviam um comunicado para os tecidos periféricos indicando a presença de um alimento ingerido de origem proteica para promover a síntese de proteína (KAWANAGO et al., 2014, 2015; LANSARD et al., 2011). Os estudos que estimam a exigência dos aminoácidos de cadeia ramificada são bastante escassos. Para a isoleucina foram apenas dois estudos, e os níveis estimados foram 0,87 e 1,37%, (Tabela 1) com média de $1,12\% \pm 0,25$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; ARAÚJO et al., 2021). Assim como a isoleucina, a exigência em valina foi estimada por dois estudos, sendo os níveis estimados em 0,78 e 1,21% (Tabela 1) e a média entre os estudos foi de $1,00\% \pm 0,22$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; XIAO et al., 2017). Para a exigência em leucina, os níveis estimados variaram de 0,95 a 1,59 % (Tabela 1), com média de $1,26\% \pm 0,23$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; YAQING et al., 2014; GAN et al., 2016; ZEHRA E KHAN, 2017).

1.1.5 Lisina

A lisina é o aminoácido essencial mais abundante da proteína corporal dos animais, e por este motivo, normalmente os ingredientes de origem animal são ricos neste aminoácido. Por outro lado, ingredientes de fontes vegetais, principalmente os subprodutos de grãos, em alguns casos possuem concentrações mais baixas de lisina, a exemplo do concentrado proteico de milho (Protenose®) e glúten de trigo (NRC, 2011). Isso também acontece porque a lisina possui um grupo amina de natureza reativa, que a torna sensível ao calor e particularmente passível de sofrer a reação de Maillard, que acontece quando os ingredientes são expostos ao tratamento térmico excessivo (MOUGHAN E RUTHERFURD, 1996). Entre os aminoácidos, a lisina talvez seja o mais estudado, devido a sua importância na síntese proteica e por ser considerado um aminoácido de referência, sendo utilizada para calcular a exigência em outros aminoácidos (BALL et al., 2007). Além disso, a lisina tem papel fundamental nos processos de hiperplasia e hipertrofia muscular (VALENTE et al., 2013).

Muitos estudos foram realizados sobre a exigência em lisina para a tilápia- do-nilo. As exigências em lisina variaram entre 1,31 a 2,32% (Tabela 1), sendo que a média entre os estudos ficou em $1,70\% \pm 0,31$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; LIEBERT, 2009; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010; FURUYA et al., 2012; FURUYA et al., 2013; MICHELATO et al., 2016b; PRABU et al., 2019).

1.1.6 Metionina

A metionina é considerada limitante em dietas para peixes, principalmente quando há inclusões elevadas de proteína de origem vegetal, como o farelo de soja, o que torna necessária a suplementação desse aminoácido na dieta (FURUYA et al., 2001; MAI et al., 2006b). A metionina tem função importante na síntese proteica, participando também de uma ampla gama de reações metabólicas, como a produção de S-adenosilmetionina, L-cisteína, glutatona, taurina, sulfato, fosfatidilcolina e outros fosfolipídios (BAKER, 2006; BROSNAN e BROSNAN, 2006b). Além disso, a metionina pode participar na formação de D-glicose e glicogênio (NRC, 2011). O mecanismo de conversão de metionina em cistina e de cistina em metionina, dificulta obtenção de níveis precisos de exigência em metionina na dieta; portanto, diversas pesquisas estimam a exigência em metionina + cistina, considerando-os como um único aminoácido. As exigências em metionina + cistina variaram de 0,90 a 1,46% (Tabela 1), com média de $1,20\% \pm 0,25$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; BOMFIM et al., 2008; NGUYEN E DAVIS, 2009a; NGUYEN E DAVIS, 2009b; LIEBERT, 2009; MICHELATO et al., 2013; XIANG et al., 2014; FIGUEIREDO-SILVA et al., 2015; HE et al., 2017a; HE et al., 2017b).

1.1.7 Treonina

Entre os aminoácidos já mencionados, a treonina é considerada o terceiro aminoácido essencial mais limitante em ingredientes proteicos de origem vegetal (BODIN et al., 2008). Além de seu papel na síntese proteica, a treonina atua como precursor para a síntese de outros aminoácidos como serina e glicina (LEMME, 2003). Grande parte da perda endógena de treonina está relacionada à produção de muco pelos peixes (FULLER, 1994), que é intensificada na presença de agentes estressores no manejo ou devido à exposição a algum composto na água, como metais pesados e amônia, por exemplo (EDDY E FRASER, 1982). Além disso, a treonina é abundante nas imunoglobulinas (anticorpos) que influenciam no equilíbrio do sistema imunológico. A exigência em treonina para a tilápia-do-nilo variou de 0,75 a 1,72% (Tabela 1), sendo a média entre eles de $1,18\% \pm 0,32$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; LIEBERT, 2009; YUE et al., 2014; ZHOU et al., 2014; MICHELATO et al., 2016b).

1.1.8 Triptofano

O triptofano é um aminoácido de extrema importância na criação de peixes, pois atua como precursor na síntese de serotonina (5-hydroxytryptamine) (LE FLOC'H, OTTEN, & MERLOT, 2011; BASIC et al., 2013; MARTINS et al., 2013). Alguns estudos relatam que níveis de triptofano na dieta podem modular o comportamento agonístico e os níveis de cortisol provocados por agentes estressores presentes na criação (TEJPAL et al., 2009; HOSEINI; HOSSEINI, 2010; COSTAS et al., 2012; AKHTAR et al., 2012; KUMAR et al., 2014; ZAMINHAN et al., 2017). Além de promover a síntese proteica, o triptofano tem ação reguladora no consumo de dieta e nas respostas imunes (WEN et al., 2014). Quando deficiente na dieta pode promover escoliose e distúrbios no metabolismo mineral, como relatado em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), salmão-vermelho (*Oncorhynchus nerka*) e salmão Chum (*Oncorhynchus keta*) (AKIYAMA et al., 1986; HALVER E SHANKS, 1960; WALTON et al., 1984). Nos estudos que visaram estabelecer as exigências em triptofano para a tilápia-do-nilo, os valores variaram de 0,27 a 0,38 % (Tabela 1), sendo que a média ficou em $0,31\% \pm 0,04$ (SANTIAGO E LOVELL, 1988; ZAMINHAN et al., 2017; WU et al., 2018; NGUYEN et al., 2019; PRABU et al., 2020).

É notável a variação entre as exigências estabelecidas nos ensaios de dose-resposta. Diversas variáveis como composição das dietas, presença de fatores antinutricionais, condições ambientais, melhoramento genético, manejo alimentar, lotes de peixes e métodos estatísticos podem contribuir para essas diferenças (PORTZ et al., 2000). Para a variável estatística, por exemplo, uma série de equações podem ser usadas para ajustar a resposta de uma determinada

ingestão de nutriente, como a polinomial quadrática, regressão segmentada linear, regressão segmentada quadrática e a exponencial, dificultando a interpretação de qual valor deve ser usado como exigência. Quando avaliamos os dados para os aminoácidos mais estudados, como a lisina, metionina, treonina e triptofano, essas diferenças ficam evidentes. Ao comparar as exigências em treonina, por exemplo, observamos que os níveis propostos por Santiago e Lovell (1988) e Liebert (2007b) são inferiores aos estudos de Yeu et al. (2014), Zhou et al. (2014) e Michelato et al. (2016b). Os últimos autores utilizaram o modelo polinomial quadrático como critério avaliador das respostas, o qual, em alguns casos, superestima a exigência do nutriente teste. Vale ressaltar que não existe o modelo perfeito, mas sim o que melhor se adequa aos dados analisados, ou seja, aquele que possibilite o menor erro na avaliação estatística.

Tabela 1 – Tabela de exigências em aminoácidos essenciais para a tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*.

Aminoácido	Peso inicial, g	Peso final, g	Dias	Modelo	Variável resposta	Exigência (%)	Referência
Arginina	0,02	1,02	56	Broken line	GP ¹	1,18*	Santiago e Lovell, 1988
	4,30	51,30	60	Quadrático	GP e GN ²	1,67 e 1,68*	Prabu et al., 2021
	2,95	63,00	85	Quadrático	GP	1,36	Neu et al., 2016
	82,00	286,00	60	Quadrático	GP, CA ³ e TEP ⁴	1,51 e 1,58*	Wu et al., 2016
Fenilalanina (Fenil + Tirosina)	0,01	0,97	56	Broken line	GP	1,05 (1,55)*	Santiago e Lovell, 1988
	1,65	8,62	56	Quadrático	GP	1,21 (2,10)*	Zehra e Yousif, 2021
	5,59	39,18	56	Broken line	ERP ⁵ e CCT ⁶	0,88*	Xiao et al., 2019
Histidina	0,05	0,92	56	Broken line	GP	0,48*	Santiago e Lovell, 1988
	63,78	177,32	65	Quadrático	GP	0,81*	Zaminhan-Hassemer et al., 2020
	4,84	50,23	100	Quadrático	GP	0,82*	Michelato et al., 2017
	0,05	1,70	56	Broken line	GP	0,87	Santiago e Lovell, 1988
Isoleucina	2,41	48,97	56	Broken line	GP	1,37*	Araújo et al., 2021
Leucina	0,05	1,70	56	Broken line	GP	0,95*	Santiago e Lovell, 1988
	0,65	6,48	84	Quadrático	GP e PG ⁷	1,56 e 1,61*	Zehra e Khan, 2017
	56,60	208,60	56	Quadrático	GP e CA	0,23*	Yaqing et al., 2014
	1,94	21,00	56	Quadrático	GP	1,25*	Gan et al., 2016
Lisina	0,04	1,35	56	Broken line	GP ¹	1,43*	Santiago e Lovell, 1988
	0,98	10,00	32	Broken line	GP	2,32	Takishita et al., 2009
	1,12	15,34	30	Linear	GP / CA	1,80	Bomfim et al., 2010
	1,44	5,78	45	Quadrático	GP	1,56 ^d	Furuya et al., 2012
	12,00	50,00	56	Não linear	GN ³	1,63 e 2,09*	Liebert, 2009
	87,00	226,00	45	Broken line	GP	1,31 ^d	Furuya et al., 2013
	275,00	571,00	40	Quadrático	RF ⁸	1,46*	Michelato et al., 2016a
	5,22	58,50	56	BL e Quadrático	GP e GN	1,8; 1,83; 1,93 e 1,95*	Prabu et al., 2019

Tabela 1 – continuação.

Aminoácido	Peso inicial, g	Peso final, g	Dias	Modelo	Variável resposta	Exigência (%)	Referência
Metionina	0,06	1,24	56	Broken line	GP	0,75 (0,90)*	Santiago e Lovell, 1988
	0,86	15,93	40	Médias	GP	0,90 ^d	Bonfim et al., 2008
	2,32	8,33	56	Broken line	GP	0,85	Nguyen & Davis 2009
	1,70	71,00	70	Quadrático	GP	1,57*	Figueiredo-Silva et al., 2015
	2,30	17,92	56	Quadrático	GP	0,91 (0,99)*	He et al., 2017a
	5,62	44,12	56	Broken line	GP	0,49	Nguyen & Davis 2009
	8,95	90,00	56	Quadrático	GP	0,99 (1,46)*	He et al., 2017b
	12,00	50,00	56	Não linear	GN	0,73 e 0,94	Liebert, 2009
	68,00	312,00	60	Quadrático	GP	1,13 (1,43)	Xiang et al., 2014
	563,40	719,70	30	Broken line	GP e RF	0,90 e 0,99 ^d	Michelato et al., 2013
Treonina	0,05	1,30	56	Broken line	GP	0,75*	Santiago e Lovell, 1988
	12,00	50,00	56	Não linear	GN	0,83 e 1,05*	Liebert, 2009
	2,97	22,40	56	Quadrático	GP	1,33*	Yue et al., 2014
	67,08	216,00	60	Quadrático	GP, CA, TEP	1,72 e 1,62*	Zhou et al., 2014
	563,00	829,00	28	Quadrático	GP	1,20*	Michelato et al., 2016b
Triptofano	0,06	1,35	56	Broken line	GP	0,28*	Santiago e Lovell, 1988
	1,41	22,80	56	Quadrático	GP	0,28*	Wu et al., 2018
	5,40	50,90	60	Quadrático	GP e GN	0,38*	Prabu et al., 2020
	38,20	132,60	60	Quadrático	GP	0,34*	Zaminhan et al., 2018
	7,40	78,04	56	Broken line	GP, DT ⁹ , EA ¹⁰ , ERP	0,31; 0,33; 0,25 e 0,27	Nguyen et al., 2019
Valina	0,09	1,40	56	Broken line	GP	0,78	Santiago e Lovell, 1988
	6,49	47,10	56	Broken line	GP e ERP	1,15 e 1,27*	Xiao et al., 2017

¹Ganho em peso; ²Ganho em nitrogênio; ³Conversão alimentar; ⁴Taxa de eficiência proteica; ⁵Eficiência de retenção proteica; ⁶Coefficiente de crescimento térmico; ⁷Ganho em proteína; ⁸Rendimento de file; ⁹Deposição de triptofano; ¹⁰Eficiência alimentar; ^aNível digestível; ^bNível expresso em matéria seca.

1.2 IMPORTÂNCIA DO BALANÇO ENTRE AMINOÁCIDOS NA DIETA

Com a finalidade de fornecer o balanceamento adequado de aminoácidos na dieta, o conceito de proteína ideal, baseado na analogia do barril proposto por von Liebig, em meados de 1840, e adaptado posteriormente por Mitchell e Scott, em 1950, tem sido aplicado em diversos estudos (NRC 2011). O conceito de proteína ideal é definido como o equilíbrio ideal entre os aminoácidos na dieta, cuja finalidade é atender à exigência nutricional da espécie para satisfazer às necessidades de manutenção e crescimento (FURUYA et al., 2005). O método se baseia na premissa que as relações entre a lisina e os demais aminoácidos essenciais praticamente não mudam na dieta, mesmo com a influência de alguns elementos que podem modificar a exigência nos aminoácidos, tais como fatores ambientais e genéticos (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Deste modo, é possível determinar a proporção dos aminoácidos essenciais a partir de um aminoácido referência, a lisina possui um papel importante na síntese proteica e na interação metabólica com outros aminoácidos (BALL et al., 2007). Além disso, a lisina é facilmente encontrada na sua forma sintética e possui um custo de aquisição relativamente baixo, além de dispor de numerosas informações a respeito de sua exigência para diversas espécies. Com a aplicação do método é possível fornecer proporções adequadas de aminoácidos cristalinos na dieta, o que permite obter dietas com níveis mais baixos de proteína (FURUYA et al., 2005).

No entanto, o perfil ideal entre os aminoácidos essenciais pode também ser determinado experimentalmente utilizando-se o método de deleção, que foi utilizado inicialmente em suínos, mas tem sido aplicado em várias espécies de peixes, incluindo salmonídeos (GREEN E HARDY, 2002; ROLLIN et al., 2003), juvenis de dourada *Sparus aurata* (PERES E OLIVA-TELES, 2009), juvenis de pargo prateado-preto, *Sparidentex hasta* (MARAMMAZI et al., 2017) e tilápia-do-nilo (DIÓGENES et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2020; RODRIGUES et al., 2021). No método de deleção, é necessário um único experimento para estabelecer a relação entre os dez aminoácidos essenciais. A vantagem de realizar apenas um ensaio experimental, retira as possíveis influências nos resultados ocasionados pela alteração na composição das dietas basais, condições ambientais, características genéticas diversificadas, idade, parâmetros físico-químicos da água, taxa de alimentação, tamanho e variedade dos lotes (BOISEN; HVELPLUND; WEISBJERG, 2000; GREEN; HARDY, 2002; ROLLIN et al., 2003).

O método da deleção se baseia na premissa que a redução de um aminoácido limitante na dieta tem influência na retenção de nitrogênio corporal. A redução do aminoácido limitante deverá ser o suficiente para que o animal apresente uma resposta significativa entre a retenção

de nitrogênio da dieta limitante, com a retenção de nitrogênio da dieta basal (ROLLIN et al., 2003; PERES; OLIVA-TELES, 2009; DORIGAM et al., 2016). Quando o aminoácido da dieta teste não se encontra limitante, isso impossibilita a estimativa do perfil aminoácidos essenciais (WANG; FULLER, 1989). A equação do método de deleção se baseia no modelo da regressão segmentada linear (ROLLIN et al. 2003), conforme a seguir:

$$\text{Exigência} = (AAE)_{DC} \times (2 - DEL - (DN_{AAE} / DN_{DC}))$$

No qual $(AAE)_{DC}$ é a concentração do aminoácido essencial na dieta controle (g kg^{-1}), DEL é o nível de deleção (%), DN_{AAE} é a deposição de N (mg N^{-1} peso corporal kg^{-1} dia) que corresponde aos peixes que receberam a dieta com o AAE testado e DN_{DC} é a deposição de N (mg N/ peso corporal kg/ dia) que se refere aos peixes que receberam a dieta controle (DC).

A relação entre os AAE's é obtida pela divisão entre os níveis estimados para cada AAE em relação ao nível de lisina (GREEN; HARDY, 2002; ROLLIN et al., 2003). É importante ressaltar que os níveis estimados pelo método da deleção não são adequados para fazer recomendações para a inclusão de níveis nutricionais na dieta, pois a proposta do estudo é estimar a relação ideal entre aminoácidos. O recomendado é que a exigência em cada aminoácido seja estimada individualmente no ensaio de dose-resposta.

Na Tabela 2, constam três estudos que utilizaram o método da deleção, os quais estabeleceram o perfil balanceado de aminoácidos para três fases de desenvolvimento da tilápia-do-nilo. Tal método torna-se uma ferramenta extremamente importante para refinar os dados já existentes na literatura. Por este motivo, destaca-se a importância de realizar experimentos pelo método de dose-resposta para estimar a exigência dos principais aminoácidos como lisina, metionina, treonina e triptofano. A falta de informações sobre as exigências em aminoácidos pela espécie eleita no ensaio de deleção pode causar um erro na metodologia, pois o aminoácido avaliado é deletado ou retirado da dieta em torno de 45% do nível de inclusão proposto da dieta basal. Caso um determinado aminoácido apresente-se em excesso na dieta, quando deletado, ele não irá apresentar respostas na retenção de nitrogênio. Portanto, é imprescindível o conhecimento prévio das demandas nutricionais da espécie.

Tabela 2 – Perfis ideais em aminoácidos estimados pela técnica da deleção para três faixas de peso de tilápia-do-nilo.

Aminoácidos essenciais	DIÓGENES et al., 2016	NASCIMENTO et al., 2020	RODRIGUES et al., 2021
	20 a 50 g	158 a 250 g	620 a 710 g
Lisina	100	100	100
Metionina	64	41	41
Treonina	93	103	89
Triptofano	24	15	23
Arginina	125	86	81
Fenilalanina	101	64	70
Histidina	34	30	34
Isoleucina	57	56	51
Leucina	96	84	66
Valina	76	60	73

Vale destacar que o foco dos estudos sobre exigências em aminoácidos está estritamente concentrado aos aminoácidos essenciais, cujo propósito é maximizar o crescimento e diminuir a excreção de compostos nitrogenados. No entanto, pouco se fala a respeito dos aminoácidos não essenciais, aqueles que são sintetizados pelo organismo, mas que devem ser levados em consideração na dieta (BOISEN et al., 2000; HEGER, 2003). Quando se considera apenas os AAE's como a principal fonte de nitrogênio na dieta, alguns estudos relataram uma perda do desempenho em crescimento. Por outro lado, quando se leva em consideração o balanço adequado entre os AAE e AANE, espera-se um maior crescimento (ALLEN E BAKER, 1994; MAMBRINI E KAUSHIK, 1994; SCHUHMACHER et al., 1995; HEGER et al., 1998).

Mesmo sabendo-se da importância do balanceamento entre os AAE's e AANE's, poucos estudos foram realizados em peixes. Green et al. (2002) relataram que a relação ideal entre AAE's/AANE's para a truta arco-íris é de 57/43 e Peres e Oliva-Teles (2006), de 50/50, para o máximo crescimento e de 60/40, para melhor aproveitamento na deposição de proteína para o robalo Europeu. Para outras espécies como frangos foi estimada a relação de 55/45 (BEDFORD E SUMMERS, 1985). Já para ratos a relação prevista é de 50/50 (YOUNG E ZAMORA, 1968), enquanto para suínos a mesma é de 45/55 e 61/39 (WANG E FULLER, 1989; LENIS et al., 1996). Apesar da importância mundial da tilápia-do-nilo na cadeia produtiva, não há informações a respeito da relação ideal entre AAE's e AANE's para a espécie. Entender a relação ideal entre esses nutrientes na dieta poderia colaborar para o ganho em performance nas criações de tilápia, sendo de grande relevância a obtenção desses valores em futuros estudos.

Quando a qualidade da proteína é avaliada, alguns aspectos precisam ser levados em consideração, como a digestibilidade e o balanço dos aminoácidos na dieta (NG & ROMANO, 2013). Rações com o mesmo nível de proteína podem gerar respostas distintas, caso haja diferenças na digestibilidade e no balanço entre os aminoácidos. No estudo de Silva e Massago (2019), os autores avaliaram diferentes rações comerciais com níveis similares de proteína bruta (32,7 a 33,9%) para a tilápia-do-nilo. Apesar dos níveis proteicos próximos, foi notável a diferença na relação entre a lisina e os demais aminoácidos essenciais nas dietas avaliadas, sendo que a maior parte destas eram deficientes em triptofano. Deste modo, foram observadas diferentes respostas no crescimento e na conversão alimentar. Outro ponto considerado no estudo foi a excreção de nitrogênio, que variou de 51,6 a 69,8 g kg⁻¹ de peixe produzido.

O desbalanço no perfil de aminoácidos provocado pelo excesso ou deficiência de algum aminoácido pode acarretar diversos prejuízos ao produtor, seja no crescimento, como na maior excreção de compostos nitrogenados para o meio aquático (DAUDA et al., 2019). O alto aporte de compostos nitrogenados pode provocar grandes impactos à vida aquática, afetando toda a cadeia alimentar, uma vez que a amônia em níveis elevados pode ser tóxica para diversas espécies (DVORAK, 2004). Além disso, considerando-se que a proteína é um dos nutrientes que mais encarecem o custo da dieta, é necessário que este nutriente seja utilizado o mais eficientemente possível para o crescimento. Portanto, o balanço entre os aminoácidos na dieta é muito importante e deve ser considerado na formulação de rações. Dessa forma, o aumento do teor de um aminoácido para atendimento de uma exigência deve respeitar o balanço geral dos demais aminoácidos. Ou seja, o acréscimo de um aminoácido em específico na ração deve ser obrigatoriamente acompanhado pelo aumento proporcional nas inclusões dos outros aminoácidos. O nível do aminoácido na dieta está relacionado ao volume de dieta que o peixe é capaz de ingerir para atender suas necessidades diárias.

1.3 IMPORTÂNCIA DA DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ALIMENTAR EM ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DA EXIGÊNCIA EM AMINOÁCIDOS

Como já informado, há uma grande variação nas exigências relatadas nos ensaios de dose resposta com aminoácidos essenciais. Além disso, as informações geradas por esses estudos geralmente estão expressas em porcentagem ou em g kg⁻¹ da dieta. No entanto, quando a exigência do nutriente é expressa nessas unidades, os dados não consideram o consumo de ração. Este é um desafio, pois quando a exigência em aminoácidos é expressa em porcentagem, o consumo pode mudar por diferentes fatores, como a linhagem utilizada, as condições ambientais ou a concentração do nutriente limitante na dieta (EMMANS, 1987). Desse modo,

qualquer fator que afete o consumo pode subestimar ou superestimar os níveis estabelecidos. Por outro lado, quando o consumo de ração é considerado na estimativa da exigência nutricional, o dado obtido deverá ser expresso em mg g^{-1} de ganho de peso⁻¹. Em humanos, por exemplo, a exigência de lisina em adultos é 10 mg kg^{-1} de peso (FAO, 2013), ou seja, um adulto de 70 kg precisaria ingerir 0,7 g de lisina dia⁻¹.

Com os dados de exigência expressos em mg g^{-1} de ganho de peso⁻¹, em conjunto com uma curva de crescimento, é possível quantificar as necessidades diárias que o animal precisaria ingerir do nutriente para expressar o seu máximo potencial de crescimento. Além disso, ao inserir estes conceitos no processo de formulação das dietas, seria possível elaborar programas de alimentação específicos para cada linhagem, condições ambientais e fases de crescimento. No entanto, para que esse processo se desenvolva, faz-se necessário entender a fundo o consumo de ração em peixes, pois trata-se de uma ferramenta primordial para tornar o processo de formulação mais dinâmico e preciso. Entre os vários fatores que podem afetar o consumo de ração, destaca-se as condições ambientais (vento, luz e chuva) que podem afetar os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, oxigênio dissolvido, transparência, pH, entre outros); e os fatores bióticos (fitoplâncton, zooplâncton, competição entre indivíduos, patógenos, densidade e hierarquia). Além desses fatores, a duração do arraçoamento e o horário (período do dia) que a dieta é ofertada aos peixes é algo que precisa de atenção. A duração do fornecimento da dieta pode não atingir o pico máximo de estímulo ao apetite, e levar a um baixo crescimento e desperdício da dieta (BOLLIET et al., 2001).

1.4 COEFICIENTES DE CRESCIMENTO PARA PREDIÇÃO DA EXIGÊNCIA EM AMINOÁCIDOS DIETÉTICOS

Coeficientes de crescimento são comumente utilizados na avaliação de ensaios experimentais e podem servir de ferramenta para a predição do crescimento dos peixes. Dentre eles, podemos citar o crescimento linear, coeficiente de crescimento diário, taxa de crescimento específico e o coeficiente de crescimento térmico.

1.4.1 Crescimento linear

O crescimento linear seria o que menos retrata o crescimento dos peixes, pois a equação se baseia apenas na razão ganho em peso (peso final – peso inicial), dividido pelo número de dias do experimento ou de criação.

$$\text{Crescimento linear} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Dias}}$$

O crescimento linear não reflete a real trajetória de crescimento do animal, e acaba superestimando o ganho diário, principalmente nas fases mais jovens.

1.4.2 Taxa de crescimento específico

É o modelo mais utilizado nas avaliações dos ensaios de crescimento. A taxa de crescimento específico (TCE) surgiu para solucionar os problemas encontrados no crescimento linear (DUMAS et al., 2010). Os modelos como o crescimento linear, acabam sendo restritos ao intervalo avaliado e não podem ser extrapolados para outros períodos (HOPKINS, 1992). Já o TCE transforma a unidade de peso em um logaritmo natural ou neperiano, reduzindo a taxa intrínseca de crescimento (RICKER, 1979). A fórmula do TCE é dada como:

$$TCE = \frac{\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial}}{\text{Dias}} \times 100$$

1.4.3 Coeficiente de crescimento diário

Este modelo é pouco utilizado, mas segue os mesmos inputs do TCE dentro da equação. A única diferença entre o coeficiente de crescimento diário (CCD) e o TCE, é que o primeiro leva em consideração o peso elevado a um expoente de crescimento 0,333, o qual é utilizado para ajustar a curva de crescimento. A fórmula do CCD é dada como:

$$CCD = \frac{\text{Peso final}^{0,333} - \text{Peso inicial}^{0,333}}{\text{Dias}} \times 100$$

1.4.4 Coeficiente de crescimento térmico

O coeficiente de crescimento térmico (CCT) foi desenvolvido com a necessidade de considerar fatores que podem afetar o metabolismo e o crescimento dos peixes, como a temperatura. O conceito de unidade térmica para estimar crescimento foi aplicado primeiramente por Iwana e Tautz (1981) e posteriormente Cho (1992) introduziu este conceito em seu modelo, propondo a seguinte equação:

$$CCT = \frac{Peso\ final^{(1-b)} - Peso\ inicial^{(1-b)}}{\sum temperatura * dias} \times 100$$

Sendo, (1- b) o expoente do peso corporal, no qual se assemelha do CCD. No entanto, o coeficiente “b” do expoente é um coeficiente alométrico que está relacionado com a relação peso x comprimento. Esta relação muda conforme o peixe cresce, sendo necessário fazer ajustes neste coeficiente para melhor ajustar a curva de crescimento.

O uso do coeficiente de crescimento térmico para prever a curva de crescimento da tilápia-do-nilo, em conjunto com dados de consumo de dieta e exigência em aminoácidos (mg g de ganho de peso), pode auxiliar no desenvolvimento de programas de alimentação para a espécie. Deste modo, torna-se imprescindível conhecer o potencial máximo de crescimento da espécie e a sua capacidade de modular o consumo de alimento para a elaboração dos modelos de predição.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

Desenvolver técnicas de formulação de rações e de programa alimentar baseados no balanceamento do perfil de aminoácidos essenciais para a tilápia-do-nilo.

1.5.2 Objetivos específicos

Possibilitar, por meio do balanceamento do perfil de aminoácidos essenciais, a redução do teor de proteína na ração sem comprometer o desempenho zootécnicos de juvenis de tilápia-do-nilo;

Avaliar as respostas dos índices zootécnicos e de excreção nitrogenada em juvenis de tilápia-do-nilo, submetidos a rações contendo diferentes níveis de proteína e de balanços nos perfis de aminoácidos;

Estimar as exigências e níveis de inclusão em aminoácidos essenciais em mg g⁻¹ de ganho em peso para a tilápia-do-nilo para os diferentes estágios de desenvolvimento;

Predizer o crescimento e o consumo alimentar diário por meio de modelos matemáticos para a tilápia-do-nilo nas diferentes faixas de temperatura e estágios de desenvolvimento;

2. CAPÍTULO I: ESTRATÉGIA DE FORMULAÇÃO PARA MANTER O EQUILÍBRIO DE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS NA DIETA PARA JUVENIS DE TILÁPIA-DO-NILO

Rafael de Souza Romaneli^a, Maria Fernanda Oliveira da Silva^a, Karthik Masagounder^b, João Batista Kochenborger Fernandes^c, Débora Machado Fracalossi^{a*}

^aDepartamento de aquicultura, Centro de ciências agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil

^bEvonik Operations GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany

^cCentro de Aquicultura, Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Jaboticabal, SP, Brazil

*Autor por correspondência: Débora Machado Fracalossi, debora.fracalossi@ufsc.br

RESUMO

O uso de dietas com altos níveis de proteína, mas com perfis desequilibrados de aminoácidos (AA) pode levar a uma má utilização deste AA, aumentando a excreção de compostos nitrogenados e os custos da alimentação. Nosso estudo teve como objetivo desenvolver uma estratégia de formulação para manter um equilíbrio adequado entre os aminoácidos essenciais em juvenis de tilápia-do-nilo, reduzindo os níveis de proteína na dieta e a excreção de compostos nitrogenados sem comprometer o crescimento. Neste estudo, peixes com peso médio inicial de $6,75 \pm 0,07$ g foram alimentados com quatro dietas isoenergéticas, e com concentrações variadas de proteína. As dietas 32HighLys e 32LowLys continham 321 g kg^{-1} na base seca, enquanto as dietas 29BAL e 22BAL continham 292 e 222 g kg^{-1} na base seca, respectivamente. O crescimento dos peixes alimentados com a dieta 29BAL não foi comprometido apesar de seu menor teor de proteína na dieta; o ganho de peso e o coeficiente de crescimento térmico foram semelhantes aos alimentados com as dietas 32HighLys e 32LowLys. No entanto, o ganho de proteína nos peixes alimentados com a dieta 32HighLys foi significativamente maior do que nos peixes alimentados com as outras dietas. A diminuição do teor de proteína dietética resultou em menor excreção de resíduos nitrogenados, sendo $37,21 \pm 0,74$ (29BAL) e $23,59 \pm 0,88$ (22BAL) g N kg^{-1} de peixe⁻¹ produzido. Portanto, a estratégia de formulação aplicada que visa o balanço no perfil de aminoácidos essenciais em uma dieta com menor teor proteico, de 320 g kg^{-1} (32HighLys e 32LowLys) para 290 g kg^{-1} (29BAL), não comprometeu o crescimento dos peixes, e diminuiu a excreção de resíduos nitrogenados.

Palavras-chave: aminoácidos, dietas ecológicas, excreção de nitrogênio, formulação de ração.

2.1. INTRODUÇÃO

A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma das espécies mais importantes para a aquicultura global (FAO, 2022) devido ao seu rápido crescimento, resistência a doenças (XIAO et al., 2017) e tolerância a diferentes condições ambientais (MICHELATO et al., 2016). No entanto, para o sucesso da criação de tilápias, as dietas devem atender às exigências nutricionais dos peixes para que eles atinjam seu máximo potencial de crescimento (GHOMI et al., 2012).

A proteína é o nutriente mais caro nas formulações das dietas (BALLESTER-MOLTÓ et al., 2017), e seu nível de inclusão depende do perfil de aminoácidos e da digestibilidade, bem como do tamanho do peixe (NG E ROMANO, 2013). Dietas com excesso ou má qualidade de proteína, baixa digestibilidade e um perfil de aminoácidos desequilibrado podem promover a desaminação de aminoácidos, resultando na excreção de resíduos nitrogenados no ambiente (BUREAU et al., 2002), o que pode impactar negativamente os ecossistemas aquáticos através da eutrofização (PERES E OLIVA-TELES, 2001). No entanto, o aumento da utilização de proteína na dieta e o desenvolvimento de estratégias de formulação de rações para melhorar a retenção de proteína podem tornar a piscicultura mais lucrativa e sustentável (CHO E BUREAU, 2001). Por esse motivo, vários estudos têm se concentrado em investigar níveis adequados de proteína para otimizar o crescimento da tilápia-do-nilo e reduzir os custos da dieta e da excreção de nitrogênio na água. O nível ótimo de inclusão dietética de proteína bruta para alevinos de tilápia-do-nilo (0,45 - 10 g peso vivo) é de 45%, enquanto é de 35% para juvenis (17 - 65 g) (ABDEL-TAWWAB et al., 2010). Em um estudo recente, Teodósio et al. (2020) demonstraram que níveis mais baixos de proteína bruta (30%) podem ser fornecidos a juvenis de tilápia (5,9 – 31 g) sem comprometer o crescimento. Na fase de crescimento, o nível ótimo de inclusão de proteína bruta foi de 26,3% (62 - 221 g) quando os peixes foram criados em tanques de concreto de 4 m³ (EL-SAIDY E GABER, 2005) e 27% de proteína digestível (29,1% de proteína bruta) quando a tilápia (34 - 273 g) foram criados em tanques-rede (BOTARO et al., 2007).

Os peixes não têm uma exigência especificamente em proteína, mas sim em quantidades balanceadas em aminoácidos para garantir o melhor desempenho de crescimento (WILSON E POE, 1985; WILSON, 2002; WEBSTER E LIM, 2002). No entanto, é difícil alcançar um perfil equilibrado de aminoácidos com ingredientes convencionais. Aminoácidos cristalinos são frequentemente adicionados para atingir os perfis de aminoácidos exigidos pelos peixes; consequentemente, isso contribui para uma redução dos níveis de proteína dietética

(GAN et al., 2012; GAYLORD E BARROWS, 2009). As exigências em aminoácidos, como lisina, metionina, treonina e triptofano, que muitas vezes são limitados em ingredientes convencionais, são facilmente atendidos com fontes cristalinas. Em contraste, os demais aminoácidos essenciais (AAEs) geralmente acabam em excesso em dietas comerciais, bem como em dietas experimentais em estudos projetados para estimar os níveis ideais de proteína. Ao aumentar a concentração de proteína dietética em dietas experimentais, os AAEs que não eram deficientes nos ingredientes utilizados, podem exceder os níveis recomendados. Com o aumento da concentração da proteína na dieta, esse excesso é exacerbado, comprometendo o equilíbrio do perfil de aminoácidos. Além disso, quando em excesso, alguns aminoácidos podem ter efeitos antagônicos sobre outros, o que pode comprometer o crescimento. Kaushik et al. (1988), em um estudo realizado em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), relataram que um aumento na arginina dietética resultou em aumento da digestibilidade da arginina, mas diminuiu a digestibilidade da lisina, sugerindo que há competição entre esses dois aminoácidos para absorção no intestino. Em outro estudo com a mesma espécie, o excesso de leucina teve efeito antagônico na absorção de isoleucina e valina, reduzindo a concentração desses aminoácidos no plasma sanguíneo e nos tecidos (YAMAMOTO et al., 2004).

Para reduzir os níveis de proteína da dieta e a excreção de resíduos nitrogenados em ambientes aquáticos sem comprometer o desempenho da produção, o presente estudo propôs a aplicação de uma estratégia de formulação que mantenha um perfil de aminoácidos balanceado em dietas com menores níveis de proteína para a tilápia-do-nilo.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de alimentação durou 41 dias e foi conduzido no Laboratório de Biologia e Criação de Peixes de Água Doce do Departamento de Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil. Todos os procedimentos descritos abaixo foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da UFSC através do protocolo nº 9527201021.

2.2.1. Peixes e delineamento experimental

Juvenis de tilápia-do-nilo da linhagem GIFT (Genetically Improved Farmed Tilapia) convertidos sexualmente em machos foram obtidos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, Camboriú, Santa Catarina, Brasil). Antes do

experimento de alimentação, todos os peixes foram aclimatados às condições de laboratório por duas semanas em seis tanques (1.000 L) conectados a um sistema de recirculação de água (RAS) equipado com filtragem biológica e mecânica, suprimento de ar e sistema de aquecimento. A temperatura da água e o fotoperíodo foram fixados em 28 °C e 12h12, respectivamente.

Após o período de adaptação, 400 peixes com peso médio de $6,75 \pm 0,07$ g foram utilizados no experimento de alimentação. Grupos de 20 peixes foram estocados em unidades experimentais de 115 L e receberam aleatoriamente uma das quatro dietas (32HighLys, 32LowLys, 29BAL e 22BAL; Tabela 3) com cinco repetições por dieta, totalizando 20 unidades experimentais. Essas unidades foram conectadas a outro RAS equipado com filtragem biológica e mecânica, suprimento de ar e sistema de aquecimento. A vazão de água de entrada foi de 50 mL s^{-1} por tanque, e o volume total do RAS foi de 25 m^3 . Durante o ensaio de alimentação, a temperatura foi de $27,45 \pm 0,31$ °C, o oxigênio dissolvido foi de $6,29 \pm 0,24 \text{ mg L}^{-1}$ e o pH foi de $7,91 \pm 0,26$. As variáveis de qualidade da água foram mantidas dentro da zona de conforto para a tilápia-do-nilo (WEBSTER E LIM, 2006).

2.2.2. Dietas experimentais e manejo alimentar

Antes do processamento das dietas, todos os ingredientes foram individualmente moídos em moinho de martelos (malha de 1,0 mm) e peneirados manualmente (0,6 mm). Amostras de todas as matérias-primas foram enviadas à Evonik (Guarulhos, SP, Brasil) para análise de aminoácidos. As dietas foram formuladas para serem isoenergéticas e atender às necessidades nutricionais da tilápia-do-nilo (FURUYA, 2010; NRC, 2011), exceto para as exigências de aminoácidos, que seguiram critérios diferentes (Tabela 3 e 4).

Tabela 3. Formulação das dietas experimentais.

Ingredientes, g kg⁻¹	32HighLys⁴	32LowLys⁵	29BAL⁶	22BAL⁷
Milho	349.6	354.3	384.0	453.6
Farelo de soja	290.0	290.0	290.0	290.0
Farelo de trigo	155.0	155.0	160.0	160.0
Farinha de vísceras de aves	135.0	129.5	95.0	0.0
Glúten de milho	30.0	50.0	20.0	0.0
Biolys® (L-Lisina) ²	9.0	0.0	11.8	9.3
Óleo de soja	5.0	5.0	5.9	45.0
Premix mineral e vitamínico ¹	5.0	5.0	5.0	5.0
Cloreto de sódio	5.0	5.0	5.0	5.0
MetAMINO® (DL-Metionina) ²	5.0	1.4	4.1	3.4
ThreAMINO® (L-Treonina) ²	2.9	0.6	5.2	4.1
Fosfato bicálcico	2.7	3.2	8.0	20.5
L-Valina ³	1.5	0.0	0.0	0.0
L-Isoleucina ³	1.3	0.0	1.8	1.2
L-Histidina ³	1.2	0.0	0.4	0.0
L-TrypAMINO® (L-Triptofano) ³	0.7	0.0	0.7	0.4
L-Fenilalanina ³	0.1	0.0	2.1	1.5
BHT	1.0	1.0	1.0	1.0

¹Premix mineral e vitamínico premix (produzida por Rovimix, DSM), composição por kg de produto: ácido fólico 2.666,66 mg, ácido pantotênico 26.666,66 mg, biotina 333,33 mg, niacina 53,33 g, cobre 3.333,33 mg, ferro 20 g, iodato 666,66 mg, manganês 16,6 g, selenito 166,66 mg, vitamina (vit) A 5.333.333,00 UI, vit B1 6.666,66 mg, vit B12 13,33 µg, vit B2 10,00 g, vit B6 10,00 g, vit C 100,00 g, vit D3 1.000.000,00 I, vit6 K3,6 U, vit6 I,6U, vit6 I,6U 3.333,33 mg, zinco 26,66 g.

²Produzido por Evonik Operations GmbH (Hanau, Alemanha).

³Produzido por Ajinomoto (São Paulo, Brasil).

⁴Formulado para atender a recomendação mínima de aminoácidos da Evonik (AMINOTilapia®) com alguns níveis de aminoácidos excedendo a proporção ideal recomendada.

⁵Formulado para atender a recomendação mínima de aminoácidos de Santiago e Lovell (1988), com alguns aminoácidos excedendo a proporção ideal recomendada.

⁶Santiago e Lovell (1988) recomendação de aminoácidos e 292,1 g kg⁻¹ de proteína digestível, balanceados para atender as proporções ideais de aminoácidos.

⁷Santiago e Lovell (1988) recomendação de aminoácidos e 221,6 g kg⁻¹ de proteína digestível, balanceados para atender à exigência ideal de aminoácidos.

A dieta 32HighLys foi formulada seguindo a recomendação de AAE da Evonik (AMINOTilapia®), enquanto a dieta 32LowLys foi formulada para atender a recomendação de aminoácidos de Santiago e Lovell (1988). A dieta 29BAL foi formulada seguindo as proporções mínimas de aminoácidos de Santiago e Lovell (1988), mas combinando o nível de lisina usado na dieta 32HighLys.

Tabela 4. Composição nutricional das dietas experimentais (g kg⁻¹ dieta, matéria seca).

Composição, g kg ⁻¹	32HighLys ¹	32LowLys ²	29BAL ³	22BAL ⁴
Matéria seca	914,3	905,8	898,2	927,3
Proteína bruta	351,9	353,5	320,4	243,5
Proteína digestível (PD)	320,6	320,6	292,1	221,6
Cinza	65,3	63,8	65,0	60,4
Extrato etéreo	58,0	56,3	51,2	83,0
Fibra bruta	35,0	35,3	40,1	34,5
Energia bruta, kcal kg ⁻¹	4.650	4.587	4.553	4.722
Energia digestível (ED), kcal kg ⁻¹	3.750	3.684	3.645	3.748
ED: PD, kcal g ⁻¹ proteína	11,70	11,49	12,48	16,91
<i>Aminoácidos essenciais</i>				
Arginina	19,8	20,3	17,9	13,9
Fenilalanina	13,8	14,4	14,5	11,3
Tirosina*	12,2	12,7	11,0	8,1
Histidina	8,2	7,6	7,0	5,4
Isoleucina	13,0	12,3	12,5	9,6
Leucina	23,8	25,8	21,2	16,4
Lisina	20,9	16,1	20,7	15,9
Metionina	9,8	6,6	8,3	6,4
Cistina*	4,0	4,3	3,9	3,1
Treonina	13,6	11,7	14,8	11,4
Triptofano	4,3	3,5	4,0	3,0
Valina	14,5	13,5	11,8	9,1
<i>Aminoácidos não essenciais</i>				
Alanina	18,5	19,7	16,2	11,2
Ácido aspártico	30,5	31,5	27,7	22,3
Ácido glutâmico	55,1	58,2	50,1	40,4
Glicina	18,8	19,0	16,1	9,8
Prolina	19,5	21,2	17,9	13,3
Serina	15,1	16,0	13,6	11,0

Coeficientes de digestibilidade dos ingredientes: **milho** (proteína 79%; energia 77%; lisina 77%, metionina 86%; treonina 71%; arginina 74%; isoleucina 81%; leucina 90%; valina 81%; histidina 91%; fenilalanina 75%; triptofano 86%), **farelo de soja** (proteína 94%; energia 85%; lisina 94%; metionina 93%; treonina 92%; arginina 95%; isoleucina 87,5%; leucina 92%; valina 90%; histidina 95%; fenilalanina 93%; triptofano 97%), **farelo de trigo** (proteína 73%; energia 55%; lisina 73%; metionina 60%; treonina 69%; arginina 83%; isoleucina 76%; leucina 78%; valina 70%; histidina 77%; fenilalanina 72%; triptofano 83%), **farinha de vísceras de aves** (proteína 90%; energia 89%; lisina 94%; metionina 90%; treonina 85%; arginina 90%; isoleucina 83%; leucina 83%; valina 77%; histidina 92%; fenilalanina 89%; triptofano 93%), **glúten de milho** (proteína 91%; energia 88%; lisina 92%; metionina 95%; treonina 89%; arginina 93%; isoleucina 90%; leucina 91%; valina 89%; histidina 93%; fenilalanina 92%; triptofano 93%), **óleo de soja** (energia 89,9%).

¹ Formulado para atender a recomendação mínima de aminoácidos da Evonik (AMINOTilapia®) com alguns níveis de aminoácidos excedendo as proporções ideais recomendadas.

² Formulado para atender a recomendação mínima de aminoácidos de Santiago e Lovell (1988), com alguns aminoácidos excedendo a proporção ideal recomendada.

³ Santiago e Lovell (1988) recomendação de aminoácidos e 292,1 g kg⁻¹ de proteína digestível, balanceados para atender as proporções ideais de aminoácidos.

⁴ Santiago e Lovell (1988) recomendação de aminoácidos e 221,6 g kg⁻¹ de proteína digestível, balanceados para atender as proporções ideais de aminoácidos.

* Condicionalmente essencial.

A seguinte estratégia de formulação foi adotada: uma dieta basal (22BAL) foi formulada para atender as exigências de aminoácidos estimadas por Santiago e Lovell (1988) sem considerar o conteúdo de proteína digestível da dieta. O nível de proteína digestível dessa dieta foi de 221,6 g kg⁻¹ com base na matéria seca (195,0 g kg⁻¹ com base na alimentação). Essa dieta atendeu exatamente às proporções ideais determinadas por Santiago e Lovell (1988), excluindo a leucina, que era superior à proporção recomendada para a Lys (103 vs. 66 %). O conteúdo de aminoácidos da dieta 29BAL foi calculado pela regra de três usando a seguinte equação:

$$(1) \text{ Nível do aminoácido (\%)} = (\text{proteína desejada} \times \text{nível do aminoácido na dieta 22BAL}) / \text{nível de proteína digestível da dieta 22BAL}$$

O nível de proteína desejada para a dieta 29BAL foi baseado na quantidade necessária para atingir o mesmo nível de lisina da dieta 32HighLys, com um ajuste final na relação entre os aminoácidos com a lisina. Assim, a proporção de AAEs foi constante entre as dietas 29BAL e 22BAL (Tabela 5). As rações foram formuladas com base nos coeficientes de digestibilidade de energia, proteína e aminoácidos relatados nas Tabelas Brasileiras de Nutrição de Tilápia (2010) e no banco de dados fornecido pela Evonik Operations GmbH (Hanau, Alemanha).

As dietas experimentais foram extrusadas em extrusora monorosca (modelo MX-40; Inbramaq, Ribeirão Preto, Brasil). Após a extrusão, os pellets (2-3 mm) foram secos em estufa com circulação ar forçada a 55°C, e posteriormente embalados e armazenados em câmara fria.

Durante o experimento de alimentação, os peixes foram alimentados com as dietas experimentais duas vezes ao dia até aparente saciedade, e a quantidade de ração fornecida a cada tanque foi registrada diariamente.

Tabela 5. Relação de aminoácidos com base no nível de lisina das dietas experimentais.

Aminoácidos, %	32HighLys ¹	32LowLys ²	29BAL ³	22BAL ⁴	SL ⁵	Evonik ⁶
Arginina	95	126	86	86	82	91
Fenilalanina	65	90	70	70	73	66
Histidina	41	48	35	34	34	41
Isoleucina	63	76	61	61	61	63
Leucina	114	161	103	103	66	84
Lisina	100	100	100	100	100	100
Metionina	47	42	42	42	52	42
Met+Cis	66	68	59	60	63	69
Treonina	66	73	73	74	73	66
Triptofano	20	22	19	19	20	21
Valina	70	85	57	57	55	70

¹ Formulado para atender a recomendação mínima de aminoácidos da Evonik (AMINOTilapia®) com alguns níveis de aminoácidos excedendo as proporções ideais recomendadas.

² Formulado para atender a recomendação mínima de aminoácidos de Santiago e Lovell (1988), com alguns aminoácidos excedendo a proporção ideal recomendada.

³ Santiago e Lovell (1988) recomendação de aminoácidos e 292,1 g kg⁻¹ de proteína digestível, balanceados para atender as proporções ideais de aminoácidos.

⁴ Santiago e Lovell (1988) recomendação de aminoácidos e 221,6 g kg⁻¹ de proteína digestível, balanceados para atender as proporções ideais de aminoácidos.

⁵ Relação de aminoácidos de Santiago e Lovell (1988), baseado no nível de lisina.

⁶ Relação de aminoácidos da Evonik, baseado no nível de lisina (AMINOTilapia®).

2.2.3. Variáveis mensuradas, coleta de amostras e análises laboratoriais

No início da alimentação, todos os peixes foram pesados e separados individualmente, mantendo-se um coeficiente de variação de 5% dentro de cada unidade experimental e entre todos os tratamentos. Ao final do ensaio de alimentação, todos os peixes foram novamente pesados individualmente, e o peso médio, o consumo de ração e o número de peixes foram usados para calcular as seguintes variáveis:

- (2) Ganho de peso (g) = Peso final – peso inicial
- (3) conversão alimentar (g g⁻¹) = consumo de ração / ganho de peso
- (4) Coeficiente de crescimento térmico (%) = [(peso final ^(0.3333) – peso inicial ^(0.3333)) / (temperatura média × dias)] × 100.
- (5) Taxa de sobrevivência (%) = (número de peixes final/número de peixes inicial) × 100
- (6) Consumo de ração (g peixe⁻¹ dia⁻¹) = (consume de ração diário/número de peixes)

Pouco antes do início do experimento de alimentação, 60 peixes foram mantidos em jejum por 24 horas e então eutanasiados com 200 mg L⁻¹ de Eugenol® para análise da composição centesimal do corpo inteiro. Cinco peixes por tanque foram coletados

aleatoriamente no final do experimento e armazenados a -20°C. Análises aproximadas das dietas e composição corporal foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Peixes (LABNUTRI, UFSC) seguindo procedimentos padronizados pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1999): umidade (secagem a 105 °C até peso constante, método 950.01) , lipídios totais (Soxhlet, método 920.39C), cinzas (incineração a 550 °C, método 942.05), proteína bruta (usando um FP-528 (Leco, St. Joseph, MI, EUA) e o método Dumas (AOAC 990.03) conforme descrito anteriormente [25]) e energia (usando um calorímetro (Modelo 6200, Parr Instrument Company, Moline, IL, EUA) de acordo com as instruções do fabricante). Os aminoácidos foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) pela Evonik Operations GmbH – Nutrition & Care (Essen, Alemanha).

Variáveis de dieta e composição corporal foram usadas para calcular as taxas de deposição de nutrientes usando as seguintes equações:

- (7) Ganho de proteína (PG; g peixe⁻¹) = (conteúdo de proteína final × peso final) – (conteúdo de proteína inicial × peso inicial)
- (8) Perda de nitrogênio (PN; g N kg⁻¹ peixe produzido) = (consume de proteína bruta para produzir um quilograma de peixe – ganho de proteína para produzir um quilograma de peixe)
- (9) Retenção de proteína (RP; %) = (ganho de proteína / proteína digestível consumida) × 100

2.2.4. Análise estatística

Os dados foram analisados por One-way ANOVA usando o procedimento SAS GLM (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EUA). O nível de significância adotado foi de 5%. As diferenças entre os tratamentos dietéticos foram comparadas usando o teste de comparação múltipla de Tukey.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Crescimento

No presente estudo, a taxa de mortalidade foi inferior a 1% e não teve relação com as dietas experimentais. As variáveis de desempenho são apresentadas na Tabela 6. Os peixes responderam bem às dietas experimentais e atingiram aproximadamente 12 vezes o peso inicial ao final do experimento. O ganho de peso (GP) e os coeficientes de crescimento térmico (CCT)

diferiram marginalmente entre os peixes alimentados com as dietas 32HighLys e 29BAL. Entretanto, as dietas 32HighLys e 32LowLys, apesar de apresentarem o mesmo teor proteico, promoveram respostas de crescimento distintas; GP e CCT foram significativamente maiores nos peixes alimentados com a dieta 32HighLys do que naqueles alimentados com a dieta 32LowLys. Os peixes alimentados com a dieta 22BAL tiveram o menor GP e CCT comparado as demais dietas.

Os peixes alimentados com a dieta 32HighLys tiveram o maior ganho de proteína comparado as demais dietas, e aqueles alimentados com 22BAL tiveram o menor ganho de proteína. Os peixes alimentados com as dietas 32LowLys e 29BAL mostraram uma resposta semelhante em termos de ganho de proteína. A retenção de proteína foi maior nos peixes alimentados com dietas 29BAL e 22BAL (42,26 e 54,15%, respectivamente).

A conversão alimentar foi menor nos peixes alimentados com a dieta 32HighLys do que na dieta 22BAL. Os peixes alimentados com as outras dietas apresentaram respostas intermediárias. O consumo de ração foi maior em peixes alimentados com a dieta 32HighLys e menor em peixes alimentados com a dieta 22BAL.

2.3.2. Excreção de compostos nitrogenados

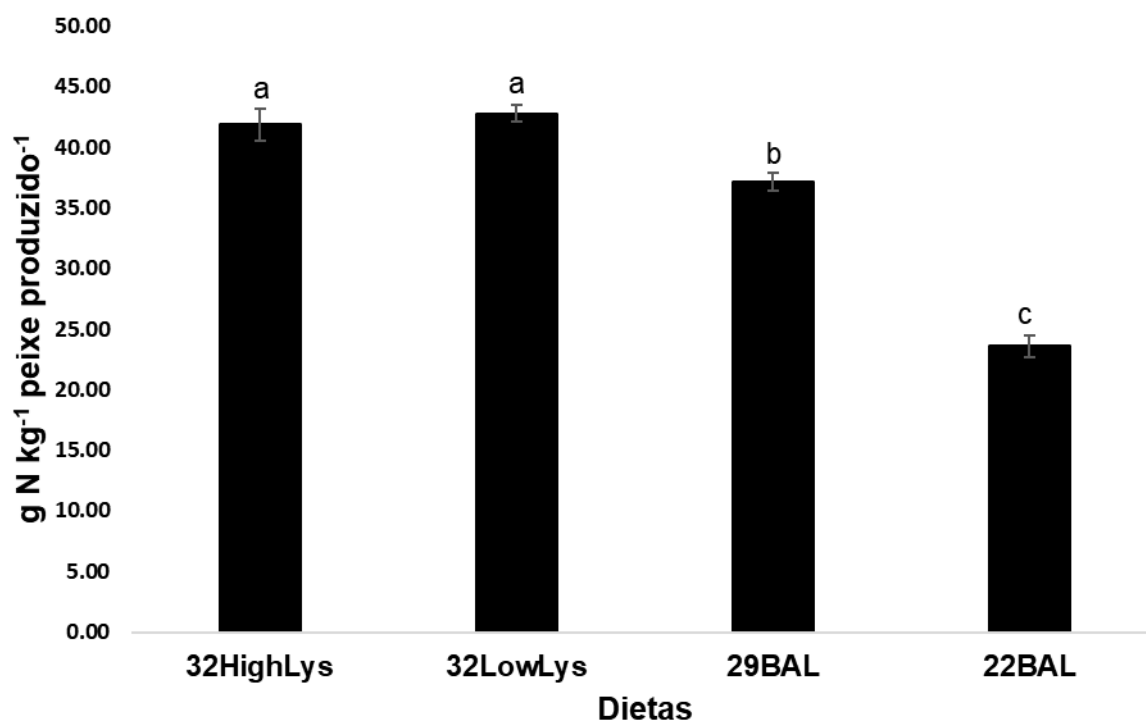
As dietas 32HighLys e 32LowLys promoveram a maior excreção de resíduos nitrogenados ($41,87 \pm 1,31$ e $42,78 \pm 0,71$ g N kg⁻¹ de peixes produzidos, respectivamente). Em contraste, a diminuição da proteína dietética nas dietas 29BAL e 22BAL resultou nos menores valores de resíduos de nitrogênio ($37,21 \pm 0,74$ e $23,59 \pm 0,88$ g N kg⁻¹ de peixes produzidos, respectivamente; Figura 1).

Tabela 6. Desempenho zootécnico de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo diferentes perfis de aminoácidos por 41 dias.¹

Variáveis	32HighLys	32LowLys	29BAL	22BAL	p-valor
Peso inicial, g fish ⁻¹	6,74 ± 0,12	6,77 ± 0,06	6,73 ± 0,06	6,75 ± 0,09	0,8441
Ganho de peso, g fish ⁻¹	81,15 ± 3,89 ^a	73,61 ± 4,22 ^b	74,85 ± 3,49 ^{ab}	65,12 ± 3,02 ^c	<0,0001
Coefficiente de crescimento térmico, %	0,23 ± 0,01 ^a	0,22 ± 0,01 ^b	0,22 ± 0,01 ^{ab}	0,20 ± 0,01 ^c	<0,0001
Consumo de ração, g fish ⁻¹	100,55 ± 2,94 ^a	92,22 ± 5,19 ^b	94,62 ± 4,78 ^{ab}	83,09 ± 3,96 ^c	<0,0001
Conversão alimentar, g g ⁻¹	1,24 ± 0,02 ^a	1,25 ± 0,01 ^{ab}	1,26 ± 0,01 ^{ab}	1,28 ± 0,02 ^b	<0,0001
Ganho de proteína, g fish ⁻¹	12,63 ± 0,57 ^a	11,52 ± 0,53 ^b	11,67 ± 0,53 ^b	9,96 ± 0,29 ^c	<0,0001
Retenção de proteína, %	39,21 ± 1,90 ^c	38,96 ± 0,59 ^c	42,26 ± 1,26 ^b	54,15 ± 1,59 ^a	<0,0001
Taxa de sobrevivência, %	100 ± 0,00	100 ± 0,00	99 ± 2,24	100 ± 0,00	0,4182

¹ Os valores foram expressos como média (± DP) de cinco réplicas (n = 20 peixes por réplica).^{a,b,c} Valores com diferentes sobrescritos na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 1. Perda de nitrogênio em juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo diferentes perfis de aminoácidos por 41 dias. Os valores são expressos com base na média ($\pm$ DP) de cinco réplicas (n = 5 peixes por réplica).



2.3.3. Composição corporal

Os teores de proteínas e cinzas não diferiram significativamente entre os peixes alimentados com dietas com diferentes teores de proteína digestível e aminoácidos (Tabela 5). No entanto, os níveis de lipídios e umidade corporal foram significativamente afetados. Os peixes alimentados com a dieta 22BAL apresentaram o maior teor de lipídio corporal ($15,31 \pm 0,56$ g 100 g⁻¹) de todas as dietas. No geral, foi registrado um teor de lipídios variando de 12,85 a 15,31 g 100 g⁻¹, independentemente da dieta experimental.

Tabela 7. Composição corporal (g 100 g⁻¹) de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com diferentes perfis de aminoácidos por 41 dias¹ (expressa como matéria úmida).

Fração	Inicial	32HighLys	32LowLys	29BAL	22BAL	<i>p</i> -valor
Umidade	77,17	67,50 $\pm$ 0,41 ^a	67,31 $\pm$ 0,60 ^a	67,86 $\pm$ 0,52 ^a	65,79 $\pm$ 0,41 ^b	0,0006
Proteína	13,66	15,44 $\pm$ 0,78	15,48 $\pm$ 0,21	15,44 $\pm$ 0,43	15,15 $\pm$ 0,33	0,7659
Lipídios	5,17	13,15 $\pm$ 0,79 ^b	13,44 $\pm$ 0,89 ^b	12,85 $\pm$ 0,93 ^b	15,31 $\pm$ 0,56 ^a	0,0011
Cinza	3,75	3,55 $\pm$ 0,18	3,37 $\pm$ 0,20	3,66 $\pm$ 0,30	3,62 $\pm$ 0,16	0,0900

¹Os valores foram expressos como média ($\pm$ DP) de cinco réplicas (n = 5 peixes por réplica).

a,b,c Valores com diferentes sobrescritos na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

2.4. DISCUSSÃO

A técnica de formulação aqui proposta visa equilibrar os perfis de aminoácidos para manter a qualidade da proteína; o equilíbrio de aminoácidos dietéticos em cada dieta experimental foi de suma importância. Para garantir o equilíbrio adequado de aminoácidos, a dieta basal (22BAL), que atendeu aos requisitos de aminoácidos da tilápia-do-nilo estabelecidos por Santiago e Lovell (1988), serviu de base para a formulação da dieta 29BAL (o perfil de aminoácidos originalmente proposto não foi modificado). Foi possível aumentar o nível de proteína da dieta sem comprometer o equilíbrio de aminoácidos estabelecido, pois todos os aminoácidos foram aumentados na mesma proporção. A composição de aminoácidos da dieta determina a concentração de proteína na dieta; no entanto, formular dietas para atingir os níveis necessários de proteína e aminoácidos pode levar a desequilíbrios. A abordagem aqui proposta foi baseada não apenas em atender às necessidades de aminoácidos, mas também em manter o balanço entre esses aminoácidos na dieta (seja em porcentagem ou em g kg^{-1} de dieta). No presente estudo, a dieta 29BAL foi um produto dessa abordagem. Ao comparar a composição de aminoácidos (g kg^{-1}) da dieta 29BAL com a recomendação original de Santiago e Lovell (1988), a impressão é que a dieta 29BAL contém um excesso de aminoácidos. Na verdade, a dieta 29BAL está mais concentrada, mas seu balanço de aminoácidos, baseado no nível de lisina, permaneceu o mesmo, e as proporções entre os aminoácidos não mudaram (Tabela 5). Esta abordagem permite que a inclusão de arginina seja mantida em uma proporção adequada para lisina. O conteúdo de arginina geralmente excede o conteúdo de lisina nas dietas, o que pode prejudicar a absorção de lisina, como demonstrado na truta arco-íris (KAUSHIK et al., 1988). No entanto, não conseguimos reduzir o teor de leucina em nossas dietas, considerando sua alta concentração no concentrado de milho e farelo de soja, que foram as fontes proteicas aqui utilizadas. Isso impossibilitou manter uma proporção adequada de leucina para lisina nas dietas 22BAL e 29BAL.

Vários estudos têm procurado estabelecer uma concentração ideal de proteína para a tilápia-do-nilo para atender às suas necessidades nutricionais (EL-SAIDY E GABER, 2005, BOTARO et al., 2007, ABDEL-TAWWAB et al., 2010). No entanto, a qualidade da proteína é um ponto crucial a ser considerado; o perfil de aminoácidos e a digestibilidade são fatores chave na determinação da qualidade de uma fonte de proteína (NG E ROMANO, 2013). O uso de dietas com um perfil de aminoácidos desbalanceado e/ou ingredientes proteicos com baixa digestibilidade pode resultar em altas estimativas das exigências dietéticas de proteína (GOUS

et al., 2018). Diferentes resultados de crescimento foram obtidos pelas dietas 32HighLys e 32LowLys, que continham o mesmo nível de proteína, mas diferentes perfis de aminoácidos. O ganho de peso e o coeficiente de crescimento térmico foram maiores nos peixes alimentados com a dieta 32HighLys. Quando o teor de proteína foi reduzido para 29% de proteína digestível (29BAL), foram observados desempenhos produtivos semelhantes aos registrados em peixes alimentados com dietas 32HighLys e 32LowLys.

Teodósio et al. (2020) informaram que a deposição de proteína corporal não mudou entre as tilápias alimentadas com dietas com diferentes níveis de proteína, independentemente do aumento da ingestão de proteína dos peixes alimentados com níveis mais elevados. No presente estudo, observamos um padrão diferente dependendo da dieta avaliada. Por exemplo, a deposição de proteína foi semelhante nas dietas formuladas seguindo as recomendações de Santiago e Lovell (1988) (32LowLys e 29BAL). No entanto, os teores de proteína dessas dietas foram diferentes, seguindo o padrão observado por Teodósio et al. (2020). No entanto, a redução nos níveis de proteína da dieta 22BAL comprometeu a deposição de proteína em comparação com outros tratamentos que utilizaram a recomendação de Santiago e Lovell (1988) (Tabela 6). Em contraste, houve um aumento significativo da deposição de proteína corporal nos peixes alimentados com a dieta 32HighLys, apesar do nível de proteína ser igual ao da dieta 32LowLys. O ganho adicional de proteína pode estar relacionado ao maior consumo de ração registrado nos peixes alimentados com a dieta 32HighLys (Tabela 6). Quando avaliada a RP, que correlacionou a deposição de proteína com o consumo de proteína, não houve diferença entre os peixes alimentados com as dietas 32LowLys e 32HighLys, o que mostra que ambas tiveram a mesma eficiência em depositar a proteína ingerida. De acordo com a teoria de consumo de ração e crescimento proposta por Emmans (1981), os animais tendem a crescer para atingir seu potencial genético de crescimento, o que implica que eles precisam comer ração suficiente para manter o crescimento ditado por sua genética. Além disso, o autor trabalha com a premissa de que os animais são alimentados com quantidades suficientes para atender à exigência do primeiro nutriente limitante na dieta (EMMANS, 1987). Não está claro o que levou ao aumento do consumo de ração dos peixes alimentados com a dieta 32HighLys, pois todos os aminoácidos atingiram as recomendações do AMINOTilapia®. Outro ponto que deve ser considerado em relação às dietas 32HighLys e 32LowLys é a diferença entre a inclusão de Lys e a proporção de AAE para lisina entre AMINOTilapia® e as recomendações de Santiago e Lovell (1988), o que levou a uma deposição distinta de proteínas. Além disso, a metionina e a valina foram mais concentrados no AMINOTilapia® do que as recomendações de Santiago e

Lovell (1988). E um estudo aplicando a técnica de deleção para juvenis de tilápia-do-nilo mostrou que a metionina e a valina foram os aminoácidos essenciais mais limitados em termos de deposição de nitrogênio. Quando esses aminoácidos foram reduzidos em 45% nas dietas experimentais, a deposição de nitrogênio foi reduzida em 65% em comparação com uma dieta balanceada (DIÓGENES et al, 2016). No entanto, mais estudos são necessários para elucidar os fatores que possam interferir no consumo de ração e como diferentes proporções de AAE para lisina podem levar a melhorias no crescimento da tilápia-do-nilo.

Os peixes alimentados com a dieta 29BAL tiveram uma melhor RP em comparação com aqueles alimentados com o nível mais alto de proteína (32HighLys e 32LowLys). Abdel-Tawwab et al. (2010) e Teodósio et al. (2020), avaliando níveis graduais de proteína na dieta para juvenis de tilápia-do-nilo, também observaram um aumento na RP quando o nível de proteína na dieta foi reduzido. Além de impactar no crescimento animal, vale ressaltar que a proteína também é utilizada para fins de manutenção, sendo seu excedente excretado no meio ambiente. Os peixes alimentados com as dietas 32HighLys e 32LowLys tiveram os maiores valores de resíduos de nitrogênio, mas com a redução do nível de proteína nas dietas 29BAL e 22BAL, essa excreção de nitrogênio diminuiu significativamente. O mesmo padrão foi destacado por Abdel-Tawwab et al. (2010) e Teodósio et al. (2020) quando os níveis de proteína diminuíram na dieta. Abdel-Tawwab et al. (2010) ao avaliar duas classes de tamanho de tilápia (alevinos e juvenis avançados), os peixes não utilizaram excesso de proteína (acima de 35% de proteína bruta); o excesso de proteína dietética foi desaminado e convertido em amônia. Respostas semelhantes foram relatadas por Teodósio et al. (2010), e foi observado aumento da excreção de compostos nitrogenados com alto catabolismo de proteínas. As altas taxas de liberação de compostos nitrogenados no ambiente aquático podem causar eutrofização (ZHANG et al., 2015) e perturbar a estabilidade da cadeia alimentar (DVORAK, 2004). Além disso, pode aumentar o surgimento de microrganismos patogênicos na água (CABRAL, 2010). Assim, o aumento da regulamentação dos efluentes da aquicultura tem motivado o desenvolvimento de ferramentas que possam mitigar os impactos desses efluentes no ambiente aquático (GHASEMI et al., 2018). Nesse contexto, o uso de dietas ecologicamente corretas que promovam menores níveis de resíduos nitrogenados pode ser uma alternativa para reduzir esses impactos. No presente estudo, as dietas com os menores níveis de proteína reduziram os compostos nitrogenados na água em aproximadamente 12% ou 5 g N kg⁻¹ de peixe produzido (29BAL) e 44% ou 19 g N kg⁻¹ de peixe produzido (22BAL) em comparação às dietas 32HighLys e 32LowLys. Os benefícios das dietas 22BAL e 29BAL tornam-se mais relevantes

quando se considera a produção em larga escala; a redução das excreções de resíduos nitrogenados poderia tornar a piscicultura mais sustentável. Apesar da diminuição significativa na excreção de compostos nitrogenados nos peixes alimentados com a dieta 22BAL, apenas a dieta 29BAL apresentou desempenho zootécnico semelhante às dietas 32HighLys e 32LowLys.

Em relação à qualidade da proteína dietética e RP, é essencial considerar os níveis e fontes de energia dietética (SCHRAMA et al. 2018; KONNERT et al., 2022a; KONNERT et al., 2022b). O excesso de proteína e baixos níveis de fontes de energia não proteicas (carboidratos e lipídios) na dieta devem ser evitados, tornando-se essencial a formulação de dietas com níveis equilibrados de energia e proteína (Oliva-Teles et al., 2019). No entanto, o excesso de energia na dieta pode comprometer a ingestão de ração. Em comparação com os animais terrestres, os peixes têm uma exigência de energia muito menor para manutenção, pois não precisam manter a temperatura corporal e demandam menos energia ao excretar nitrogênio na forma de amônia (KAUSHIK E SEILIEZ, 2010). Em nosso estudo, o desempenho produtivo dos peixes alimentados com a dieta 22BAL foi afetado pela alta relação energia:proteína dessa dieta (16,91 kcal g⁻¹ de proteína; Tabela 6). Em proporções mais altas de energia:proteína, a ingestão de ração é comprometida devido à ingestão excessiva de energia, o que resulta na deposição de gordura no corpo (SILVERSTEIN et al., 1999). A mesma resposta foi observada nos peixes alimentados com a dieta 22BAL, com consumo de ração consideravelmente menor e maior teor de gordura corporal (15,31± 0,56 g 100 g⁻¹) comparado as outras dietas.

É importante considerar que o método de formulação aqui proposto buscou balancear os AAes em dietas com menores teores de proteína. O estudo mostrou que é possível reduzir os níveis de proteína na dieta, mantendo um equilíbrio entre os AAes. No entanto, trabalhos futuros devem otimizar essa técnica para torná-la economicamente viável, visto que utilizamos aminoácidos de alto custo como L-histidina, L-fenilalanina e L-isoleucina. Assim, para estudos futuros, propomos um ensaio dose-resposta visando a viabilidade econômica para determinar quanta proteína dietética pode ser reduzida sem comprometer o crescimento quando o equilíbrio de aminoácidos é mantido entre os tratamentos dietéticos. Além disso, avaliar o quanto é possível reduzir a excreção de compostos nitrogenados para que a piscicultura se torne uma atividade não só lucrativa, mas também sustentável para o meio ambiente.

2.5. CONCLUSÃO

A dieta formulada para atender as recomendações da Evonik (AMINOTilapia®) apresentou maior ganho de proteína do que os demais tratamentos. Em contrapartida, a dieta 29BAL, formulada com a estratégia proposta para atender as proporções de aminoácidos segundo Santiago e Lovell 1988, mostrou que é possível utilizar uma dieta com menor teor de proteína digestível (29,2 g kg⁻¹ matéria seca ou 26,24 g kg⁻¹ matéria natural e 12,48 kcal g⁻¹ de proteína), mantendo um perfil de aminoácidos balanceado sem comprometer o desempenho. Além disso, a dieta 29BAL reduziu em 12% (5 g N kg⁻¹ de peixe produzido) a excreção de compostos de nitrogenados, o que implicaria em um menor impacto no ambiente aquático.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-TAWWAB, M. et al. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, v. 298, p. 267–274, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.027>.
- BALLESTER-MOLTÓ, M. et al. Particulate waste outflow from fish-farming cages. How much is uneaten feed? **Marine Pollution Bulletin**, v. 119, p. 23–30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.004>.
- BOTARO, D., et al. Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques-rede. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 3, p. 517-525, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300001>.
- BUREAU, D. P. et al. Bioenergetics. In J. E. Halver, & R. W. Hardy (Eds.), *Fish nutrition*, p. 1–59. San Diego, CA: Academic Press, 2002.
- CABRAL, J. P.S. Review: Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 7, n. 10, p. 3657-3703, 2010. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>.
- 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**, v. 32, p. 349–360, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00027.x>.
- DIÓGENES, A. F. et al. Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 435–443, 2016. <https://doi.org/10.1111/anu.12262>.
- DVORAK, P. Selected specificity of aquarium fish disease. **Bulletin VURH Vodnany**, v. 3, p. 101–108, 2004.
- EMMANS, G.C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: Hillyer, G.M., Whittemore, C.T., Gunn, R.G. (Eds.), **Computers in**

Animal Production. Occasional Publication, Edinburgh, UK, n. 5, p. 103–110, 1981. <https://doi.org/10.1017/S0263967X00003761>.

EMMANS, G.C. Growth, body composition and feed intake. **World's Poultry Science Journal**, v. 43, p. 208–227, 1987. <https://doi.org/10.1079/WPS19870014>.

EL-SAIDY, D. M. S. D.; GABER, M. M. A. Effect of dietary protein levels and feeding rates on growth performance, production traits and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in concrete tanks. **Aquaculture Research**, v. 36, p. 163–171, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01201.x>.

ETHERIDGE, R.D. et al. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory. **Animal Feed Science and Technology**, v. 73, p. 21–28, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00136-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00136-9).

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO, 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.

FURUYA, W.M. Tabelas brasileiras para nutrição de Tilápias, 21. GFM, Toledo, p. 100, 2010.

GAN, L., et al. Effect of dietary protein reduction with lysine and methionine supplementation on growth performance, body composition and total ammonia nitrogen excretion of juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idella*. **Aquaculture Nutrition**, v. 18, p. 589–598, 2012. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2095.2012.00937.X>.

GAYLORD, T. G.; BARROWS, F. T. Multiple amino acid supplementations to reduce dietary protein in plant-based rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, feeds. **Aquaculture**, v. 287, p. 80–184, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.037>.

GHASEMI, Z., et al. Application of zeolites in aquaculture industry: a review. **Reviews in Aquaculture**, v. 10, p. 75–95, 2018. <https://doi.org/10.1111/raq.12148>.

GHOMI, M.R., et al. The effects of dietary enzyme on some blood biochemical parameters of the cultured great sturgeon *Huso* juveniles. **Comparative Clinical Pathology**, v. 21, n. 2, p. 201–204, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00580-011-1265-9>.

GOUS, R.M. et al. The effect of dietary energy: protein ratio, protein quality and food allocation on the efficiency of utilization of protein by broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 59, n. 1, p. 100–109, 2018. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1390211>.

KAUSHIK, S.J. et al. Arginine requirement and status assessed by different biochemical indices in rainbow trout *Salmo gairdneri*. **Aquaculture**, v. 70, p. 75–95, 1988. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90008-7).

KAUSHIK, S.J.; SEILIEZ, I., Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: current knowledge and future needs. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 322–332, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02174.x>.

KONNERT, G.D.P. et al. Balancing protein and energy in Nile tilapia feeds: A meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-22, 2022. <https://doi.org/10.1111/raq.12671>.

KONNERT, G.D.P. et al. Interactive effects of protein and energy intake on nutrient partitioning and growth in Nile tilapia. **Animal**, v. 16, 100494, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100494>.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W.R. Crude fiber for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 2, p. 256–261, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000200002>.

Michelato, M. et al. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 457, p. 124–130, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>.

NRC. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press, Washington, D.C., p. 360, 2011.

NG, W.-K.; ROMANO, N. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. **Reviews in Aquaculture**, v. 5, p. 220–254, 2013. <https://doi.org/10.1111/raq.12014>.

OLIVA-TELES, A. et al. Dietary protein requirements of fish – a meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-33, 2019. <https://doi.org/10.1111/raq.12391>.

PERES, H.; OLIVA-TELES, A. Effect of dietary protein and lipid level on metabolic utilization of diets by european sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 25, p. 269–275, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1023239819048>.

SANTIAGO, C.B.; LOVELL, R.T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. **The Journal of Nutrition**, v. 118, p. 1540–1546, 1988. <https://doi.org/10.1093/jn/118.12.1540>.

SAS Institute. SAS/STAT, User's Guide: Statistics. Version 9.4. SAS Inst. Inc., Cary, NC.388, 2010.

SCHRAMA, J.W. et al. Energy efficiency of digestible protein, fat and carbohydrate utilisation for growth in rainbow trout and Nile tilapia. **British Journal of Nutrition**, v. 119, n. 7, p. 782-791, 2018. <https://doi.org/10.1017/S0007114518000259>

SILVERSTEIN, J.T. et al. Regulation of nutrient intake and energy balance in salmon. **Aquaculture**, v. 177, p. 161-169, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00076-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00076-9).

SMITH, E.L.; GREENE, R.D. Further studies on the amino acid composition of immune proteins. **Journal of Biological Chemistry**, v. 171, p. 355–362, 1947.

TEODÓSIO, R. et al. Optimizing diets to decrease environmental impact of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production. **Aquaculture Nutrition**, v. 26, p. 422 – 431, 2020. <https://doi.org/10.1111/anu.13004>.

VALENTE, L.M.P. et al. What determines growth potential and juvenile quality of farmed fish species? **Aquaculture**, v. 5, p. S168–S193, 2013.

XIAO, W. et al. Dietary valine requirement of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 315-323, 2017. <https://doi.org/10.1111/anu.12562>.

YAMAMOTO, T.; SHIMA, T.; FURUITA, H. Antagonistic effects of branched-chain amino acids induced by excess protein-bound leucine in diets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 232, p. 539-550, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00543-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00543-X).

WEBSTER, C.D.; LIM, C. Introduction to Fish Nutrition. In: Webster, C.D.; Lim, C. (Eds.). Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. New York: CABI Publishing. p. 388-395, 2002.

WEBSTER, C.D.; LIM, C. Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition. (1st edition), CRC Press, Florida, USA, 2006.

WILSON, R.P.; POE, W.E., 1985. Relationship of whole and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 80, p. 385 – 388. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(85\)90224-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(85)90224-X).

WILSON, R, P. Amino acids and proteins. In: J.E. Halver, and R.w. Hardy, (Ed.). **Fish nutrition**. Academic Press. Amsterdam, AM, The Netherlands. p. 143 – 179, 2002.

ZHANG, Y.; BLEEKER, A.; LIU, J. Nutrient discharge from China's aquaculture industry and associated environmental impacts. **Environmental Research Letters**, v. 10, 045002, 2015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/4/045002>.

3. CAPÍTULO II: O CONHECIMENTO DO CONSUMO DE RAÇÃO É ESSENCIAL PARA DEFINIR AS NECESSIDADES DE AMINOÁCIDOS DA TILÁPIA-DO-NILO EM DIFERENTES TEMPERATURAS E ESTÁGIOS DE CRESCIMENTO

Rafael de Souza Romaneli^a, Maria Fernanda Oliveira da Silva^a, João Batista Kochenborger Fernandes^b, Débora Machado Fracalossi^{a*}

^aDepartamento de aquicultura, Centro de ciências agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil

^bCentro de Aquicultura, Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Jaboticabal, SP, Brazil

*Autor por correspondência: Débora Machado Fracalossi, debora.fracalossi@ufsc.br

RESUMO

A tilápia-do-nilo está entre as espécies mais produzidas no mundo. Apesar de ser uma espécie tropical, é tolerante à ampla faixa de temperatura. No entanto, nos subtrópicos, o consumo de ração geralmente diminui, comprometendo o crescimento. Assim, as dietas devem ser nutricionalmente mais concentradas para atender às necessidades nutricionais dos peixes. O objetivo deste estudo foi desenvolver modelos que estimem uma inclusão dinâmica do perfil de aminoácidos essenciais em dietas para a tilápia-do-nilo em diferentes temperaturas da água e estágio de crescimento. O estudo concentrou-se na premissa de que os peixes consumirão quantidades suficientes dos nutrientes para atingir seu potencial máximo de crescimento. Os valores do coeficiente de crescimento térmico previsto serviram como ferramenta para obter dados de crescimento diário, e juntamente com os dados de exigência de aminoácidos essenciais (mg g^{-1} de ganho de peso), foi possível obter as exigências diárias de cada aminoácido (mg dia^{-1}). A quantidade de ração ingerida é geralmente afetada pela temperatura e pelo tamanho do peixe. Portanto, diferentes recomendações de aminoácidos essenciais foram estimadas com base na capacidade da tilápia-do-nilo de consumir ração. A recomendação de lisina variou de 2,03 a 1,43% a 26 a 30°C; de 2,54 a 1,79% a 24 a 26°C e 30 a 32°C; e de 3,39 a 2,39% de 19 a 24°C, dependendo do tamanho do peixe. Este é um passo inicial para o desenvolvimento de dietas balanceadas que atendam às demandas nutricionais da tilápia-do-nilo criada em diferentes condições ambientais.

Palavras-chave: manejo alimentar, aminoácidos essenciais, dietas balanceadas, dietas de inverno.

3.1. INTRODUÇÃO

Entre a produção mundial das principais espécies aquícolas, a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) ocupa o terceiro posição, representando 9% da produção total de peixes de águas interiores no mundo (FAO, 2022a). A tilápia-do-nilo pode ser cultivada em diferentes latitudes ao redor do mundo, sendo tolerante a uma ampla faixa de temperatura. A temperatura ótima para a espécie varia de 26 a 30 °C (AZAZA et al., 2008; MA et al. 2015), mas peixes submetidos a 22°C têm seu consumo de ração reduzido, comprometendo o crescimento, quando comparados a peixes criados em temperaturas ótimas (AZAZA et al., 2008; MA et al., 2015; CORRÊA et al., 2017; 2018). O Brasil é o quarto país em produção de tilápia (FAO, 2022b) e a região Sul, apesar de seu clima subtropical, produz 48,2% do total produzido (IBGE, 2021). Mudanças na temperatura da água afetam diretamente o metabolismo e o consumo de ração em animais ectotérmicos (WEBER e BOSWORTH, 2005; TURCHINI et al., 2010). Como temperaturas abaixo da faixa ideal da espécie podem reduzir o consumo de ração, as dietas precisariam ser nutricionalmente mais concentradas para atender às necessidades diárias dos peixes. Em aves, a capacidade de modular o consumo de ração é o único mecanismo utilizado para atingir a ingestão das quantidades recomendadas de cada nutriente dietético (Da Nóbrega et al., 2022). Se o consumo de ração for afetado, são esperadas alterações na composição corporal e nos aspectos produtivos (SILVA et al., 2021).

A proteína é o nutriente mais caro nas dietas (BALLESTER-MOLTÓ et al., 2017), mas tem papel crítico no crescimento dos peixes. Para garantir o melhor desempenho de crescimento, os peixes não precisam necessariamente de proteína, mas sim de quantidades equilibradas de aminoácidos dentro de sua composição (WILSON e POE, 1985; WILSON, 2002; WEBSTER E LIM, 2002). Assim, torna-se imprescindível a realização de estudos para estimar as quantidades adequadas de cada aminoácido, para atender a demanda nutricional. Vários estudos já estabeleceram a exigência de aminoácidos para a tilápia-do-nilo. No entanto, existem variações nas exigências entre esses estudos, o que dificulta o nutricionista escolher uma concentração que permita que os peixes expressem seu máximo potencial de crescimento. Como exemplo, o nível ótimo de lisina em estudos com juvenis de tilápia-do-nilo varia de 13,1 a 21,7 g kg⁻¹ de dieta (SANTIAGO e LOVELL, 1988; FURUYA et al., 2006; LIEBERT, 2009; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010; FURUYA et al., 2012; FURUYA et al. 2013; RAMPE et al., 2014; DIÓGENES et al., 2016).

O estudo anterior de Cowey (1995) já levanta questões importantes que podem levar a discrepâncias entre os dados de exigência: (1) a forma de expressar os dados, por exemplo, com base na matéria seca ou na matéria natural; (2) a composição e tipo de dieta utilizada (semi-

purificada ou prática); (3) o método usado para estimar a exigência; (4) o critério estatístico utilizado. Ainda há outro aspecto que deve ser considerado ao estimar a exigência de nutrientes, o consumo de ração. Porque quando as exigências são expressas em porcentagem ou g kg^{-1} de ração, como usualmente visto, o consumo de ração não é considerado. Existem situações que afetam o consumo de ração, como alta relação energia/proteína na dieta, temperatura da água e manejo da ração, que por sua vez, podem afetar as estimativas das exigências de aminoácidos. Portanto, nosso estudo se propõe a estabelecer uma recomendação de aminoácidos (expressa em $\text{mg de ganho de peso}^{-1}$) com base em estudos publicados, criando as bases para um programa de alimentação para tilápia-do-nilo a ser utilizado em diferentes estádios de crescimento e faixas de temperatura. Tal abordagem permitirá uma inclusão dinâmica de aminoácidos nas dietas, acompanhando o potencial de crescimento da espécie e a capacidade de consumir ração em diferentes temperaturas.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1. Pesquisa de literatura e seleção dos dados

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre aminoácidos essenciais para a tilápia-do-nilo. As buscas foram realizadas no banco de dados Scopus e as seguintes palavras-chave foram compiladas na Tabela 8. Alguns critérios foram usados para selecionar os estudos sobre a exigência em aminoácidos essenciais para tilápia-do-nilo: 1) Foram considerados estudos realizados apenas com tilápia-do-nilo, estudos com híbridos foram desconsiderado, 2) Perfil de aminoácidos analisados, composições calculadas foram desconsideradas, 3) Composição nutricional da dieta declarada como matéria seca, estudos com composição na matéria natural foram considerados apenas quando os dados de matéria seca foram analisados, 4) Alimentação até a saciedade aparente, e 5) estudos que relataram o consumo de ração ou qualquer indicador relacionado ao consumo de ração. Trinta e cinco estudos foram compilados, mas apenas treze foram selecionados para análises de regressão para estimar a necessidade de aminoácidos. No entanto, os vinte e dois estudos que não atenderam aos critérios estabelecidos foram utilizados em conjunto com os estudos selecionados (após análise de outliers) para obter os valores de coeficiente de crescimento térmico e conversão alimentar para análises de regressão posteriores. Os estudos de aminoácidos essenciais selecionados foram publicados de 2008 a 2021.

Tabela 8. Critério de seleção e pesquisa de literatura

Parâmetros	Critério de seleção
<i>Delineamento experimental</i>	
Espécie	Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)
Nutrientes	Aminoácidos essenciais
Manejo alimentar	Saciedade aparente
<i>Coleta de dados</i>	
Composição da dieta	Analisada Matéria seca
Consumo de ração	Reportado ou calculado a partir de um indicador de consumo de ração
Temperatura	26 a 29°C
<i>Seleção dos dados</i>	
Total de estudos	Trinta e cinco
Análise de regressão para estimar a exigência de AAE	Treze
Análise de regressão para estimar o CCT e a CA	Vinte e oito após análise de outliers
Pesquisa de literatura	
Banco de dados Scopus	
<i>Palavras-chave</i>	
Tilápia-do-nilo	
<i>Oreochromis niloticus</i>	
Aminoácidos essenciais	
Lisina; metionina; treonina; triptofano; fenilalanina; isoleucina; leucina; arginina; valina; BCAA e histidina	

3.2.2. Curva de crescimento

De acordo com a teoria de consumo de ração e crescimento proposta por Emmans (1981, 1989), os animais tendem a crescer para atingir seu potencial genético de crescimento, o que implica que comem ração suficiente para manter o crescimento com base em sua genética. Com base nessa premissa, foram compilados estudos onde a tilápia-do-nilo foi mantida na temperatura ótima de 26 a 28°C (Tabela 10) para calcular o TGC. A utilização do TGC permite criar uma curva de crescimento para a espécie, que servi como ferramenta para predizer as necessidades diárias de cada aminoácido após a obtenção dos dados em mg g⁻¹ de ganho de peso estimado pela regressão linear. O coeficiente de crescimento térmico foi calculado da seguinte forma:

Coeficiente de crescimento térmico (CCT, %) = [(peso final ^(0.3333) – peso inicial ^(0.3333)) / (temperatura média x dias)] x 100

Para prever o peso diário, a seguinte equação foi usada. Adicionamos a equação linear da compilação de estudos usada para calcular o TGC. Assim, foi possível obter o valor de CCT em cada peso selecionado dentro de um cenário de predição.

Peso diário (g peixe⁻¹ dia⁻¹) = {(peso anterior ^{0.3333}) + [(equação linear do CCT /100) x (dia final – dia inicial) x temperatura do dia]} ^(1/0.3333)

Todos os valores de demanda diária de cada aminoácido (mg g⁻¹ de ganho de peso) foram utilizados juntamente com o (CCT) para prever o crescimento e calcular a demanda diária de cada aminoácido necessária para atingir o potencial genético de crescimento.

Tabela 9. Compilação de dados da literatura usados para calcular o coeficiente de crescimento térmico (CCT) e conversão alimentar (CA) para a tilápia-do-nylo.

Referências	PI, g	PF, g	Modelo	Exigência (%)	Parâmetro	T, °C	Dias	Nutriente	CCT	CA
NEU et al., 2016	2,94	63,47	Q ¹	1,36	GP ⁴	29,40	85	Arg	0,10	1,21
PRABU et al., 2021	4,30	51,30	Q	1.67/1.68*	GP/DN ⁵	28,00	60	Arg	0,12	1,20
WU et al., 2016	81,55	278,42	Q	1.51*	GP	28,50	60	Arg	0,13	1,32
ZEHRA e YOUSIF 2021	1,65	8,62	Q	1.21 (2.10)*	GP	26,30	56	Phe	0,06	1,30
XIAO et al., 2019	5,63	39,18	BL ²	0.88*	RP ⁶	28,00	56	Phe	0,10	1,69
MICHELATO et al., 2017	4,89	50,23	Q	0.82*	GP	28,05	100	His	0,07	1,14
ZAMINHAN-HASSEMER et al., 2019	64,44	241,76	Q	0.81*	GP	28,00	65	His	0,12	1,05
RICHTER et al., 2020	135,58	603,41	ANOVA	0.83 + 1.68*	GP	26,22	90	His + Lys	0,14	1,43
ARAÚJO et al., 2021	2,50	48,97	BL	1.37*	GP	28,00	56	Iso	0,15	0,87
NEU et al., 2017	18,09	98,94	ANOVA	0,70	GP	25,13	70	Iso	0,11	1,05
ZEHRA et al., 2017	0,66	6,48	Q	1.56/1.61*	GP/DP ⁷	27,60	84	Leu	0,04	1,51
GAN et al., 2016	1,94	21,00	Q	1.25*	GP	29,00	56	Leu	0,09	1,38
SHI et al., 2014	53,57	205,12	Q	2.33*	GP	26,00	56	Leu	0,15	1,11
TAKISHITA et al., 2009	0,98	10,00	BL	2,32	GP	28,10	32	Lys	0,13	0,86
BOMFIM et al., 2010	1,12	15,34	LR ³	1,80	GP	28,40	30	Lys	0,17	1,16
FURUYA et al., 2012	1,44	5,78	Q	1.56 ^d	GP	27,10	45	Lys	0,05	1,06
ROMANELI et al., 2021	2,34	52,39	BL	60.47 ^{nr}	EUL ⁸	27,40	44	Lys	0,20	0,98
PRABU et al., 2019	5,00	58,80	BL	1.80/1.83*	GP/BNG	28,00	56	Lys	0,14	1,20
FURUYA et al., 2013	87,00	226,00	BL	1.31 ^d	GP	28,30	45	Lys	0,13	1,42
MICHELATO et al., 2016	272,94	559,29	Q	1.46*	RF ⁹	27,50	40	Lys	0,16	1,49
ROMANELI et al., 2021	431,00	617,00	BL	60.1 ^{nr}	EUL	29,90	44	Lys	0,07	1,36
ROMANELI et al., 2021	730,00	993,00	BL	58.95 ^{nr}	EUL	29,10	41	Lys	0,08	1,65
BOMFIM et al., 2008	0,86	15,43	ANOVA	0.9 ^d	GP	28,00	40	Met	0,14	1,16
FIGUEIRADO-SILVA et al., 2015	1,70	83,60	Q	1.57*	GP	28,00	70	Met	0,16	1,02
HE et al., 2017a	2,30	17,92	Q	0.91 (0.99)*	GP	28,50	56	Met	0,08	2,01
XU et al., 2022	4,24	41,65	Q	0.77*	TCE ¹⁰	28,00	60	Met	0,11	1,28
NGUYEN E DAVIS, 2009	5,62	44,12	BL	0,49	GP	28,00	56	Met	0,11	1,37
HE et al., 2017	8,97	90,80	Q	0.99 (1.46)*	GP	28,50	56	Met	0,15	0,87
MICHELATO et al., 2013	563,40	719,10	BL	0.90/0.99	GP/RF	27,50	30	Met	0,08	1,43
MICHELATO et al., 2016b	565,50	829,31	Q	1.2*	GP	28,50	28	Thr	0,14	1,46
WU et al., 2018	1,41	22,80	Q	0.28*	GP	29,00	56	Tryp	0,11	1,56
PRABU et al., 2020	5,30	50,90	Q	0.38*	GP/DN	28,00	60	Tryp	0,12	1,20
NGUYEN et al., 2019	7,40	77,53	BL	0,31	GP	27,62	56	Tryp	0,15	1,04
ZAMINHAN et al., 2018	38,20	132,60	Q	0.34*	GP	27,50	60	Tryp	0,10	1,30
XIAO et al., 2017	6,49	47,07	BL	1.15/1.27*	GP/RP	28,00	56	Val	0,11	1,46

PI- peso inicial, PF- peso final, T- temperatura, CCT- coeficiente de crescimento térmico, CA - conversão alimentar, ¹ regressão quadrática, ² broken-line, ³ regressão linear, ⁴ ganho de peso, ⁵ ganho de nitrogênio corporal, ⁶ retenção de proteína, ⁷ ganho de proteína, ⁸ eficiência de utilização de lisina, ⁹ rendimento de filé, ¹⁰ taxa de crescimento específico, * expresso em matéria seca, ^d nível digestível e ^{nr} não é uma exigência.

3.2.3. Consumo de ração

O consumo de ração foi predito por meio de uma compilação de dados de conversão alimentar em ensaios de alimentação com tilápia-do-nylo (Tabela 9). Os dados foram submetidos à regressão linear para obtenção da equação da reta. Portanto, o consumo de ração foi estimado com base no ganho de peso diário fornecido pelo CCT e nos dados de conversão alimentar. De acordo com a faixa de temperatura utilizada, diferentes proporções de consumo de ração foram inseridas na predição, a saber: temperaturas entre 26 a 30°C - 100% do consumo

de ração foi considerado, 24 a 26°C e 30 a 32°C - o consumo de ração foi reduzido em 20%, 20 a 24°C - o consumo de ração foi reduzido em 40%. Foram utilizadas as tabelas de alimentação fornecidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, Camboriú, Santa Catarina, Brasil) (SILVA et al., 2020).

3.2.4. Exigências em aminoácidos

Com base nos treze estudos, que atenderam aos critérios de seleção (item 3.2.1), as demandas de cada aminoácido em mg g^{-1} de ganho de peso foram calculadas por meio de regressões lineares para obter uma equação ($y = a + bx$) e as seguintes variáveis foram estilizadas nesta estimativa:

$$\text{Peso médio (g)} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / 2$$

$$\text{Ganho de peso diário (g peixe}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{dias}$$

$$\text{Consumo de aminoácido diário (mg peixe}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (((\text{consumo de ração} \times \text{nível do aminoácido na dieta}) / 100) / \text{dias}) \times 1000$$

$$\text{mg de aminoácido necessário para ganhar 1 g de peso (mg g}^{-1}) = \text{consumo de aminoácido diário} / \text{ganho de peso diário}$$

Os dados de aminoácidos obtidos em cada estudo foram submetidos a regressão linear. As equações resultantes foram usadas para prever a quantidade necessária de aminoácidos que a tilápia-do-nylo precisaria para crescer a uma taxa máxima.

Para os 22 estudos que não atenderam aos critérios de seleção listados no item 3.2.1 - e por isso não permitiram gerar equação para alguns aminoácidos essenciais (metionina, treonina, fenilalanina, isoleucina, leucina e valina) - as suas recomendações foram baseadas na proporção de aminoácidos com base na lisina obtida em ensaios de deleção de aminoácidos (Tabela 10). Os estudos de deleção visam estimar a proporção ideal entre os aminoácidos essenciais. Portanto, estimando a exigência de lisina, é possível balancear as exigências daqueles aminoácidos os quais a regressão linear não pode ser aplicada. As necessidades de arginina, histidina, lisina e triptofano foram obtidas pelas equações geradas no presente estudo, em que cada ponto do gráfico é um tratamento. Para cada estudo selecionado foram utilizados dois tratamentos, aqueles estimados entre o nível ótimo para reduzir os possíveis efeitos no consumo de ração. Caso contrário, os dados poderiam ser subestimados ou superestimados pela deficiência ou excesso do aminoácido teste.

Tabela 10. A relação aminoácido/lisina baseada na técnica de deleção de aminoácidos para tilápia-do-nilo em diferentes estágios de crescimento, utilizada para calcular a recomendação de cada aminoácido (mg g⁻¹ de ganho de peso), quando não foi possível aplicar a regressão linear.

Aminoácidos essenciais, %	DIÓGENES et al., 2016	NASCIMENTO et al., 2020	RODRIGUES et al., 2021
	20 to 50 g	158 to 250 g	620 to 710 g
Lisina	100	100	100
Metionina	64 ¹	41	41
Treonina	93	103	89
Triptofano	24	15	23
Arginina	125	86	81
Fenilalanina	101 ²	64	70
Histidina	34	30	34
Isoleucina	57	56	51
Leucina	96	84	66
Valina	76	60	73

¹Metionina + cistina e ² fenilalanina + tirosina (apenas no primeiro estudo).

3.2.5. Análise estatística

Análises exploratórias e outliers foram realizadas usando o software SAS, versão 9.4 (SAS Institute Inc. Cary, NC, EUA). A regressão linear e as predições foram realizadas usando o software Excel, Office 365.

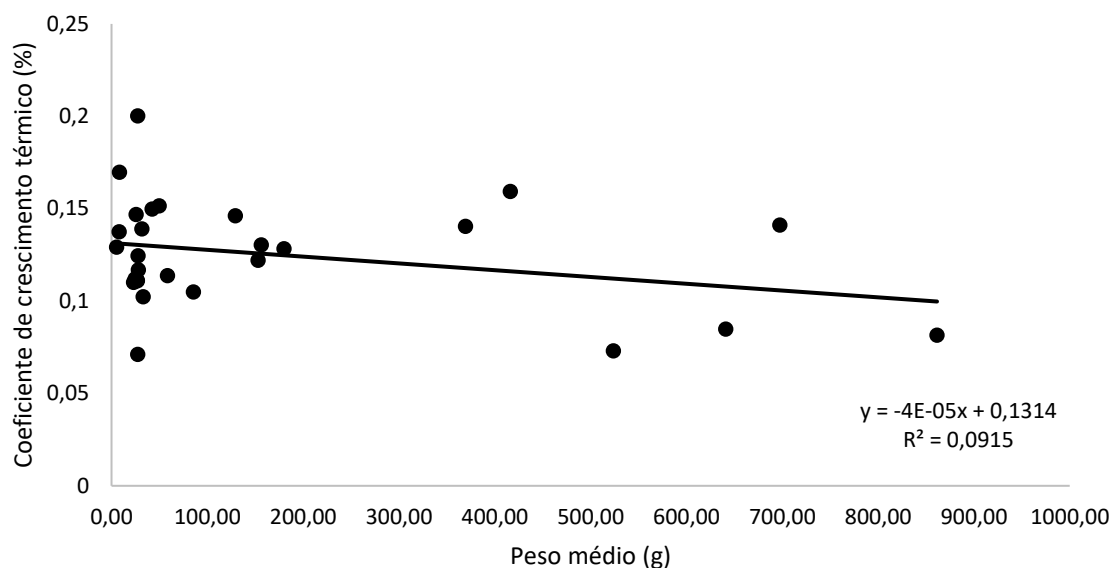
3.3. RESULTADOS

Os estudos compilados concentram-se em juvenis de tilápia, com poucos estudos para fases acima de 100 g. A lisina e a metionina são os aminoácidos mais estudados, em contrapartida, há falta de dados para aminoácidos como isoleucina, valina e fenilalanina. O tipo de dieta (ingredientes práticos e/ou semipurificados) e o manejo alimentar (saciedade aparente ou restrito) variam entre os estudos. Além disso, foi observada uma inconsistência nos dados de aminoácidos essenciais na dieta, com dados analisados e calculados, bem como na matéria seca e na base de ração. Essas divergências entre os estudos nos fizeram estabelecer critérios para sua seleção dos dados.

3.3.1. Crescimento e consumo de ração

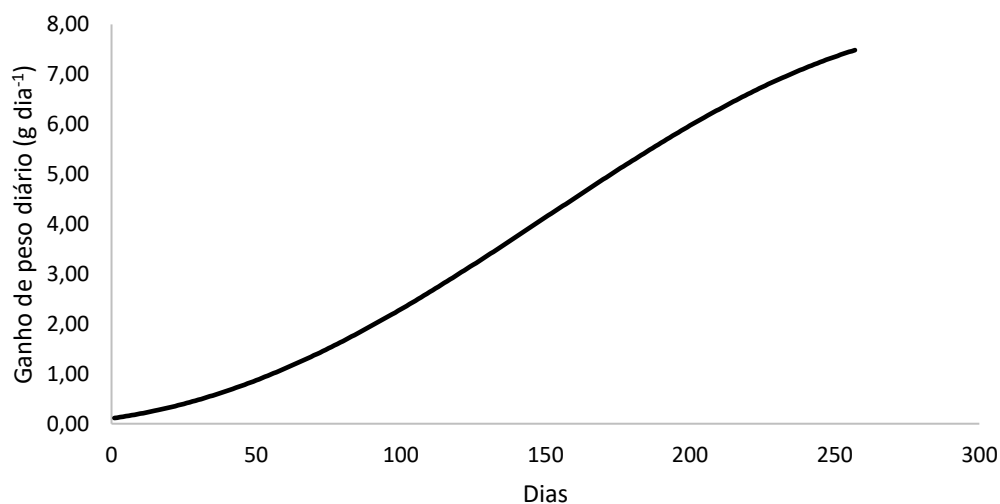
Os valores do coeficiente de crescimento térmico variaram de 0,08 a 0,17 e apresentaram tendência decrescente com o aumento do peso do peixe. Por outro lado, os valores preditos variaram de 0,10 a 0,13. O maior número de dados foi encontrado para a fase juvenil e poucos estudos para peixes adultos (Figura 2).

Figura 2. Regressão linear baseada nos dados do coeficiente de crescimento térmico compilados para a tilápia-do-nylo (n = 28).



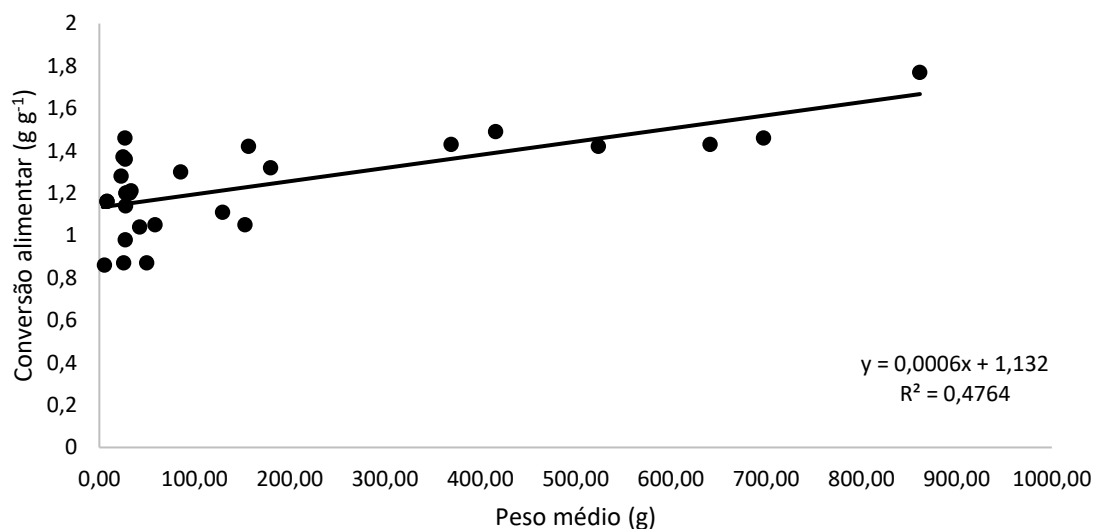
A partir da equação linear obtida da compilação dos dados do CCT, foi gerada uma curva de crescimento com dados de ganho de peso diário, que posteriormente foram utilizados para estimar a demanda diária de cada aminoácido (Figura 3).

Figura 3. Ganho de peso diário predito pelo coeficiente de crescimento térmico para tilápia-do-nylo de 1 a 800 g.



A conversão alimentar mostrou um padrão crescente variando de 0,98 a 1,65, enquanto os dados preditos variaram de 1,12 a 1,65.

Figura 4. Regressão linear baseada nos dados de conversão alimentar coletados para a tilápia-do-nylo (n = 28).



O consumo de ração diário e a taxa de alimentação durante o ciclo de produção da tilápia-do-nylo de 1 a 800 g foram estimados pela conversão alimentar predita e ganho de peso diário predito pelo CCT (Figura 5 e Tabela 11). Os valores da taxa de alimentação representam a média dos valores preditos entre as faixas de peso avaliadas.

Figura 5. Consumo de ração diário predito pela conversão alimentar com valores diários de ganho de peso corporal para tilápia-do-nylo de 1 a 800 g.

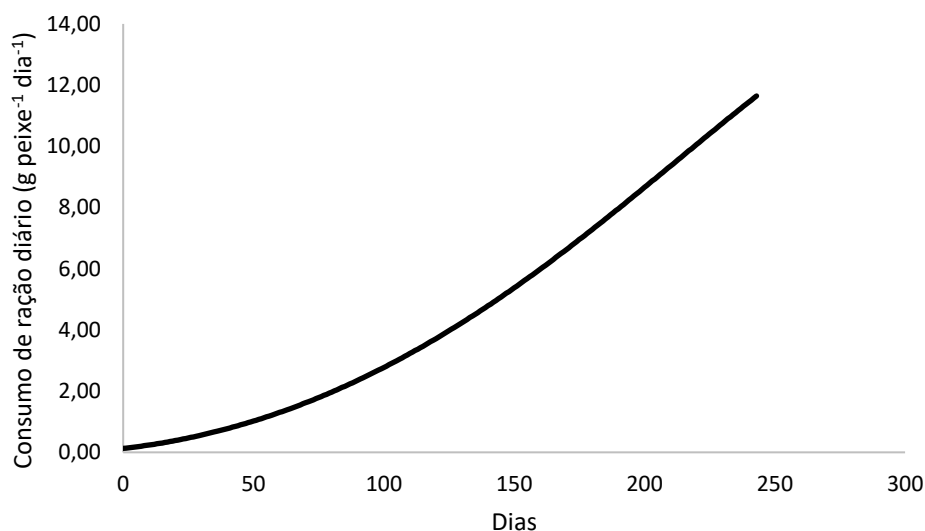


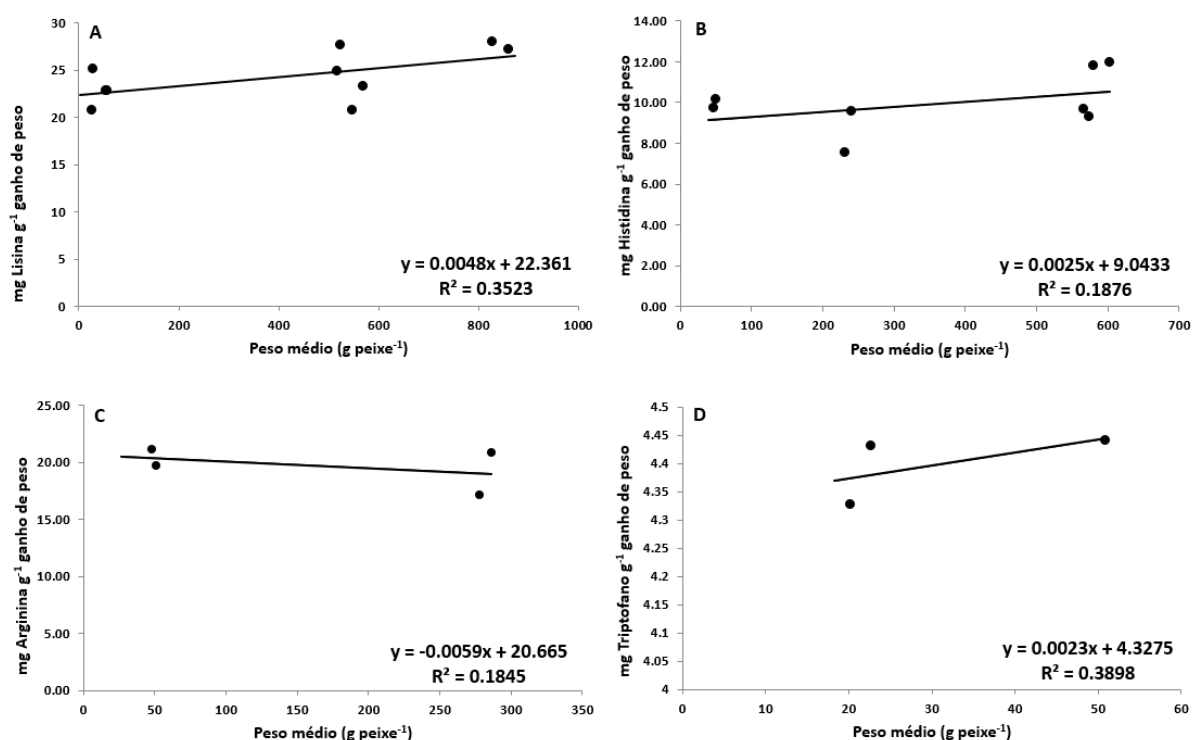
Tabela 11. Consumo de ração (% peso corporal) para tilápia-do-nilo em diferentes estágios de crescimento e temperatura.

Peso vivo, g	Temperatura, °C		
	26 a 30	24 a 26 e 30 a 32	20 a 24
Consumo de ração, % peso corporal			
1 a 5	9,9	7,9	5,9
5 a 10	6,8	5,4	4,1
10 a 30	5,1	4,1	3,1
30 a 50	3,9	3,2	2,4
50 a 75	3,4	2,7	2,0
75 a 100	3,0	2,4	1,8
100 a 150	2,7	2,2	1,6
150 a 200	2,4	2,0	1,5
200 a 250	2,3	1,8	1,4
250 a 300	2,1	1,7	1,3
300 a 400	2,0	1,6	1,2
400 a 500	1,8	1,5	1,1
500 a 600	1,7	1,4	1,0
600 a 800	1,6	1,3	1,0
> 800	1,4	1,2	0,9

3.3.2. Exigência de aminoácidos

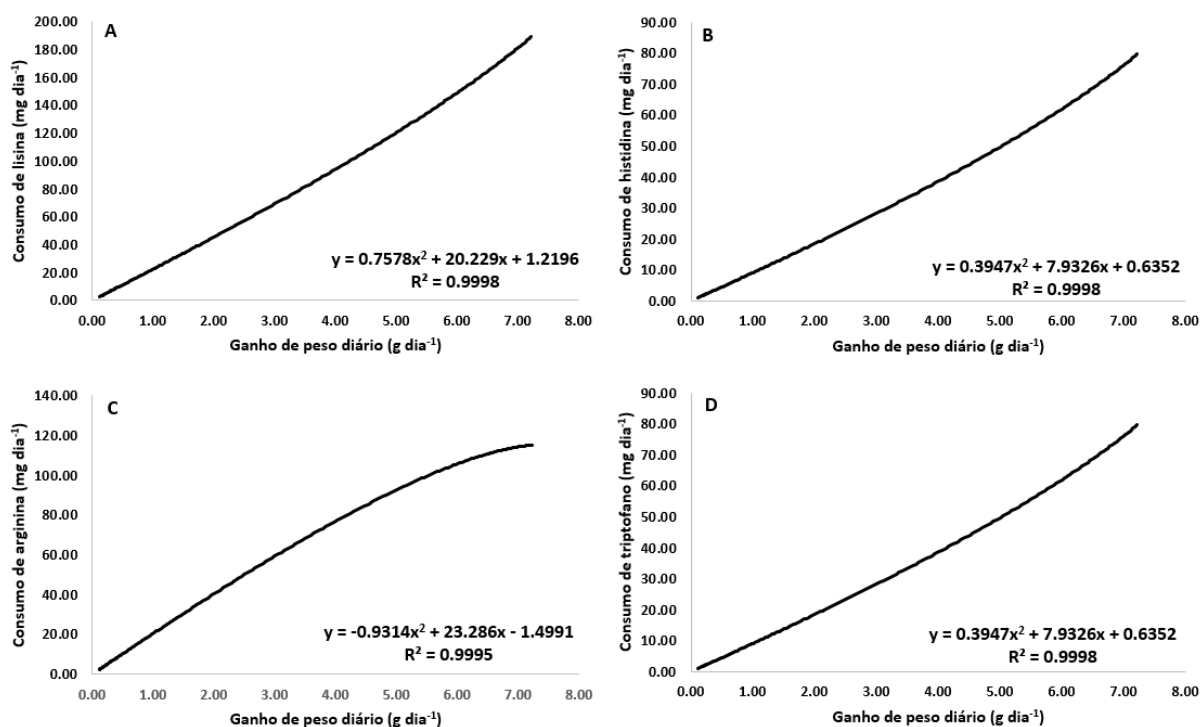
As equações foram obtidas predizendo a quantidade de aminoácidos necessária para ganhar um grama de peso corporal, com base na regressão linear (Figura 4). No entanto, algumas equações não foram geradas para os aminoácidos como fenilalanina, isoleucina, leucina, metionina, treonina e valina devido aos critérios utilizados para selecionar os estudos, e suas respectivas recomendações foram baseadas na relação aminoácido: lisina obtida em ensaios de deleção de aminoácidos para tilápia-do-nilo.

Figura 6. Exigência predita de lisina (n = 10) (a), histidina (n = 8) (b), arginina (n = 4) (c) e triptofano (n = 4) (d) para a tilápia-do-nilo.



Após estimar a quantidade de aminoácidos necessária para ganhar um grama de peso, os dados de ganho de peso diário foram usados para obter as quantidades diárias de arginina, histidina, lisina e triptofano em mg por dia necessárias para manter a taxa de crescimento predita no estudo (Figura 7).

Figura 7. A exigência diária de lisina (a), histidina (b), arginina (c) e triptofano (d) para manter o crescimento predito para a tilápia-do-nilo de 1 a 800 g.



De acordo com os modelos, diferentes perfis de aminoácidos foram preditos para a tilápia-do-nilo em diferentes estágios de crescimento (1 – 100 g, 100 – 300 g, 300 – 500 g e 500 – 800 g) e temperaturas. As recomendações são expressas em aminoácidos totais com base na matéria seca. A recomendação dos aminoácidos essenciais para a tilápia-do-nilo em diferentes temperaturas e fases de crescimento são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12. Recomendação de aminoácidos para tilápia-do-nilo em várias faixas de temperatura e fases de crescimento¹.

Aminoácidos essenciais, %	Peso corporal, g									
	Inclusão, %					Temperatura 24 a 26°C e 30 a 32°C				
	1 a 100	100 a 300	300 a 500	500 a 800		1 a 100	100 a 300	300 a 500	500 a 800	
Temperatura 20 a 24° C										
Arginina	2,94	2,62	2,28	1,98		2,20	1,96	1,71	1,48	
Histidina	1,32	1,28	1,25	1,25		0,99	0,96	0,94	0,94	
Isoleucina	1,86	1,75	1,54	1,46		1,39	1,31	1,15	1,09	
Leucina	3,13	2,63	1,99	1,88		2,35	1,97	1,49	1,41	
Lisina	3,26	3,13	3,02	2,85		2,45	2,35	2,26	2,14	
Metionina	1,34	1,28	1,24	1,17		1,00	0,96	0,93	0,88	
Fenilalanina	2,18	2,00	2,11	2,00		1,64	1,50	1,58	1,50	
Treonina	3,03	3,22	2,69	2,54		2,27	2,42	2,02	1,90	
Triptofano	0,64	0,64	0,65	0,68		0,48	0,48	0,49	0,51	
Valina	2,48	2,19	2,20	2,08		1,86	1,64	1,65	1,56	
Temperatura 26 a 30° C										
Arginina	1,76	1,57	1,37	1,19		1,76	1,57	1,37	1,19	
Histidina	0,79	0,77	0,75	0,75		0,79	0,77	0,75	0,75	
Isoleucina	1,12	1,05	0,92	0,87		1,12	1,05	0,92	0,87	
Leucina	1,88	1,58	1,20	1,13		1,88	1,58	1,20	1,13	
Lisina	1,96	1,88	1,81	1,71		1,96	1,88	1,81	1,71	
Metionina	0,80	0,77	0,74	0,70		0,80	0,77	0,74	0,70	
Fenilalanina	1,31	1,20	1,27	1,20		1,31	1,20	1,27	1,20	
Treonina	1,82	1,93	1,61	1,52		1,82	1,93	1,61	1,52	
Triptofano	0,38	0,39	0,39	0,41		0,38	0,39	0,39	0,41	
Valina	1,49	1,31	1,32	1,25		1,49	1,31	1,32	1,25	

¹ Os níveis de aminoácidos são expressos em base total e matéria seca, os níveis podem ser convertidos para base na alimentação considerando uma dieta com 90% de matéria seca.

3.4. DISCUSSÃO

De acordo com a teoria de consumo de ração e crescimento proposta por Emmans (1981, 1989), os animais tendem a crescer para atingir seu potencial genético, o que implica que precisam ingerir quantidade suficiente de nutrientes para atingir tal objetivo. Estudos de dose-resposta tiveram um impacto importante para elucidar as necessidades de aminoácidos na dieta, mas as recomendações são limitadas pelas condições experimentais quando o nível ideal é expresso em porcentagem ou por g kg^{-1} de dieta. Essa abordagem pode subestimar ou superestimar as recomendações de aminoácidos, porque a ingestão de ração em organismos ectotérmicos, como peixes, varia com a temperatura da água (TURCHINI et al., 2010). O consumo de ração é uma informação importante para compreender a demanda diária de um determinado nutriente. Por exemplo, em um estudo com codornas, a exigência de valina foi inicialmente estimada em $8,3 \text{ g kg}^{-1}$ de dieta com uma ingestão de valina de 160 mg dia^{-1} e uma ingestão diária de ração de $19,4 \text{ g dia}^{-1}$ (ALLEN e YOUNG, 1980). No entanto, em um estudo recente (MARTINEZ et al., 2021), diferentes desempenhos produtivos foram observados usando o mesmo nível de valina, e neste caso, o consumo de ração foi maior (23 g dia^{-1}) com uma ingestão de valina de 190 mg dia^{-1} . Isso desafia a expressão de uma exigência de aminoácidos como uma concentração dietética, porque o consumo de ração pode mudar dependendo da linhagem do animal, das condições ambientais e do conteúdo do nutriente limitante na dieta (EMMANS, 1987).

Quando os peixes são alimentados com uma dieta formulada com todos os nutrientes essenciais nos níveis exigidos, mas com uma taxa de alimentação restrita, eles não crescerão necessariamente em seu potencial máximo. Se o consumo de ração for diferente daquele utilizado para estabelecer a exigência, não se pode esperar um crescimento semelhante. No estudo conduzido por He et al. (2013) com tilápia-do-nilo, diferentes taxas de alimentação (2, 4, 6 e 8%) foram testadas usando um único nível de lisina (1,68%) e diferentes ganhos de peso foram obtidos (30,50 a 148,30 g). Além disso, quando considerado o consumo diário de lisina, os peixes consumiram de 9,70 a 52,25 $\text{mg peixe}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, o que reflete a grande diferença observada no crescimento entre as taxas de alimentação testadas. No entanto, ao avaliar a quantidade de lisina necessária para ganhar 1 g de peso, houve apenas uma pequena variação nos dados obtidos (17,9 a 19,7 mg g^{-1} de ganho de peso).

Na abordagem proposta pelo presente estudo, a mensuração do consumo de ração é de extrema importância, e juntamente com um coeficiente de crescimento (como o CCT) (Figura 2), permite prever a demanda diária de um determinado aminoácido para atender um crescimento desejado. Conhecer tal plasticidade do crescimento, nos permite formular uma

dieta balanceada para uma determinada espécie. Por esta razão, o primeiro passo desta abordagem foi prever o ganho diário do peso corporal (Figura 3). Nesse sentido, os dados de crescimento gerados refletiram as respostas encontradas em diversos estudos. E os dados compilados e calculados dos coeficientes de crescimento térmico foram essenciais para essas estimativas. Após conhecer o comportamento de crescimento da tilápia-do-nilo, o próximo passo foi estimar o consumo de ração. O grande desafio está em conhecer a capacidade dos peixes em consumirem ração. Ao contrário de outras espécies de criação, como aves e suínos, em que a ração é oferecida *ad libitum*, isso não é possível com os peixes, o que dificulta que esses animais consumam as quantidades necessárias de cada nutriente. Neste caso, a demanda nutricional é totalmente dependente da capacidade do piscicultor em fornecer as quantidades necessárias de ração. Devido à escassez de estudos que avaliassem as respostas ao consumo de ração em peixes, os valores diários de consumo de ração foram estimados a partir do compilado de dados de conversão alimentar para tilápia-do-nilo, que juntamente com os dados de ganho de peso diário permitiram o cálculo do consumo de ração e taxa de alimentação (Figura 5 e Tabela 11).

Nos ensaios de alimentação, os peixes podem ser alimentados de forma restrita (% biomassa) ou até a saciedade aparente. Em condições práticas de criação, os peixes são alimentados de forma restrita (taxa de arraçoamento). Por outro lado, na maioria dos estudos de exigências nutricionais, os peixes são alimentados até a aparente saciedade. Quando o objetivo é estimar a necessidade de um nutriente, é necessário alimentar os peixes até a saciedade aparente para permitir a expressão do potencial máximo de crescimento ao ingerir concentrações conhecidas de um nutriente teste. Pensando nisso, as equações geradas pelos modelos de regressão em estudos de dose-resposta com alimentação até a saciedade aparente, permitem conhecer a resposta do peixe frente a ingestão do nutriente. Ao conhecer essas respostas, é possível reduzir a concentração do nutriente alvo na dieta, em cenários onde é necessário reduzir os custos com alimentação. Compreender esses dados e combiná-los com uma análise econômica ajudará o nutricionista a tomar decisões ao formular uma ração para obter o máximo lucro. O que se busca é o nível econômico ótimo de cada nutriente, por isso é importante conhecer as respostas dos animais a um aumento dietético do nutriente alvo (GOUS, 2007). Portanto, entender essas respostas junto com os custos e margens financeiras é fundamental para maximizar o lucro.

No presente estudo, a exigência de aminoácidos estimada em mg g^{-1} de ganho de peso teve comportamento crescente para lisina, histidina e triptofano, exceto para arginina que apresentou inclinação decrescente (Figura 6). O aumento na exigência de aminoácidos pode

estar relacionado à eficiência de utilização dos aminoácidos, que tende a diminuir ou se manter constante com o crescimento dos peixes. A eficiência de utilização da lisina foi estimada para a tilápia-do-nilo em diferentes fases de crescimento, e apesar de uma ligeira redução na eficiência de utilização da lisina entre as fases avaliadas, não houve diferença estatística. Os dados estimados foram 60,47, 60,10 e 58,95% para as fases de iniciais (2 g peso inicial), crescimento (400 g) e terminação (700 g), respectivamente (ROMANELI et al., 2021). A propósito, quando He et al., 2013 estabeleceu a eficiência de utilização de lisina e metionina e Hua et al., 2019 apenas para lisina, em ambos os estudos a eficiência de utilização diminuiu significativamente quando o peixe cresce. Um ponto que deve ser discutido, se o equilíbrio de aminoácidos ou a metodologia aplicada pode realmente afetar essas respostas. Segundo Gous (2007), se a resposta dos animais a um determinado nutriente da dieta teste for influenciada pela alteração no balanço de aminoácidos, a eficiência de utilização dos aminoácidos limitantes pode ser superestimada, sendo esse desequilíbrio comum na técnica de suplementação. É notável que níveis crescentes na técnica de suplementação causam proporções diferentes entre o aminoácido teste em relação aos outros aminoácidos essenciais, o que não ocorre na técnica de diluição, no qual todos os aminoácidos aumentam na mesma proporção quando o aminoácido teste é aumentado na dieta. No entanto, como o equilíbrio ou desequilíbrio no perfil de aminoácidos pode afetar as respostas da tilápia, ainda é desconhecido.

Com a obtenção das equações que estimam a exigência em mg g^{-1} de ganho de peso, é possível estimar a exigência em diferentes estágios de crescimento. No presente estudo, esses dados foram usados junto com dados de ganho de peso diário para estimar a quantidade diária de cada aminoácido essencial em mg dia^{-1} , que a tilápia-do-nilo precisaria para atingir a taxa de crescimento desejada (Figura 7). Sabendo as necessidades diárias de cada aminoácido, o próximo passo é saber as concentrações adequadas a serem incluídas na dieta. Neste ponto, conhecer o consumo de ração é essencial para estimar as concentrações dietéticas de cada aminoácido. Por meio da estimativa do consumo de ração, o presente estudo estimou os níveis de aminoácidos essenciais da dieta para a tilápia-do-nilo em diferentes fases de crescimento e temperaturas (Tabela 12). No entanto, os dados obtidos neste estudo estão relacionados ao compilado de dados de crescimento e consumo de ração da literatura. Usando novos dados de crescimento e consumo de ração obtidos de uma piscicultura, novas recomendações serão geradas para atender a essas novas condições. Por esta razão, a abordagem aplicada neste estudo torna o processo de formulação e utilização dos níveis de aminoácidos dietéticos tão dinâmico. Como os níveis de inclusão de cada aminoácido na dieta são tão dinâmicos, o ponto chave deste estudo é entender a importância de considerar os dados de crescimento e, principalmente, o

consumo de ração para gerar os níveis mais adequados para as condições da piscicultura. No estudo, os dados de lisina totais obtidos na temperatura ótima (26 a 30°C) para tilápias entre 1 e 100 g foi de 1,96%, sendo próximo quando comparado a estudos realizados na mesma faixa de peso que foi em média $1,92\% \pm 0,27$ (TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010; FURUYA et al., 2012; PRABU et al., 2019). Para tilápia de 100 a 300 g e de 300 a 500 g, os níveis estimados foram de 1,88% e 1,81%, respectivamente, acima dos dados obtidos na literatura de 1,31% (lisina digestível na matéria natural) (FURUYA et al., 2013) e 1,46% (lisina total na matéria seca) (MICHELATO et al., 2016). No geral, os níveis estabelecidos não divergem da literatura, exceto para a treonina, em que o nível estimado no estudo foi de 1,52% (500 a 800 g), sendo superior à literatura que estimou 1,20% de lisina total na matéria seca para tilápias na mesma faixa de peso (MICHELATO et al., 2016b). Há uma carência de dados sobre aminoácidos para tilápias acima de 100 g, o que dificulta a comparação dos dados estimados para essas fases de engorda. É importante relatar que o objetivo do estudo não é desconsiderar os níveis já obtidos em estudos de dose-resposta, mas apresentar uma abordagem diferente que considera o consumo de ração dentro da variável que estima as exigências de aminoácidos.

O desenvolvimento de ferramentas que possam auxiliar no manejo alimentar na piscicultura é importante para a sustentabilidade e rentabilidade da produção aquícola. Além disso, o mau uso da ração tem impacto não só na lucratividade da piscicultura, mas também aumenta a excreção de efluentes da aquicultura que podem causar eutrofização do ambiente aquático (ZHANG et al., 2015). A abordagem do estudo permite não só formular dietas adequadas para diferentes condições de piscicultura de tilápia, como também possibilita a estruturação de planos de manejo para o uso da ração. Por exemplo, há casos em que o piscicultor não terá acesso a uma ração personalizada para as condições de sua piscicultura. No entanto, se o piscicultor ou fábrica de ração tiver a composição dos aminoácidos essenciais da dieta, é possível criar um plano de alimentação com base nos dados registrados de crescimento e consumo de ração de produções anteriores. Isso permitirá que o piscicultor tenha um melhor aproveitamento da ração.

As equações geradas pelo estudo são um primeiro passo para a formulação de dietas customizadas às condições de produção de cada piscicultura. Ao estimar as recomendações de aminoácidos para tornar as dietas mais adequadas e personalizadas para uma determinada espécie, é importante considerar o consumo de ração e a capacidade de crescimento dos peixes. No entanto, poucos dados foram utilizados para estimar a exigência de aminoácidos em mg g^{-1} de ganho de peso no presente estudo, pois uma parte dos estudos publicados sobre a exigência

de aminoácidos para a tilápia-do-nilo não se enquadraram nos critérios estabelecidos. Assim, mais dados são necessários para tornar as estimativas do modelo mais robustas e precisas.

3.5. CONCLUSÃO

A abordagem deste estudo, que considera as variáveis de crescimento e consumo de ração para estimar as exigências de aminoácidos em mg g^{-1} de ganho de peso, possibilitou a obtenção de níveis de aminoácidos essenciais na dieta para atender as necessidades nutricionais da tilápia-do-nilo em diferentes temperaturas e estágios de crescimento. O entendimento do consumo de ração, aliado aos indicadores de crescimento, permite ao piscicultor gerenciar melhor o uso da ração, tornando a piscicultura mais sustentável e rentável.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, N. K.; YOUNG, R. J. Studies on the Amino Acid and Protein Requirements of Laying Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). **Poultry Science**, v. 59. n. 9, p. 2029–2037, 1980. <https://doi.org/10.3382/ps.0592029>.
- ARAÚJO, F. E. et al. Assessment of isoleucine requirement of fast-growing Nile tilapia fingerlings based on growth performance, amino acid retention, and expression of muscle growth-related and mTOR genes. **Aquaculture**, v.539, 736645, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736645>.
- AZAZA, M.S.; DHRAIEF, M.N.; KRIEM, M.M. Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. **Journal of Thermal Biology**, v. 33, p. 98–105, 2008.
- BALLESTER-MOLTÓ, M. et al. Particulate waste outflow from fish-farming cages. How much is uneaten feed? **Marine Pollution Bulletin**, v. 119, p. 23–30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.004>.
- BOMFIM, M. A. D. et al. Redução de proteína bruta com suplementação de aminoácidos, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 1713-1720, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001000001>.
- BOMFIM, M.A.D. et al. Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1-8, 2010.
- CORRÊA, C.F. et al. Dietary lipid sources affect the performance of Nile tilapia at optimal and cold, suboptimal temperatures. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, p. 1016–1026, 2017.
- CORRÊA, C.F. et al. Mixes of plant oils as fish oil substitutes for Nile tilapia at optimal and cold suboptimal temperature. **Aquaculture**, v. 497, p. 82–90, 2018.
- COWEY, C. B. Protein and amino acid requirements: A critique of methods. **Journal of**

Applied Ichthyology, v. 11, n. 3–4, p. 199–204, 1995.

DA SILVA, B.C. et al. Monocultivo de tilápia em viveiros escavados em Santa Catarina. **Sistemas de Produção**, v. 52, p. 126, 2020.

DA NÓBREGA, I.P.T. et al. Dynamics of Growth and Egg Traits in Three Dietary Balanced Protein Scenarios Applied for Laying Hens. **Animals**, v. 12, 1371, 2022.
<https://doi.org/10.3390/ani12111371>.

DIÓGENES, A. F. et al. Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 435–443, 2016. <https://doi.org/10.1111/anu.12262>.

EL-SAYED, A.F.; EL-GHOBASHY, A.; EL-MEZAYEN, M. Effect of feed colour on growth and feed utilization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae and fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 19, p. 870–876, 2013.

EMMANS, G.C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: Hillyer, G.M., Whittemore, C.T., Gunn, R.G. (Eds.), **Computers in Animal Production**. Occasional Publication, Edinburgh, UK, n. 5, p. 103–110, 1981.
<https://doi.org/10.1017/S0263967X00003761>.

EMMANS, G.C. Growth, body composition and feed intake. **World's Poultry Science Journal**, v. 43, p. 208–227, 1987. <https://doi.org/10.1079/WPS19870014>.

EMMANS, G.C. The growth of turkeys. In: Nixey, C., Grey, T.C. (Eds.), Recent Advances in Turkey Science, Poultry Science Symposium, Butterworths, London, n. 21, p. 135–166. 1989.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Towards Blue Transformation. Rome, 2022a

FAO. FishStatJ: universal software for fishery statistical time series: aquaculture production 1950–2020. FAO, Rome, 2022b.

FATTAH-ABEL, A.F. et al. Impact of feeding system on the behaviour and performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 538, 736514, 2021.

FIGUEIREDO-SILVA, C. et al. Effect of DL-methionine supplementation on the success of almost total replacement of fish meal with soybean meal in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 21, p. 234–241, 2015. <https://doi.org/10.1111/anu.12150>.

FISHER, C.; MORRIS, T.R. The determination of the methionine requirements of laying pullets by a diet dilution technique. **British Poultry Science**, v. 11, p. 67–82, 1970.
<https://doi.org/10.1080/00071667008415793>.

FURUYA, W.M. et al. Exigência de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 937–942, 2006.

FURUYA, W. M. et al. Digestible lysine requirement of Nile tilapia fingerlings fed arginine-to lysine-balanced diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41(3), p. 485–490, 2012.

FURUYA, W.M. et al. Digestible lysine requirement of Nile tilapia from 86 to 227 g fed arginine to lysine balanced diets. **Ciência Agrária**, v. 34(4), p. 1945-1954, 2013.

GOUS, R.M. Methodologies for modelling energy and amino acid responses in poultry. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 263 – 275, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000024>.

HAU, K.; SUNWENDI, E.; BUREAU, D.P. Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 505, p. 47–53, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.030>.

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**, v. 19, n. 4, p. 629-640, 2013.

HISANO, H. et al. Effect of feeding frequency on water quality, growth, and hematological parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared using biofloc technology. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 1–15, 2020. <https://doi.org/10.1080/10454438.2020.1715909>.

IBGE, 2021. Produção da pecuária municipal 2020 (Vol. 48, p. 1 - 12). Rio de Janeiro, Brazil.

KONNERT, G.D.P. et al. Balancing protein and energy in Nile tilapia feeds: A meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-22, 2022. <https://doi.org/10.1111/raq.12671>.

LIEBERT, F. Amino acid requirement studies in *Oreochromis niloticus* with application of principles of the diet dilution technique. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 93, p. 787-793, 2009.

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**, v. 41, p. 937–950, 2015.

MARTINS, C.I. et al. Behavioural indicators of welfare in farmed fish. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 38, p. 17–41, 2012.

MARTINEZ, K. N. M. et al. The response of reproducing Japanese quail to dietary valine, **British Poultry Science**, v. 62, n. 5, p. 726-730, 2021. <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1905775>.

MICHELATO, M. et al. Digestible methionine + cystine requirement for Nile tilapia from 550 to 700 g. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 1, p. 7-12, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000100002>.

MICHELATO, M. et al. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 457, p. 124-130, 2016a. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>.

MICHELATO, M. et al. Dietary threonine requirement to optimize protein retention and fillet production of fast-growing Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 759-766, 2016b. <https://doi.org/10.1111/anu.12293>

MICHELATO, M. et al. Dietary histidine requirement of Nile tilapia juveniles based on growth performance, expression of muscle-growth-related genes and haematological responses. **Aquaculture**, v. 20, p. 63-70, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.038>

MICHELATO, M.; FURUYA, W.M.; GATLIN, D.M. Metabolic responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* to methionine and taurine supplementation. **Aquaculture**, v. 485, p. 66–72, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.003>.

NASCIMENTO, T.M.T. et al. Determination of the optimum dietary essential amino acid profile for growing phase of Nile tilapia by deletion method. **Aquaculture**, v. 30, 735204, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735204>.

NEU, D. et al. Growth Performance, Biochemical Responses, and Skeletal Muscle Development of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Fed with Increasing Levels of Arginine. **Journal of World Aquaculture Society**, v.47, n.2, p. 248-259, 2016. <https://doi.org/10.1111/jwas.12262>.

NEU, D. H. et al. Growth performance, hematology, and muscle growth in isoleucine fed Nile tilapia. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, p. 231– 242, 2017. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n2p231>.

NGUYEN, T. N.; DAVIS, D. A. Methionine Requirement in Practical Diets of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of World Aquaculture Society**, v. 40, p. 410-416, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00261.x>.

NGUYEN, L. et al. Tryptophan requirement in semi-purified diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 15, p. 258-267, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.049>

OLIVA-TELES, A. et al. Dietary protein requirements of fish – a meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-33, 2019. <https://doi.org/10.1111/raq.12391>.

PRABU, E. et al. Effects of dietary L-lysine supplementation on growth, body composition and muscle-growth-related gene expression with an estimation of lysine requirement of GIFT tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 26, p. 568– 578, 2019.

PRABU, E. et al. Metabolic responses of juvenile GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to dietary L-tryptophan supplementation. **Aquaculture Nutrition**, v.26, p. 1713– 1723, 2020. <https://doi.org/10.1111/anu.13122>

PRABU, E. et al. Dietary arginine requirement in diets of GIFT strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Effects on growth performance, whole-body composition, growth-related gene expression and haemato-biochemical responses. **Aquaculture Research**, v. 52, p. 4816-4828, 2021. <https://doi.org/10.1111/are.15315>

RAMPE, M.C.C. et al. Adição de lisina digestível em rações experimentais para juvenis de tilápia-do-nilo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66(5), p. 1557-1566, 2014.

RICHTER, B. L. et al. Combination of lysine and histidine improves growth performance, expression of muscle growth-related genes and fillet quality of grow-out Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, p. 568–580, 2021. <https://doi.org/10.1111/anu.13207>.

RODRIGUES, A.T. et al. Ideal profile of essential amino acids for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the finishing growth phase. **Aquaculture Research**, v. 51, p. 4724–4735, 2020. <https://doi.org/10.1111/are.14819>.

ROMANELI, R.S. et al. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to lysine: Performance, body composition, maintenance and efficiency of utilization. **Aquaculture**, v. 538, 736522, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736522>.

SANTIAGO, C.B.; LOVELL, R.T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. **Journal of Nutrition**, v.118, p. 1540–1546, 1988.

SAS Institute. SAS/STAT, User's Guide: Statistics. Version 9.4. SAS Inst. Inc., Cary, NC.388, 2010.

SILVA, E.P. et al. 2021. Sulfur amino acid requirements for pullets in growth and pre-laying trials. **Animal Production Science**, v. 61, p. 1526–1533. <https://doi.org/10.1071/AN20448>.

SHI, Y. et al. Dietary leucine requirement of tilapia (GIFT *Oreochromis niloticus*). **Journal of Fisheries of China**, v. 38, n. 10, p. 1778-1785, 2014. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2014.49351>.

TAKASHITA, S.S. et al. Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38(11), p. 2099-2105, 2009.

TURCHINI, G.M.; NG, W.-K.; TOCHER, D.R. Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds, 1st ed. Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton. Ways, P., Hanahan, D.J., 1964. Characterization and quantification of red cell lipids in normal man. **Journal of Lipid Research**, v. 5, p. 318–328, 2010.

VIANNA, R. A. et al. Effect of experimental arginine supplementation on the growth, immunity and resistance of tilapia fingerlings to *Streptococcus agalactiae*. **Aquaculture Research**, v. 51, p. 1276– 1283, 2020. <https://doi.org/10.1111/are.14478>

WEBSTER, C.D.; LIM, C. Introduction to Fish Nutrition. In: Webster, C.D.; Lim, C. (Eds.). Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. New York: CABI Publishing. p. 388-395, 2002.

WEBER, T.E.; BOSWORTH, B.G. Effects of 28 day exposure to cold temperature or feed restriction on growth, body composition, and expression of genes related to muscle growth and metabolism in channel catfish. **Aquaculture**, v. 246, p. 483–492, 2005.

WILSON R.P.; POE W.E. Relationship of whole and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 80b, p.385 - 388, 1985. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(85\)90224-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(85)90224-X).

WILSON, R.P. Amino acids and proteins. In: Fish Nutrition, 3rd edn, ed. by J.E. Halver & R.W. Hardy), pp.143-179. Academic Press, New York, NY, USA. 2002.

WU, W. et al. Dietary arginine requirement of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*), **Chinese Journal of Animal Nutrition**, v.28, n. 5, p. 1412-1424, 2016.

XIAO, W. et al. Dietary valine requirement of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 315-323, 2017. <https://doi.org/10.1111/anu.12562>

XU, H. et al. Interactive effects of water salinity and dietary methionine levels on growth performance, whole-body composition, plasma parameters, and expression of major nutrient metabolism genes in juvenile genetically improved farmed Tilapia (*Oreochromis niloticus*), **Aquaculture**, v. 546, 737381, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737381>.

ZHANG, Y.; BLEEKER, A.; LIU, J. Nutrient discharge from China's aquaculture industry and associated environmental impacts. **Environmental Research Letters**, v. 10, 045002, 2015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/4/045002>.

ZAMINHAN-HASSEMER, M. et al. Dietary histidine requirement of Nile tilapia juveniles based on growth performance, expression of muscle-growth-related genes and haematological responses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.49, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.37496/rbz4920180210>.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o primeiro estudo que teve o objetivo de reduzir o nível de proteína da dieta através da utilização de um perfil balanceado de aminoácidos, foi possível confirmar a hipótese que a exigência dos animais está relacionada a quantidades balanceadas em aminoácidos e não em um nível específico de proteína na dieta. O aumento ou redução no nível proteico na dieta deve seguir proporcionalmente o balanço dos aminoácidos, sendo que a inclusão destes se dá pela necessidade diária, que permita o animal expressar todo o seu potencial de crescimento.

Neste estudo, a estratégia de formulação utilizada para balancear o perfil de aminoácidos atendeu às expectativas, sendo possível realizar um ajuste fino no balanço entre os aminoácidos essenciais. No entanto, a técnica proposta no atual momento não é economicamente viável, porque há uma inclusão expressiva de aminoácidos que ainda têm um custo bem elevado, como a L - histidina, L- fenilalanina e L- Isoleucina. Como informação adicional para as futuras pesquisas, o balanço entre os aminoácidos essenciais pode ser feito de forma relativamente simples. Ao atingir o nível de proteína desejável na dieta, aminoácidos como a arginina, histidina, fenilalanina, isoleucina e leucina - que geralmente não são limitantes nos ingredientes utilizados na fórmula - tendem a estar em excesso, provocando o desbalanço na relação entre os aminoácidos. Porém, isso é facilmente corrigido com a inclusão de níveis mais altos dos aminoácidos que costumam ser limitantes nestes ingredientes, como a metionina, lisina, treonina, triptofano e, em alguns casos, a valina. Com a inclusão destes aminoácidos, acima dos níveis recomendados na literatura, a relação entre os aminoácidos essenciais se equipara. Apesar do balanço desta última estratégia não ser tão refinado quanto a técnica proposta no estudo, o custo da dieta é inferior, passível de aplicação no sistema produtivo.

Já o segundo estudo, com o objetivo de desenvolver um programa alimentar com base em aminoácidos para a tilápia-do-nilo, em diferentes fases de crescimento e temperaturas, foi o passo inicial para a elaboração de dietas que podem ser adaptadas a diferentes condições, dentro da produção. A abordagem que traz a exigência em mg por g de ganho em peso, torna o processo de formulação mais dinâmico e, de acordo com as condições da produção, possibilita ao nutricionista a formulação de uma dieta específica para um determinado objetivo. O estudo tem uma base de dados ainda muito pequena, necessitando de mais informações para melhorar a acurácia dos dados obtidos em mg por g de ganho de peso. No entanto, o conceito que foi abordado é bastante relevante e pode colaborar no desenvolvimento de novos estudos que visem melhorar a composição nutricional das dietas para a tilápia-do-nilo. Além da falta de dados sobre exigências em aminoácidos essenciais para abastecer o modelo, o grande gargalo é o

consumo de dieta. Entender a fundo como funciona o consumo de dieta e os fatores que o afetam são chaves importantes para melhorar a formulação das dietas, pois a composição nutricional dessas rações está inteiramente ligada à capacidade que os animais têm de consumir o alimento. Neste sentido, há uma carência muito grande de linhas de pesquisa voltadas a entender esta dinâmica. Além disso, é notável os problemas com o consumo de dieta em ensaios de crescimento com a tilápia-do-nilo, o que acaba superestimando os dados em mg por grama de ganho em peso, dificultando a utilização prática desses estudos. A alimentação de peixes de forma geral, não é uma tarefa simples, sendo necessário um treinamento específico para os responsáveis pelos estudos.

Uma sugestão importante para os futuros estudos com ensaios de crescimento seria mensurar o consumo de dieta diariamente, quando a alimentação for até a saciedade aparente. Os dados de consumo diário, em conjunto com o coeficiente de crescimento térmico, que prediz o crescimento dos peixes no estudo, trazem informações extremamente importantes para entender a resposta do nutriente no crescimento e na dinâmica do consumo durante este período. Ao mensurar o consumo em períodos maiores como semanalmente, informações valiosas se perdem durante este período.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- ABBOUDI, T. et al. Determination of the threonine requirement for maintenance in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry with the diet dilution procedure. **Aquaculture Nutrition**, v. 13, p. 281–290, 2007.
- AKIYAMA, T. et al. Role of tryptophan metabolites in inhibition of spinal deformity of chum salmon fry caused by tryptophan deficiency. **Japanese Society of Fisheries Science**, v. 52, p. 1255–1259, 1986.
- ARAÚJO, F. E. et al. Assessment of isoleucine requirement of fast-growing Nile tilapia fingerlings based on growth performance, amino acid retention, and expression of muscle growth-related and mTOR genes. **Aquaculture**, v.539, 736645, 2021.
- BAKER, D.H. Comparative species utilization and toxicity of sulfur amino acids. **Journal of Nutrition**, v. 136, p.1670 – 1675, 2006.
- BALLESTER-MOLTÓ, M. et al. Particulate waste outflow from fish-farming cages. How much is uneaten feed? **Marine Pollution Bulletin**, v. 119, p.23–30, 2017.
- BALL, R.O. et al. Nutritional consequences of interspecies differences in arginine and lysine metabolism. **The Journal of Nutrition**, v.137, p.1626–1641, 2007.
- BASIC, D. et al. Short- and long-term effects of dietary L-tryptophan supplementation on the neuroendocrine stress response in seawater-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, p. 388– 391, 2013.
- BOMFIM, M. A. D. et al. Exigência de metionina mais cistina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 783-790, 2008.
- BOMFIM, M.A.D. et al. Níveis de lisina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1-8, 2010.
- BODIN, N. et al. Threonine requirements for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the fry stage are similar. **Aquaculture**, v. 274, p. 353– 365, 2008.
- BOLLIET, V. et al. Effects of feeding time on feed intake and growth. In: HOULIHAN, Dominic; BOUJARD, Thierry & JOBLING, Malcolm. **Food intake in fish**. Oxford: Blackwell Science Ltd, p. 233-249, 2001.
- BROSNAN, J.T.; BROSNAN, M.E. The sulfur-containing amino acids: An overview. **Journal of Nutrition**, v. 136, p. 1636-1640, 2006.
- CHENG, Z. et al. Dietary supplementation of arginine and/or glutamine influences growth performance, immune responses, and intestinal morphology of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*). **Aquaculture**, v. 362–363, p. 39– 43, 2012.
- COWEY, C. B. Protein and amino acid requirements: A critique of methods. **Journal of**

Applied Ichthyology, v. 11, n. 3–4, p. 199–204, 1995.

DAUDA, A.B. et al. Waste production in aquaculture: sources, components, and managements in different culture systems. **Aquaculture and Fisheries**, v. 4 (3), p. 81–88, 2019.

DUMAS, A. et al. Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? **Aquaculture Research**, v. 41, p. 161–181, 2010.

DVORAK, P. Selected specificity of aquarium fish disease. *Bull. VURH Vodnany*. v. 3, p. 101–108, 2004.

D'MELLO, J.P.F. A comparison of two empirical methods of determining amino acid requirements. **World's Poultry Science Journal**, v. 138, p. 114–119, 1982.

DIÓGENES, A. F. et al. Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 435–443, 2016.

EL-SAYED, A.-F.M. Tilapia Culture (the 2nd edition), Academic Press, Elsevier Science Publishing Co Inc., San Diego, USA, 2019.

EMMANS, G.C. Growth, body composition and feed intake. **World's Poultry Science Journal**, v. 43, p. 208–227, 1987.

FAO. 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. Food and nutrition paper 92. FAO: Rome.

FIGUEIREDO-SILVA, C. et al. Effect of DL-methionine supplementation on the success of almost total replacement of fish meal with soybean meal in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 21, p. 234–241, 2015.

FISHER, C.; MORRIS, T.R. The determination of the methionine requirements of laying pullets by a diet dilution technique. **British Poultry Science**, v. 11, p. 67–82, 1970.

FULLER, M.F. Amino acid requirements for maintenance, body protein accretion and reproduction in pigs. In: Amino Acids in Farm Animal Nutrition (J.P.F. D'Mello ed), p. 155–184. CABI Publishing, Edinburgh, 1994.

FURUYA, W. M. et al. Exigências de metionina + cistina total e digestível para alevinos revertidos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.), baseadas no conceito de proteína ideal. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 885–889, 2001.

FURUYA, W.M. et al. Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.1433–1441, 2005.

FURUYA, W.M. et al. Exigência de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 937–942, 2006.

- FURUYA, W. M. et al. Digestible lysine requirement of Nile tilapia fingerlings fed arginine-to lysine-balanced diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41(3), p. 485-490, 2012.
- FURUYA, W.M. et al. Digestible lysine requirement of Nile tilapia from 86 to 227 g fed arginine to lysine balanced diets. **Ciência Agrária**, v. 34(4), p. 1945-1954, 2013.
- GAN, L. et al. Effect of dietary protein reduction with lysine and methionine supplementation on growth performance, body composition and total ammonia nitrogen excretion of juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idella*. **Aquaculture Nutrition**, v. 18, n. 6, p. 589–598, 2012.
- GAN, L. et al. Dietary leucine requirement of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v.22, p. 1040-1046, 2016.
- GAYLORD, T. G.; BARROWS, F. T. Multiple amino acid supplementations to reduce dietary protein in plant-based rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, feeds. **Aquaculture**, v. 287, n. 1–2, p. 180–184, 2009.
- GHOMI, M.R. et al. The effects of dietary enzyme on some blood biochemical parameters of the cultured great sturgeon *Huso huso* juveniles. **Comparative Clinical Pathology**, v.21, n.2, p.201-204, 2012.
- GOUS, R.M.; MORRIS, T.R. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. **British Poultry Science**, 26,147–161, 1985.
- 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**, v. 19, n. 4, p. 629-640, 2013.
- HE, J. Y. et al. Effect of dietary L-methionine concentrations on growth performance, serum immune and antioxidative responses of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 665-674, 2017a.
- HE, J. Y. et al. The effect of dietary methionine concentrations on growth performance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with two different digestible energy levels. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, p. 76-89, 2017b.
- HALVER, J.E.; SHANKS, W.E. Nutrition of salmonid fishes: VIII. Indispensable amino acids for sockeye salmon. **Journal of Nutrition**, v. 72, p. 340–346, , 1960.
- HOPKINS, K. D. Reporting Fish Growth: a Review of the Basics. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 23, n.3, p. 173-179, 1992.
- KAUSHIK, S. J.; SEILIEZ, I. Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: Current knowledge and future needs. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 3, p. 322–332, 2010.
- KAWANAGO, M. et al. Leucine affects growth and hepatic growth-related factor gene expression in Japanese amber jack *Seriola quinqueradiata*. **North American Journal Aquaculture**, v.76, n. 4, p. 415-422, 2014.

- KAWANAGO, M. et al. Dietary branched-chain amino acid supplementation affects growth and hepatic insulin-like growth factor gene expression in yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. **Aquaculture Nutrition**, v. 21, p. 63-72, 2015.
- LANSARD, M. et al. L-leucine, L-methionine, and L-lysine are involved in the regulation of intermediary metabolism-related gene expression in rainbow trout hepatocytes. **Journal of Nutrition**, v.141, p. 75-80, 2011.
- LEMME, A. Reassessing amino acid levels for Pekin ducks. **Poultry International**, v. 42, p. 18– 24, 2003.
- LIEBERT, F.; BENKENDORFF, K. Modeling lysine requirements of *Oreochromis niloticus* due to principles of the diet dilution technique. **Aquaculture**, v. 267, p. 100-110, 2007a.
- LIEBERT, F.; BENKENDORFF, K. Modelling of threonine and methionine requirements of *Oreochromis niloticus* due to principles of the diet dilution technique. **Aquaculture Nutrition**, v.13, p. 397–406, 2007b.
- LIEBERT, F. Amino acid requirement studies in *Oreochromis niloticus* with application of principles of the diet dilution technique. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 93, p. 787-793, 2009.
- LE FLOC'H, N. et al. Tryptophan metabolism, from nutrition to potential therapeutic applications. **Amino Acids**, v. 41, p. 1195–1205, 2011.
- NRC, National Research Council. Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, D.C.: National Academy Press. p.360, 2011.
- MADRID, J. et al. Dietary lysine requirement for juvenile, *Totoaba macdonaldi*. **Aquaculture**, v. 500, p. 92–98, 2019.
- MAI, M. et al. Dietary methionine requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. **Aquaculture**, v. 253, n. 1-4, p. 564 -572, 2006b.
- MARTINS, C. I. M. et al. The effect of tryptophan supplemented diets on brain serotonergic activity and plasma cortisol under undisturbed and stressed conditions in grouped-housed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 400-401, p. 129–134, 2013.
- MICHELATO, M. et al. Digestible methionine + cystine requirement for Nile tilapia from 550 to 700 g. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 1, p. 7-12, 2013.
- MICHELATO, M. et al. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 457, p. 124-130, 2016a.
- MICHELATO, M. et al. Dietary threonine requirement to optimize protein retention and fillet production of fast-growing Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, p. 759-766, 2016b.
- MICHELATO, M. et al. Dietary histidine requirement of Nile tilapia juveniles based on growth performance, expression of muscle-growth-related genes and haematological responses. **Aquaculture**, v.20, p. 63-70, 2017.

- MOINARD, C., F. et al. Evidence that glutamine modulates respiratory burst in stressed rat polymorphonuclear cells through its metabolism into arginine. **British Journal of Nutrition**, v. 88, p. 689–695, 2002.
- MOUGHAN, P.J.; RUTHERFURD, S. M. A New method for determining digestible reactive lysine in foods. **Journal of agriculture Food Chemistry**, v. 44. P. 2202 – 2209, 1996.
- MORRIS, S. M. Arginine: Beyond protein. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83(2), p. 508S–512S, 2006.
- NEU, D. et al. Growth Performance, Biochemical Responses, and Skeletal Muscle Development of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Fed with Increasing Levels of Arginine. **Journal of World Aquaculture Society**, v.47, n.2, p.248-259, 2016.
- NGUYEN, T. N.; DAVIS, D. A. Methionine Requirement in Practical Diets of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of World Aquaculture Society**, v. 40, p. 410-416, 2009.
- NGUYEN, L. et al. Tryptophan requirement in semi-purified diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v.15, p.258-267, 2019.
- NG, W.-K.; ROMANO, N. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. **Reviews in Aquaculture**, v. 5, p. 220–254, 2013.
- POHLENZ, C. et al. Arginine and glutamine supplementation to culture media improves the performance of various channel catfish immune cells. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 32, p. 762–768, 2012.
- POHLENZ, C. et al. Effects of dietary arginine on endocrine growth factors of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 166(2), p. 215–221, 2013.
- PORTZ, L. et al. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.601-607, 2000.
- PRABU, E. et al. Effects of dietary L-lysine supplementation on growth, body composition and muscle-growth-related gene expression with an estimation of lysine requirement of GIFT tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 26, p. 568–578, 2019.
- PRABU, E. et al. Metabolic responses of juvenile GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to dietary L-tryptophan supplementation. **Aquaculture Nutrition**, v.26, p. 1713–1723, 2020.
- PRABU, E. et al. Dietary arginine requirement in diets of GIFT strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Effects on growth performance, whole-body composition, growth-related gene expression and haemato-biochemical responses. **Aquaculture Research**, v. 52, p. 4816-4828, 2021.

- RAMPE, M.C.C. et al. Adição de lisina digestível em rações experimentais para juvenis de tilápia-do-nilo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66(5), p. 1557-1566, 2014.
- SANTIAGO, C.B.; LOVELL, R.T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. **Journal of Nutrition**, v.118, p. 1540–1546, 1988.
- SILVA, B. C.; MASSAGO, H. Relação do perfil proteico de dietas comerciais no desempenho de tilápia-do-nilo. **Agropecuária Catarinense**, v.32, n.3, p.73-77, 2019.
- TAKASHITA, S.S. et al. Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38(11), p. 2099-2105, 2009.
- WALTON, M.J. et al. The effects of dietary tryptophan levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **British Journal of Nutrition**, v. 51, p. 279–287, 1984.
- WEBSTER, C.D.; LIM, C. Introduction to Fish Nutrition. In: WEBSTER, C.D.; LIM, C. (Eds.). Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. New York: CABI Publishing, p.388-395, 2002.
- WEN, H. et al. Dietary tryptophan modulates intestinal immune response, barrier unction, antioxidants tatus and gene expression of TOR and Nrf2 in young grass carp (*Ctenopharyn godonidella*). **Fish Shellfish Immunology**, v. 40(1), p. 275–287, 2014.
- WILSON R.P.; POE W.E. Relationship of whole and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 80b, p.385 - 388, 1985.
- WILSON, R.P. Amino acids and proteins. In: Fish Nutrition, 3rd edn, ed. by J.E. Halver & R.W. Hardy), pp.143-179. Academic Press, New York, NY, USA. 2002.
- WAAGBOØ, R. et al. Dietary histidine supplementation prevents cataract development in adult Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, in seawater. **British Journal of Nutrition**, v. 104, p. 1460-1470, 2010.
- WU, W. et al. Dietary arginine requirement of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*), **Chinese Journal of Animal Nutrition**, v.28, n. 5, p. 1412-1424, 2016.
- WU, Y. et al. Effect of dietary tryptophan levels on growth and hemato-immunological parameters in juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **The Israeli Journal of Aquaculture**, v.70, p. 1-10, 2018.
- XIANG, X., et al. Effects of dietary methionine levels on the growth performance, feed utilization and body composition of GIFT Tilapia (*Oreochromis niloticus*), **Journal of Fisheries of China**, v. 38, n. 4, p. 537-548, 2014.
- XIAO, W. et al. Dietary valine requirement of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 24, p. 315-323, 2017.

XIAO, W. et al. Effect of dietary phenylalanine level on growth performance, body composition, and biochemical parameter in plasma of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.51, p.437-451, 2019.

YU, S. et al. Dietary leucine requirement of tilapia (GIFT *Oreochromis niloticus*). **Journal of Fisheries of China**, V.38, 1778-1785, 2014.

YUE, Y. et al. Dietary threonine requirement of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v. 22, p. 1457-1457, 2014.

ZAMINHAN, M. et al. Total and available tryptophan requirement of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v.24, p. 1553-1562, 2018.

ZAMINHAN-HASSEMER, M. et al. Dietary histidine requirement of Nile tilapia juveniles based on growth performance, expression of muscle-growth-related genes and haematological responses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.49, p. 1-12, 2020.

ZEHR, S.; KHAN, M. A. Dietary leucine requirement for growth and maintenance, and its utilization efficiency for fingerling of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). **Borneo Journal of Marine Science and Aquaculture**, v. 1, p.16-24, 2017.

ZEHR, S.; YOUSIF, R. A. Dietary total aromatic amino acid requirement and tyrosine replacement value for phenylalanine for fingerling *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). **Aquaculture Nutrition**, v.27, p. 1009-1018, 2021.

ZHOU, X-H. et al. Dietary threonine requirement of GIFT *Oreochromis niloticus*. **Freshwater Fisheries**, v. 44, n. 4, p. 83-89, 2014.