

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS**

MARIA CECÍLIA CABRAL RAMPE

**NÍVEIS NUTRICIONAIS DE LISINA E METIONINA+
CISTINA DIGESTÍVEIS PARA JUVENIS DE TILÁPIA-DO-
NILO (*Oreochromis niloticus*)**

**ALEGRE – ES
2012**

MARIA CECÍLIA CABRAL RAMPE

**NÍVEIS NUTRICIONAIS DE LISINA E METIONINA+CISTINA
DIGESTÍVEIS PARA JUVENIS DE TILÁPIA-DO-NILO
(*Oreochromis niloticus*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Título de **Mestre em Ciências Veterinárias**, linha de pesquisa em Reprodução e Nutrição Animal.

Orientadora: Prof.^a DSc. Juliana Di Giorgio Giannotti.

Co-orientador: Prof. DSc. José Geraldo de Vargas Junior.

ALEGRE – ES

2012

R177n Rampe, Maria Cecília Cabral, 1986-
Níveis nutricionais de lisina e metionina+cistina digestíveis para juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) / Maria Cecília Cabral Rampe. – 2012.
74 f. : il.

Orientadora: Juliana Di Giorgio Giannotti.

Coorientador: José Geraldo de Vargas Junior.

Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Lisina na nutrição animal. 2. Metionina. 3. Aminoácidos na nutrição animal. 4. Proteínas na nutrição animal. 5. Tilápia (Peixe) – Desempenho. I. Giannotti, Juliana Di Giorgio. II. Vargas Junior, José Geraldo de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 619

DEDICATÓRIA

A Deus, minha fonte eterna de inspiração e amor, por guiar os meus passos e me livrar de todo mal.

Ao meu pai Paulo Rampe (*in memoriam*) pelo amor, carinho, pelos infinitos ensinamentos, pelos primeiros contatos com a natureza e tudo aquilo que nela habita, e por todas as oportunidades concedidas para que eu pudesse estudar e realizar os meus sonhos.

A minha mãezinha Edenir Cabral Rampe, minha luz, minha fortaleza, meu maior exemplo de tudo aquilo que pretendo ser um dia, por toda dedicação, por todo amor e carinho, por todas as renúncias, e por todo incentivo e amizade.

A minha irmã Nádia, minha dinda, por todo amor e cuidado nesses anos todos, pela confiança e por contribuir na minha formação profissional e pessoal.

Aos meus irmãos Jorge, Rogério e Flávio por serem sempre fonte de alegria e incentivo em minha vida.

Aos meus sobrinhos Morgana, Paulo Victor, Ramom (*in memoriam*), Matheus, Gabriel e João Paulo pela amizade e pelos infinitos momentos de descontração, fazendo a vida valer à pena.

Ao Mateus, meu noivo, que está comigo desde a graduação, por todo o companheirismo, amor, incentivo e parceria na realização de nossos projetos... com você o caminho foi mais fácil.

O meu amor e gratidão,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Espírito Santo e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação pela oportunidade de realização do curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação (CAPES/MEC), pela concessão da bolsa de estudo REUNI.

A professora Juliana Di Giorgio Giannotti pela orientação, amizade, incentivo e por toda confiança depositada durante esses quase dois anos de convivência.

Ao professor José Geraldo de Vargas Junior pela expressiva co-orientação, dedicação e presença durante todas as fases que envolveram este estudo, viabilizando a execução do mesmo, e por toda amizade adquirida.

Aos professores Luís Gustavo Tavares Braga e Josevane Carvalho Castro pelas informações e por todo auxílio técnico, fundamentais para o sucesso deste estudo.

A minha família pelo apoio e incentivo nos meus estudos, e pelas visitas renovadoras nas datas importantes como aniversário, dias das mães, natal, ano novo, minimizando a distância e o isolamento durante os 380 dias de confinamento no Laboratório de Aquicultura em São José do Calçado.

Ao Mateus meu amor, meu amigo e meu parceiro de mestrado, pela participação direta na execução dos experimentos e pela companhia em período integral.

Aos amigos e estagiários Júlio, Érica, Déborah, Leandro, Carlos Eduardo, Mariana, Felipe e Juliano por toda ajuda e colaboração.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada.

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Objetivando-se determinar as necessidades nutricionais de lisina e metionina+cistina digestíveis para juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), da linhagem tailandesa, foram realizados dois experimentos no Laboratório de Aquicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Espírito Santo, com duração de 30 dias cada. No primeiro experimento, objetivou-se avaliar a necessidade nutricional de lisina digestível, para tanto, foram utilizados 720 juvenis de tilápia-do-nilo masculinizados e com peso médio inicial de $7,30 \pm 0,11$ g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos, seis repetições e quinze peixes por unidade experimental. As tilápias foram distribuídas em 48 aquários de polietileno com volume útil de 60L, com aeração individual e temperatura controlada em sistema de recirculação com renovação mínima da água de 50% ao dia. Os tratamentos constaram de oito rações (26,81% de proteína digestível e 3090 kcal/kg de energia digestível) contendo diferentes teores de lisina digestível (1,24; 1,36; 1,48; 1,60; 1,72; 1,84; 1,96 e 2,08%). Foram avaliadas variáveis de desempenho (ganho de peso, taxa de crescimento específico, taxa de sobrevivência, consumo de ração, consumo de lisina digestível, conversão alimentar aparente, eficiência protéica para ganho, eficiência de lisina para ganho e eficiência de retenção de nitrogênio) e de composição corporal (teores de umidade, gordura, proteína, matéria mineral corporal e as taxas de deposição diária de proteína e gordura corporais). A elevação do teor de lisina digestível na ração não influenciou ($P>0,05$) o consumo de ração, a taxa de sobrevivência e os teores de umidade e matéria mineral corporal, mas melhorou de forma quadrática ($P<0,05$) os demais parâmetros avaliados, com exceção do consumo de lisina e da eficiência de lisina para ganho, que aumentou e reduziu, respectivamente, de forma linear ($P<0,05$). Recomenda-se que rações para juvenis de tilápia-do-nilo devam conter 1,84% de lisina digestível para máximo ganho de peso. No segundo experimento, objetivou-se determinar a necessidade nutricional de metionina+cistina digestível, para tanto foram utilizados 1260 juvenis de tilápia-do-nilo com peso médio inicial de $0,80 \pm 0,03$ g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos, seis repetições e trinta peixes por unidade experimental. As tilápias foram distribuídas em 42 aquários de polietileno com volume útil de 300L, com aeração

individual e temperatura controlada em sistema de recirculação com renovação mínima da água de 25% ao dia. Os tratamentos constaram de sete rações (26,80% de proteína digestível e 3090 kcal/kg de energia digestível) contendo diferentes teores de metionina+cistina digestível (0,68; 0,80; 0,92; 1,04; 1,16; 1,28 e 1,40%). Foram avaliadas variáveis de desempenho (ganho de peso, taxa de crescimento específico, taxa de sobrevivência, consumo de ração, consumo de lisina digestível, conversão alimentar aparente, eficiência proteica para ganho, eficiência de lisina para ganho e eficiência de retenção de nitrogênio) e de composição corporal (teores de umidade, gordura, proteína, matéria mineral corporal e as taxas de deposição diária de proteína e gordura corporais). A elevação do teor de metionina+cistina digestível na ração não influenciou ($P>0,05$) o consumo de ração, a taxa de sobrevivência e os teores de proteína e matéria mineral corporal, mas melhorou de forma quadrática ($P<0,05$) os demais parâmetros avaliados, com exceção do consumo de metionina e do teor de umidade corporal que aumentaram de forma linear ($P<0,05$) e, do teor de gordura corporal que reduziu de forma linear ($P<0,05$). Recomenda-se que rações para juvenis de tilápia-do-nilo devam conter 0,96% de metionina+cistina digestível para máximo ganho de peso.

Palavras-chave: aminoácidos sintéticos, desempenho, fase inicial, nutrição proteica, *Oreochromis niloticus*

ABSTRACT

Aiming to determine the nutritional needs of lysine and methionine+cystine for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Thai strain, two experiments were conducted at the Laboratory of Aquaculture Department of Animal Science, Federal University of Espirito Santo, with 30 days each. In the first experiment aimed to evaluate the nutritional need of lysine to this, we used 720 juvenile Nile tilapia with initial weight of 7.30 ± 0.11 g, distributed in a completely randomized design with eight treatments, six replications and fifteen fish per experimental unit. The tilapia were divided into 48 polyethylene tanks with a volume of 60L, with individual aeration and temperature controlled recirculation system with minimum water renewal of 50% per day. Treatments consisted of eight diets (26.81% of digestible protein and 3090 kcal/kg digestible energy) containing different levels of digestible lysine (1.24, 1.36, 1.48, 1.60, 1.72; 1.84, 1.96 and 2.08%). We evaluated the performance variables (weight gain, specific growth rate, survival rate, feed intake, digestible lysine intake, feed conversion, protein efficiency for gain, efficiency of lysine for gain and efficiency of retention nitrogen) and body composition (moisture, fat, protein, ash body and deposition rates of daily protein and fat). The high levels of dietary lysine did not affect ($P>0.05$) feed intake, the survival rate and the moisture and ash body, but improved quadratic ($P<0.05$) the other parameters, except for lysine intake and efficiency of lysine for gain, which increased and decreased, respectively, linearly ($P<0.05$). It is recommended that diets for juvenile Nile tilapia should contain 1.84% digestible lysine for maximum weight gain. In the second experiment aimed to evaluate the nutritional requirements of methionine+cystine, were used for both 1260 juvenile Nile tilapia with initial weight of 0.80 ± 0.03 g, distributed in a completely randomized design with seven treatments six replicates and thirty fish per experimental unit. The tilapia were divided into 42 polyethylene tanks with a volume of 300L, with individual aeration and temperature controlled recirculation system with minimum water renewal of 25% per day. Treatments consisted of seven diets (26.80% of digestible protein and 3090 kcal/kg digestible energy) containing different levels of methionine+cystine (0.68, 0.80, 0.92, 1.04, 1, 1.16, 1.28 and 1.40%). We evaluated the performance variables (weight gain, specific growth rate, survival rate, feed intake, digestible lysine intake, feed conversion, protein efficiency for gain,

efficiency of lysine for gain and efficiency of retention nitrogen) and body composition (moisture, fat, protein, ash body and deposition rates of daily protein and fat). The high levels of methionine+cystine in the diet did not affect ($P>0.05$) feed intake, the survival rate and protein and ash body, but improved quadratic ($P<0.05$) other parameters, except for methionine intake and body moisture content which increased linearly ($P<0.05$), and the amount of body fat decreased linearly ($P<0.05$). It is recommended that diets for juvenile Nile tilapia should contain 0.96% methionine+cystine for maximum weight gain.

Keywords: initial phase, *Oreochromis niloticus*, performance, protein diet, synthetic amino acids

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requerimento de aminoácidos para juvenis de tilápia-do-nilo, adaptado de NRC (1993).....	05
Tabela 2 – Requerimento nutricional de aminoácidos para tilápias-do-nilo, adaptado de NRC (2011).....	06
Tabela 3 – Estimativa das exigências de aminoácidos essenciais (incluindo cistina e tirosina) para tilápias-do-nilo (base na matéria natural), adaptado de Furuya et al. (2010).....	07
Capítulo 1	
Tabela 1 – Composição das rações experimentais (base na matéria natural)	20
Tabela 2 – Desempenho de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível.....	21
Tabela 3 – Composição corporal, deposições de proteína e gordura corporais e eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível.....	27
Capítulo 2	
Tabela 1 – Composição das rações experimentais (base na matéria natural)	37
Tabela 2 – Desempenho de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível.....	38
Tabela 3 – Composição corporal, deposições de proteína e gordura corporais e eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível.....	43

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1 – Ganho de peso de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível..... 23
- Figura 2 – Taxa de crescimento específico de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível..... 25
- Figura 3 – Eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível..... 27

Capítulo 2

- Figura 1 – Ganho de peso de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível..... 39
- Figura 2 – Conversão alimentar aparente de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível..... 42
- Figura 3 – Eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível..... 44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO DE LITERATURA	03
3	CAPÍTULO 1 – Níveis nutricionais de lisina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo	15
3.1	RESUMO.....	16
3.2	ABSTRACT.....	16
3.3	INTRODUÇÃO.....	17
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3.6	CONCLUSÃO.....	28
3.7	REFERÊNCIAS.....	29
4	CAPÍTULO 2 – Níveis nutricionais de metionina+cistina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo	32
4.1	RESUMO.....	33
4.2	ABSTRACT.....	33
4.3	INTRODUÇÃO.....	34
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.6	CONCLUSÃO.....	45
4.7	REFERÊNCIAS.....	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6	REFERÊNCIAS GERAIS	47
7	ANEXOS	55

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura mundial transformou-se em atividade consolidada capaz de abastecer à incessante demanda por produtos pesqueiros frente à estagnação das capturas observada desde o final dos anos 80 (CAMARGO; POUHEY, 2005).

Segundo dados publicados no boletim estatístico da pesca e aquicultura, divulgado pelo Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA, 2012) a produção mundial de pescado (proveniente tanto da pesca extrativa quanto da aquicultura) atingiu a marca de 146 milhões de toneladas (t) em 2009, tendo como os maiores produtores a China com 60,5 milhões de t, a Indonésia com 9,8 milhões de t, a Índia com 7,9 milhões de t e o Peru com cerca de 7 milhões de t. O Brasil, neste contexto, contribuiu com apenas 1.240.813 t em 2009, representando 0,86% da produção mundial de pescado. Em 2008, a produção de pescado nacional representou 0,81% do total produzido no mundo. Com este aumento no percentual de contribuição da produção total de pescado mundial de 2008 para 2009, o Brasil ganhou quatro posições e passou a ocupar o 18º lugar no ranking geral dos maiores produtores de pescado do mundo.

A produção de pescado do Brasil no ano de 2010 foi de 1.264.765 de t registrando-se um incremento de 2% em relação a 2009, quando foram produzidas 1.240.813 t de pescado (MPA, 2012). Se observada somente à produção aquícola brasileira (marinha e continental), nota-se aumento de 15,3% quando comparada à produção de 2009, chegando à marca estimada de 479.399 t em 2010. Comparando-se a produção atual com o montante produzido em 2008 (365.366 t), fica evidente o crescimento do setor no país, com um incremento de 31,2% na produção durante o triênio 2008-2010.

Seguindo o padrão observado nos anos anteriores, a maior parcela da produção aquícola é oriunda da aquicultura continental, na qual se destaca a piscicultura que representou 82,3% da produção total nacional (MPA, 2012), impulsionada, principalmente, pelo aumento no cultivo de tilápias.

No Brasil, a tilápia é a espécie de peixe mais produzida, podendo ser encontrada em praticamente todo o território nacional, exceto nas regiões

abrangidas pelas Bacias do Amazonas e Paraguai, onde seu cultivo não é permitido pela legislação ambiental vigente. Em 2010, a produção de tilápias representou 39,42% do total de pescado proveniente da aquicultura continental, seguida por carpas (24%), tambaqui (13,77%), tambacu (5,48%) e pacu (5,38%) (MPA, 2012).

A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), originária da África, foi introduzida no Brasil há mais de 20 anos (LOVSHIN, 2000), e é reconhecidamente uma das espécies mais promissoras para cultivos em sistemas intensivos de produção. O interesse pela espécie é atribuído ao rápido crescimento, e por possuir características marcantes de precocidade e rusticidade, tolerando grandes variações de temperatura, altos níveis de salinidade e baixos teores de oxigênio dissolvido na água (MEURER, 2002), sendo também resistente ao estresse e a doenças.

De acordo com Ostrensky; Borghetti (2006), somada às características de produção, a espécie é muito aceita no mercado consumidor brasileiro e com grande demanda internacional. Isto porque possui boas características organolépticas e nutricionais, tais como: carne considerada saborosa, baixo teor de gorduras (0,9g/100 g de carne) e de calorias (172 kcal/100 g de carne), ausência de espinhos na forma de “Y” (mioceptos) e rendimento de filé de aproximadamente 35 a 40%, em exemplares com peso médio de 450 gramas, o que a torna espécie interessante para as indústrias de processamento de filé.

Se observado o hábito alimentar, as tilápias são consideradas onívoras, alimentam-se dos níveis mais baixos da cadeia trófica, aceitando grande variedade de alimentos e respondendo com a mesma eficiência à ingestão de proteínas de origem vegetal e animal (BOSCOLO et al., 2002a), características que conferem uma série de vantagens produtivas à espécie.

Apesar de todas essas características, a nutrição de tilápias ainda é uma das áreas mais carentes da aquicultura brasileira, juntamente com o melhoramento genético, sanidade e parâmetros de qualidade da água (OSTRENSKY; BORGUETTI, 2006).

Sendo assim, pesquisas sobre os requerimentos nutricionais das espécies de peixes cultivadas têm grande importância na busca por avanços tecnológicos que sirvam de base para o fortalecimento da aquicultura brasileira, uma vez que

mudanças nesse fator de produção podem agregar melhorias no desempenho dos animais, representar redução no custo de produção, menores danos ambientais, e conseqüentemente, ganhos significativos na produção nacional de peixes.

Diversas investigações estão sendo realizadas com objetivo de determinar a necessidade nutricional dos principais aminoácidos indispensáveis para tilápia-do-nilo, principalmente com relação aos requerimentos de lisina (JACKSON; CAPPER, 1982; SANTIAGO; LOVELL, 1988; FURUYA et al., 2004a; FURUYA et al., 2006; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010) e de metionina+cistina (JACKSON; CAPPER, 1982; SANTIAGO; LOVELL, 1988; FURUYA et al., 2001; FURUYA et al., 2004b; NGUYEN, 2007; BOMFIM et al., 2008a; NGUYEN; DAVIS, 2009a,b).

No entanto as informações apresentadas têm demonstrado grandes variações e em alguns casos, os valores são expressos sob a forma de aminoácido total, desconsiderando a digestibilidade dos aminoácidos nos alimentos, o que dificulta a comparação entre os dados. Além disso, são escassas as informações para determinadas categorias (crescimento e terminação), visto que a maioria dos estudos é realizada com animais na fase de alevinagem.

Dessa forma, objetivou-se com esse estudo determinar a necessidade nutricional de lisina e de metionina+cistina digestíveis para juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Um dos grandes desafios da piscicultura tem sido conciliar altas taxas de produtividade com menor descarga de resíduos no ambiente aquático, principalmente nas produções intensivas que dependem exclusivamente de rações balanceadas. Em função disso, nutricionistas têm concentrado esforços para obter informações que permitam formular rações completas e economicamente viáveis a fim de se obter as respostas zootécnicas preconizadas (FURUYA, 2001; PEZZATO et al., 2004).

Grande número de estudos sobre os requerimentos nutricionais para peixes tem abordado as necessidades de proteínas, por ser o componente mais caro em

formulações de rações. Além disso, quando em níveis excedentes às necessidades dos animais, resultam em elevada excreção de nitrogênio, constituindo, juntamente com as excreções de fósforo, os principais responsáveis pela eutrofização dos ambientes aquáticos (FURUYA, 2000; WILSON, 2003; PEZZATO et al., 2004; FURUYA et al., 2005).

Segundo Wilson (2002) peixes não possuem requerimento específico em proteína, mas sim, necessidade por balanceamento adequado de aminoácidos essenciais e não-essenciais, que devem estar presentes em proporções adequadas e que podem ser obtidos através da combinação de ingredientes ou pela suplementação com aminoácidos sintéticos. Desta forma, a determinação da necessidade nutricional de cada aminoácido se faz necessária para a formulação de rações de custo mínimo, que favoreçam maior eficiência de retenção proteica, com aumento na produtividade e suporte dos sistemas de produção aquícolas (MARCOULI et al., 2006).

A essencialidade de um aminoácido deve-se a inabilidade que o animal tem em sintetizar o correspondente esqueleto de carbono ou cetoácido, ou por fazê-lo a taxas incompatíveis com as necessidades do organismo. Nesse caso, o suprimento desses nutrientes na dieta torna-se fundamental. Já com relação aos aminoácidos denominados não-essenciais ou dispensáveis, são aqueles que o organismo animal é capaz de sintetizar em quantidades suficientes para a síntese proteica, através de seus respectivos precursores (D'MELLO, 2003).

Deficiências ou excessos de aminoácidos interferem na utilização da fração nitrogenada, assim como no desempenho, na composição química corporal e no rendimento de carcaça dos peixes, resultando em redução da produtividade, aumento nos custos de produção e na excreção de nitrogênio para o ambiente aquático (FURUYA et al., 2000; CHO; BUREAU, 2001; FURUYA et al., 2001).

Em geral, as tilápias, como as demais espécies de peixes, necessitam de dez aminoácidos essenciais em suas dietas, sejam eles: arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina (WILSON, 2002; FURUYA et al., 2010; NRC, 2011). Além desses, dois outros aminoácidos são considerados semi-essenciais, a cistina e a tirosina, já que só podem ser

sintetizados a partir de seus precursores, a metionina e a fenilalanina, respectivamente (NRC, 2011), ambos aminoácidos considerados essenciais.

As recomendações nutricionais para tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) foram primeiramente descritas no National Research Council – NRC (1993). No entanto, os requisitos dos principais aminoácidos essenciais eram baseados nos resultados de apenas um experimento realizado por Santiago; Lovell (1988) utilizando dietas purificadas e peixes pequenos (Tabela 1). Esses dados serviram por muito tempo como base das informações utilizadas na formulação de dietas experimentais para tilápias, e até mesmo com extrapolação das informações para outras espécies, mesmo em diferentes fases de crescimento.

Tabela 1 – Requerimento de aminoácidos* para juvenis de tilápia-do-nilo, adaptado de NRC (1993)

Aminoácido	PB da dieta (%)	Requerimento em relação a PB dieta (%)	Requerimento em relação a MS da dieta (%)	Referência
Arginina	28	4,20	1,18	Santiago; Lovell (1988)
Histidina	28	1,72	0,48	Santiago; Lovell (1988)
Isoleucina	28	3,11	0,87	Santiago; Lovell (1988)
Leucina	28	3,39	0,95	Santiago; Lovell (1988)
Lisina	28	5,12	1,43	Santiago; Lovell (1988)
Metionina ¹	28	2,68	0,75	Santiago; Lovell (1988)
Fenilalanina ²	28	3,75	1,05	Santiago; Lovell (1988)
Treonina	28	3,75	1,05	Santiago; Lovell (1988)
Triptofano	28	1,00	0,28	Santiago; Lovell (1988)
Valina	28	2,80	0,78	Santiago; Lovell (1988)

*Com base em aminoácido total; ¹Cistina 0,15% da MS da dieta; ²Tirosina 0,50% da MS da dieta.

Essas recomendações eram tidas como ultrapassadas em função dos significativos avanços obtidos no melhoramento genético das espécies, nos progressos alcançados nas tecnologias de processamento de alimentos e nas técnicas de manejo (FURUYA; FURUYA, 2010).

Mais recentemente, esses valores foram atualizados e divulgados em uma nova edição do National Research Council - (NRC, 2011). Contudo, observa-se que em relação as estimativas dos requerimentos aminoacídicos para a tilápia-do-nilo, somente houve atualização das necessidades nutricionais de lisina e de metionina, estando os demais aminoácidos essenciais com as mesmas recomendações descritas no NRC de 1993, podendo ser observado na tabela 2.

Tabela 2 – Requerimento nutricional de aminoácidos para tilápias-do-nilo, adaptado de NRC (2011)

Aminoácido	PB da dieta (%)	Requerimento em relação a PB dieta (%)	Requerimento em relação a MS da dieta (%)	Referência
Arginina	28	4,20	1,20 ¹	Santiago; Lovell (1988)
Histidina	28	1,70	1,00 ¹	Santiago; Lovell (1988)
Isoleucina	28	3,10	1,8 ¹	Santiago; Lovell (1988)
Leucina	28	3,40	1,90 ¹	Santiago; Lovell (1988)
Lisina	28	5,10	1,40 ¹	Santiago; Lovell (1988)
	25	5,40-5,70	1,30-1,40 ¹	Furuya et al. (2004a)
	30	5,23	1,44 ²	Furuya et al. (2006)
Metionina	28	2,70	0,80 ³	Santiago; Lovell (1988)
	30,6	2,10	1,1 ¹	Furuya et al. (2001)
	28	2,80	0,85 ¹	Nguyen e Davis (2009a)
Fenilalanina	28	3,80	1,10 ⁴	Santiago; Lovell (1988)
Treonina	28	3,80	1,10	Santiago; Lovell (1988)
Triptofano	28	1,00	0,28	Santiago; Lovell (1988)
Valina	28	2,80	1,60	Santiago; Lovell (1988)

¹Recomendação sob a forma de aminoácido total; ²Recomendação sob a forma de aminoácido digestível; ³Cistina 0,20% da MS da dieta; ⁴Tirosina 0,50% da MS da dieta.

No NRC de 2011, os requerimentos de lisina e de metionina são baseados em resultados de três experimentos, com recomendações variando entre 1,35% e 1,44% de lisina (SANTIAGO; LOVELL, 1988; FURUYA et al., 2004a; FURUYA et al., 2006) e de 0,85% a 1,1% de aminoácidos sulfurados totais (metionina+cistina) (SANTIAGO; LOVELL, 1988; FURUYA et al., 2001; NGUYEN; DAVIS, 2009a). No entanto, nota-se que algumas de suas recomendações são ainda expressas sob a forma de aminoácido total, desconsiderando a digestibilidade dos aminoácidos presentes nos ingredientes utilizados na confecção das rações experimentais.

No Brasil, nutricionistas deram início aos estudos a cerca dos requerimentos nutricionais dos principais aminoácidos para tilápias no ano de 2001, e os resultados obtidos foram utilizados para a confecção da Tabela Brasileira para Nutrição de Tilápias (FURUYA et al., 2010) (Tabela 3).

Nesses estudos, a determinação da necessidade dietética de lisina tem sido priorizada (FURUYA et al., 2004a; FURUYA et al., 2006; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010), já que este aminoácido está presente em elevada proporção no tecido muscular de peixes demonstrando importância na síntese de proteína corporal (NRC, 1993; FURUYA et al., 2004a; NRC, 2011), além de ser o primeiro

aminoácido limitante nos ingredientes utilizados em substituição à farinha de peixe (HAULER; CARTER, 2001; FURUYA et al., 2004a). No entanto, tem-se observado recomendações que vão desde 1,44% a 2,17% de lisina digestível (FURUYA et al., 2006; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010), com exceção do trabalho conduzido por Furuya et al. (2004a) que recomendaram 1,42% de lisina total.

Tabela 3 – Estimativa das exigências de aminoácidos essenciais (incluindo cistina e tirosina) para tilápias-do-nylo (base na matéria natural), adaptado de Furuya et al. (2010)

Aminoácido (%) da matéria natural	Fases		
	Reversão	Pós-reversão até 100 g	≥ 100 g
Lisina ¹	2,20	1,53	1,38
Metionina ²	0,75	0,52	0,47
Metionina+Cistina ³	1,32	0,92	0,83
Treonina ⁴	1,70	1,18	1,07
Arginina ⁵	1,81	1,26	1,14
Fenilalanina+Tirosina ⁵	2,38	1,65	1,50
Histidina ⁵	0,75	0,52	0,47
Isoleucina ⁵	1,34	0,93	0,84
Leucina ⁵	1,46	1,01	0,92
Triptofano ⁵	0,43	0,30	0,27
Valina ⁵	1,20	0,83	0,75

¹Valor médio da exigência de lisina digestível estimado como porcentagem da proteína (Furuya et al., 2004a; Furuya et al., 2006; Takishita et al., 2009; Bomfim et al., 2010). ²Valor de metionina apresentado em relação à lisina (Furuya et al., 2004b); ³Os valores médios de metionina+cistina foram apresentados em relação à lisina, com base em valores de aminoácidos digestíveis (Furuya et al., 2001; Bomfim et al., 2008a; Quadros et al., 2009). ⁴Os valores médios de treonina foram apresentados em relação à lisina, com base em valores de aminoácidos digestíveis (Silva et al., 2006; Bomfim et al., 2008b; Quadros et al., 2009). ⁵Valores estimados de acordo com a relação aminoácido essencial (incluindo cistina e tirosina)/lisina digestível, das exigências determinadas para a tilápia-do-nylo (Santiago; Lovell (1988).

As variações observadas entre os diferentes estudos podem estar relacionadas ao tipo de ração experimental utilizada (purificadas, semi-purificadas ou práticas), a fase de produção dos peixes (larvas, juvenis ou adultos), as variáveis de resposta utilizadas, aos parâmetros físico-químicos da água, as diferentes linhagens e ao material genético de peixes utilizados em cada ensaio, entre outros fatores (FURUYA et al., 2010).

Várias pesquisas têm sido realizadas utilizando dietas purificadas (fração proteica constituída somente de aminoácidos sintéticos), semi-purificadas (fração proteica constituída de uma mistura de caseína, gelatina, albumina e um *pool* de

aminoácidos sintéticos) e práticas (fração proteica constituída de uma combinação de ingredientes de forma a atender os requerimentos aminoacídicos) na determinação das necessidades de aminoácidos para peixes (SANTIAGO; LOVELL, 1988; NGUYEN, 2007; NGUYEN; DAVIS, 2009b).

O uso de dietas do tipo purificadas apresenta grandes limitações, principalmente pelo fato de muitas espécies serem relutantes em aceitar esse tipo de alimentação. Isso se deve, principalmente, à menor palatabilidade destas quando comparadas com dietas práticas, e do nível excessivo de aminoácidos sintéticos, normalmente utilizados nestas rações, resultando na redução da fração nitrogenada, e conseqüentemente, na subestimação das necessidades dietéticas em aminoácidos, principalmente quando os animais são alimentados com menor freqüência diária (menos de quatro refeições ao dia) o que dificulta comparações entre diferentes estudos (COWEY, 1994; HAULER; CARTER, 2001; MARCOULI et al., 2006; NGUYEN; DAVIS, 2009a).

Essas informações podem ser confirmadas ao observar as diferentes recomendações sobre o requerimento nutricional de lisina para tilápia-do-nylo, realizadas por Santiago; Lovell (1988) que utilizando dietas purificadas recomendaram o nível de 1,43% de lisina total, e por Liebert (2009) utilizando dietas práticas estimaram em 1,63% o melhor nível de lisina total.

A fase de produção dos peixes é outro importante fator que pode influenciar os requerimentos de aminoácidos para peixes. De acordo com Baldisserotto (2009) a taxa metabólica em função da unidade de peso (g ou kg) é maior em peixes menores. Assim, quanto menor o peixe, maior será o requerimento de nutrientes necessários para satisfazer a maior demanda metabólica.

Estudo conduzido por Furuya et al. (2004a) com objetivo de determinar a necessidade nutricional de lisina para tilápias na fase de terminação (de 117,9 a 195,92 g) determinaram o nível de 1,42% de lisina total para estes animais. Posteriormente, Furuya et al. (2006) avaliando o requerimento de lisina para juvenis de tilápia-do-nylo (de 5,72 a 35,05 g) recomendaram o nível de 1,44% de lisina digestível (1,72% de lisina total) para expressão de máximo desempenho desses animais. Takishita et al. (2009), por sua vez, avaliando níveis de lisina em rações

para alevinos de tilápia-do-nilo (de 0,98 a 9,82 g) estimaram em 2,17% de lisina digestível (2,32% de lisina total), valor superior ao determinado para tilápias de maior peso corporal, confirmando o descrito por Baldisserotto (2009).

Outra fonte de variação na avaliação dos requerimentos em aminoácidos para peixes é com relação às variáveis de resposta utilizadas para determinar o valor da necessidade nutricional.

O ganho de peso é o principal critério de resposta nos estudos com aminoácidos essenciais (NRC, 2011). Entretanto, evidências demonstram que o nível de lisina estimado para maximizar o ganho de peso pode ser diferente daquele determinado para máxima eficiência proteica. Encarnação et al. (2004) em estudos com a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) notaram que o requerimento desta espécie para deposição proteica é superior ao determinado para ganho de peso. Segundo esses autores, o requerimento para máximo ganho é de 2,3% de lisina total, enquanto que para máximo ganho de proteína é de 2,7% de lisina total. Dessa forma, a escolha do parâmetro de resposta para determinação da necessidade nutricional de aminoácidos para peixes poderá depender do objetivo a ser alcançado, tornando necessária a interpretação biológica para cada caso (GONÇALVES et al., 2009).

Dentre os fatores ambientais que influenciam o desempenho dos peixes confinados, destaca-se a temperatura, que possui grande influência sobre a taxa metabólica e o consumo dos animais (MOURA et al., 2007). Temperaturas fora da zona recomendada para a espécie cultivada reduzem o apetite e o crescimento dos animais, podendo gerar resultados de exigência imprecisos (FURUYA et al., 2010).

De acordo com Baldisserotto (2009) a variação da temperatura além de alterar o metabolismo dos peixes, pode também alterar a absorção de nutrientes. Segundo este autor, a elevação da temperatura da água de 15°C para 25°C promove aumento na velocidade de absorção de glicina em tainhas (*Mugil brasiliensis*).

O teor de oxigênio dissolvido na água é outro fator que influencia diretamente no consumo de alimentos pelos peixes. À medida que ocorre redução nos níveis de oxigênio na água a ingestão de ração diminui, pois a quantidade de oxigênio disponível não é suficiente para suprir os requerimentos de um peixe bem

alimentado, e conseqüentemente, o crescimento é reduzido. Tilápias-do-nilo expostas a 3,0 mg/L de O₂ apresentam menor crescimento e menor taxa de ingestão alimentar quando comparado a exemplares em normóxia (BALDISSEROTTO, 2009).

Outros fatores, como o teor de oxigênio dissolvido, o pH, a alcalinidade, níveis de amônia, nitrato e nitrito, gás carbônico e a transparência da água podem afetar de forma direta e indireta o crescimento e a saúde dos peixes (FURUYA et al., 2010).

De maneira semelhante, a linhagem do peixe é outro fator que pode influenciar as estimativas de exigências nutricionais (HAULER; CARTER, 2001). Segundo Boscolo et al. (2002b), tilápias da linhagem tailandesa apresentam maior capacidade de ganho de peso diário em relação a linhagem comum, o que implica em requerimentos nutricionais diferentes entre as diferentes linhagens. Exemplo clássico, é o observado em experimentos conduzidos com tilápias para determinação dos requerimentos de proteína para as linhagens tailandesa e comum, cujos valores de exigência variaram de 32% (FURUYA et al., 2000) a 29,9% (FURUYA et al., 1996), respectivamente.

Outro importante fator que deve ser considerado na determinação da necessidade nutricional dos aminoácidos essenciais é a densidade energética da ração. Segundo o NRC (2011) o consumo de certos nutrientes essenciais, incluindo aminoácidos, pode não satisfazer os requerimentos nutricionais do animal quando a energia digestível da dieta é alta.

Hauler; Carter (2001), em sua revisão, observaram que existe elevada correlação entre o requerimento de lisina e a densidade energética da ração, indicando que as necessidades de aminoácidos quando expressas como porcentagem da ração pode aumentar com a elevação da densidade energética da ração.

Como a concentração energética pode influenciar o consumo, a taxa de utilização/deposição proteica, a eficiência alimentar, e conseqüentemente, a quantidade de aminoácidos ingeridos por unidade de ganho (BUREAU et al., 2000; ENCARNAÇÃO et al., 2004) a utilização da relação entre a concentração dos aminoácidos (e dos demais nutrientes) em função do teor energético, como critério

para expressar os requerimentos dietéticos, pode minimizar a dificuldade apresentada na combinação de resultados de diferentes experimentos (COWEY, 1994; BUREAU et al., 2000).

Entretanto, para que o critério seja válido, é imprescindível que os níveis energéticos utilizados nas rações experimentais atendam estritamente as necessidades para a espécie estudada, principalmente em se tratando de peixes onívoros e herbívoros que, aparentemente, dentro de determinados limites, podem satisfazer seus requerimentos em proteína, pela variação no consumo, independentemente, do teor energético da dieta (BOMFIM et al., 2005; BOSCOLO et al., 2006).

Com base nessas considerações, a forma que parece ser a mais apropriada para estimativa do perfil aminoacídico ideal para peixes é através de ensaios dose-resposta, utilizando dietas práticas e níveis de energia que atendam as necessidades para máxima capacidade de deposição proteica. Nesse sistema, as rações são formuladas com uma quantidade fixa de proteína e energia, sendo suplementadas com aminoácidos sintéticos (JACKSON; CAPPER, 1982; FURUYA et al., 2001; FURUYA et al., 2004a; FURUYA et al., 2006; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010).

A suplementação dietética de lisina está relacionada ao aumento no ganho de peso (FURUYA et al., 2004a; FURUYA et al., 2006; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010), a melhora na conversão alimentar (FURUYA et al., 2006; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010), ao aumento na retenção de nitrogênio (FURUYA et al., 2006; TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010) e a redução do conteúdo de lipídeos na carcaça de peixes (DAVIS et al., 1997).

Além das necessidades de lisina, a determinação do requerimento de metionina (metionina+cistina) se torna indispensável, em virtude deste aminoácido ser limitante em ingredientes alternativos à farinha de peixe, a exemplo do farelo de soja (FURUYA et al., 2001). A metionina está diretamente envolvida na síntese proteica (SANTIAGO; LOVELL, 1988; NRC, 1993; FURUYA et al., 2001) e nos processos de síntese de compostos relacionados com a resposta imune do animal

frente a um desafio sanitário, como: as imunoglobulinas (cistina e treonina) e a glutatona (cistina) (LI DEFA, 1999; OBLED, 2003; MACHADO; FONTES, 2005).

A suplementação dietética de metionina em dietas para tilápia-do-nilo tem demonstrado melhorias significativas no ganho de peso, conversão alimentar e na taxa de eficiência proteica (FURUYA et al., 2001; FURUYA et al., 2004b).

No organismo, a metionina é utilizada para sintetizar cistina, de modo que aproximadamente metade da necessidade de metionina pode ser atendida mediante níveis adequados de cistina (NGUYEN, 2007). Por esse motivo, é preferível considerar que os animais não têm requerimentos específicos de metionina, mas de aminoácidos sulfurados totais (metionina+cistina) (CASE et al., 1997).

A principal utilização de metionina é como doador de grupos metil para as reações de metilação pela via SAM (S-adenosil metionina) (BENDER, 2003; NGUYEN, 2007; ZHOU et al., 2011). O SAM é sintetizado a partir da metionina, que transfere o adenosil para o adenosil trifosfato pela enzima metionina adenosiltransferase permitindo a doação de grupos metil para uma variedade de substratos incluindo ácidos nucleicos, proteínas, fosfolípídeos e aminas biogênicas (MATO et al., 1997). A via SAM gera compostos como a carnitina, cistina, colina poliaminas e outros intermediários metabólicos, como a fosfatidilcolina e fosfatidiletanolamina (BROSNAN; BROSNAN, 2006). É também fonte de enxofre, exigido para a síntese de muitos outros compostos sulfurados (BENDER, 2003).

A conversão de metionina em cistina dificulta estimar com precisão os requerimentos de metionina para peixes, por isso muitos pesquisadores tem expressado como requerimento de aminoácidos sulfurados totais ou requerimento de metionina+cistina (NRC, 2011).

A determinação da necessidade nutricional de aminoácidos sulfurados para tilápias é importante, principalmente, quando o farelo de soja é a principal fonte de proteína nas rações. De acordo com o NRC (1993), os aminoácidos sulfurados (metionina+cistina) devem estar presentes na proporção de 3% da proteína da ração.

As informações sobre os requerimentos de aminoácidos sulfurados em rações para a tilápia-do-nilo, além da grande variabilidade apresentada, com relação

metionina+cistina: lisina variando entre 56,66% e 78% (JACKSON; CAPPER, 1982; SANTIAGO; LOVELL, 1988; FURUYA et al., 2001; FURUYA et al., 2004b; NGUYEN, 2007; BOMFIM et al., 2008a; NGUYEN; DAVIS, 2009a,b), tem sido expressa em valores totais (JACKSON; CAPPER, 1982; SANTIAGO; LOVELL, 1988; FURUYA et al., 2004b; NGUYEN, 2007; NGUYEN; DAVIS, 2009a,b).

Deficiências de aminoácidos essenciais normalmente ocasionam redução na utilização de proteína, com diminuição na taxa de ganho de peso diário e na eficiência alimentar (PEZZATO et al., 2004), além de implicarem em redução da resistência a doenças, pelo comprometimento dos mecanismo de resposta imunológica (OLIVA-TELES, 2012). De forma semelhante, o excesso de aminoácidos nas rações experimentais tem demonstrado influenciar negativamente o crescimento de peixes.

Jackson; Capper (1982), observaram que níveis de metionina+cistina acima 3,75% da proteína da dieta de tilápias moçambicanas (*Sarotherodon mossambicus*), resultou em redução significativa na taxa de crescimento específico desses animais.

Para a tilápia-do-nilo, reduções no ganho de peso e na taxa de eficiência proteica foram descritas por Furuya et al. (2001) e por Furuya et al. (2004b), em investigações sobre os requerimentos de metionina+cistina quando estes aminoácidos foram incluídos, respectivamente, em níveis superiores a 3,5% e a 3,54% da proteína da dieta.

Corroborando, Khan; Abidi (2011) descreveram redução no desempenho de carpas recebendo dietas com níveis de aminoácidos sulfurados acima de 4,1% a 4,22% da proteína das rações.

A redução do desempenho, observada nos animais que consumiram as dietas com maiores conteúdos de aminoácidos, pode ser atribuída à toxicidade causada por sua ingestão desproporcionada, levando a desequilíbrios no *pool* de aminoácidos para a síntese proteica. Essas alterações podem inclusive interferir negativamente na utilização de outros aminoácidos que competem pelo mesmo sítio de absorção (MURTHY; VARGHESE, 1998), ou ainda demandar gasto energético extra necessário para os processos de desaminação e excreção dos mesmos.

Considerando que as estimativas dos requerimentos de lisina e de metionina+cistina digestíveis para tilápias-do-nilo, em diferentes estágios de desenvolvimento, apresentam grandes variações, verifica-se a necessidade do estabelecimento mais exato dos requerimentos destes aminoácidos para esses peixes, visando não somente melhores resultados de desempenho e de composição corporal, como também a redução da excreção de nutrientes, principalmente com relação a fração nitrogenada, reportada como uma das principais responsáveis pela eutrofização do ambiente aquático.

3 CAPÍTULO 1

Níveis nutricionais de lisina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo

Artigo elaborado conforme as normas para submissão de artigos técnico científicos
da revista Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia

Níveis nutricionais de lisina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo

Nutritional levels of lysine in diets for juveniles of Nile tilapia

RESUMO

Objetivou-se através deste estudo determinar a necessidade nutricional de lisina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). Setecentos e vinte juvenis masculinizados ($7,30 \pm 0,11$ g) foram alimentados durante 30 dias com oito rações (26,81% de proteína digestível e 3090 kcal/kg de energia digestível da ração) contendo teores crescentes de lisina digestível (1,24; 1,36; 1,48; 1,60; 1,72; 1,84; 1,96 e 2,08%). As tilápias foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado com oito tratamentos, seis repetições e 15 peixes por unidade experimental. Foram avaliadas variáveis de desempenho (ganho de peso, taxa de crescimento específico, taxa de sobrevivência, consumo de ração, consumo de lisina digestível, conversão alimentar aparente, eficiência proteica para ganho, eficiência de lisina para ganho e eficiência de retenção de nitrogênio) e de composição corporal (teores de umidade, gordura, proteína, matéria mineral corporal e as taxas de deposição diária de proteína e gordura corporais). A elevação do teor de lisina digestível na ração não influenciou ($P>0,05$) o consumo de ração, a taxa de sobrevivência e os teores de umidade e de matéria mineral corporal, mas melhorou de forma quadrática ($P<0,05$) os demais parâmetros avaliados, com exceção do consumo de lisina e da eficiência de lisina para ganho, que aumentou e reduziu, respectivamente, de forma linear ($P<0,05$). Recomenda-se que rações para juvenis de tilápia-do-nilo devam conter 1,84% de lisina digestível para máximo ganho de peso.

Palavras-chave: aminoácidos digestíveis, lisina sintética, nutrição proteica, *Oreochromis niloticus*

ABSTRACT

The objective of this study by determining the nutritional need of lysine in diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Seven hundred and twenty masculinized

juveniles (7.30 ± 0.11 g) were fed for 30 days with eight diets (26.81% of digestible protein and 3090 kcal/kg digestible energy of feed) containing increasing levels of lysine (1.24, 1.36, 1.48, 1.60, 1.72, 1.84, 1.96 and 2.08%). The tilapia were distributed in a completely randomized design with eight treatments and six replicates of 15 fish per experimental unit. We evaluated the performance variables (weight gain, specific growth rate, survival rate, feed intake, digestible lysine intake, feed conversion, protein efficiency for gain, efficiency of lysine for gain and efficiency of retention nitrogen) and body composition (moisture, fat, protein, ash body and deposition rates of daily protein and fat). The high levels of dietary lysine did not affect ($P > 0.05$) feed intake, the survival rate and the moisture and ash body, but improved quadratic ($P < 0.05$) other parameters, except for lysine intake and efficiency of lysine for gain, which increased and decreased, respectively, linearly ($P < 0.05$). It is recommended that diets for juvenile Nile tilapia should contain 1.84% digestible lysine for maximum weight gain.

Keywords: digestible amino acids, *Oreochromis niloticus*, protein nutrition, synthetic lysine

INTRODUÇÃO

Segundo Wilson (2002) peixes, de uma forma geral, não possuem exigência nutricional específica em proteína, mas de quantidades e proporções adequadas de aminoácidos essenciais e não-essenciais nas rações necessários para a deposição de proteína muscular e outras proteínas corporais.

As tilápias necessitam de dez aminoácidos essenciais em suas dietas, quais sejam: arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina (Wilson, 2002; NRC, 2011). Desses, merece destaque a lisina, reportada como sendo o aminoácido dietético mais limitante em rações para esta espécie.

A lisina além de ser o primeiro aminoácido limitante em rações para tilápias é também aquele encontrado em maior proporção no tecido muscular desses peixes, justificando assim a importância que é dada à determinação de seus requerimentos em rações para esta espécie. Além disso, estudos demonstram que sua

suplementação dietética está relacionada a melhorias no ganho de peso, na conversão alimentar e no rendimento de carcaça de tilápias-do-nilo (Furuya *et al.*, 2006).

No entanto, tem-se observado, através da análise de dados divulgados na literatura nacional e internacional, que as recomendações nutricionais deste aminoácido para tilápias têm demonstrado grandes variações, sendo algumas vezes apresentadas sobre a forma de aminoácido total, desconsiderando a digestibilidade dos nutrientes nos ingredientes presentes nas rações (Santiago e Lovell, 1988; Furuya *et al.*, 2004; Furuya *et al.*, 2006; Liebert, 2009; Takishita *et al.*, 2009; Bomfim *et al.*, 2010).

Conforme o exposto anteriormente, verifica-se a necessidade do estabelecimento mais exato da necessidade de lisina para tilápias, visando não somente melhores resultados de desempenho, como também a redução da excreção de nutrientes, principalmente com relação a fração nitrogenada, reportada como uma das principais responsáveis pela eutrofização do ambiente aquático.

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a necessidade nutricional de lisina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Aquicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Espírito Santo, São José do Calçado – ES (21° 1' 31" de latitude sul e 41° 39' 20" de longitude oeste), com duração de 30 dias. Foram utilizados 720 juvenis masculinizados de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagem tailandesa, com peso médio inicial de $7,30 \pm 0,11$ g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com oito tratamentos, seis repetições e 15 peixes por unidade experimental.

As tilápias foram mantidas em 48 aquários de polietileno de 60L, dotados de sistemas individuais de aeração por meio de pedras porosas acopladas a um soprador central; abastecimento de água e escoamento pelo fundo disposto em sistema de recirculação com renovação mínima de 50% ao dia; e temperatura controlada por meio de termostato digital.

Durante todo o período experimental foram utilizados filtros físicos e biológicos para manutenção da qualidade físico-química da água, com sifonagem semanal dos aquários para retirada de fezes e possíveis sobras alimentares.

Os parâmetros físico-químicos da água, como pH ($7,03 \pm 0,17$), condutividade elétrica ($121,33 \pm 8,43 \mu\text{Sm/cm}$), e o teor de oxigênio dissolvido ($7,26 \pm 0,22 \text{ mg/L}$), foram medidos semanalmente utilizando-se peagâmetro, condutímetro e oxímetro, respectivamente. A temperatura ($28,17 \pm 0,85^\circ\text{C}$), por sua vez, foi monitorada diariamente às 7h30 e às 17h30 (termômetro de bulbo de mercúrio graduado de 0°C a 50°C).

Foi utilizada ração basal, a base de milho, farelo de soja e farinha de carne e ossos, a qual foram adicionados níveis crescentes de L-lisina HCl 78,4% em substituição ao amido de milho, resultando em rações experimentais contendo 1,24; 1,36; 1,48; 1,60; 1,72; 1,84; 1,96 e 2,08% de lisina digestível. Todas as dietas mantiveram-se isoenergéticas, isoproteicas, isocálcicas, isofosfóricas e isoaminoacídicas para metionina+cistina e treonina digestível (Tab. 1).

Para elaboração das rações, os ingredientes foram triturados em moinho de peneira 0,5 mm, pesados e homogeneizados manualmente. Após esse processo, foi adicionado água a 50°C , na proporção de 50% peso/volume e a mistura peletizada em moinho industrial com matriz de 4 mm de diâmetro. As rações foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C durante 24 horas. Posteriormente, os grânulos foram fracionados de forma a adequar o diâmetro dos peletes ao tamanho da boca dos peixes.

As dietas foram fornecidas em seis refeições diárias, com intervalos de duas horas, iniciando sempre às 8h e terminando às 18h, em pequenas quantidades, a fim de possibilitar ingestão máxima até aparente saciedade, reduzindo assim a possibilidade de perdas de nutrientes por lixiviação.

Foram avaliadas variáveis de desempenho (ganho de peso, taxa de crescimento específico, taxa de sobrevivência, consumo de ração, consumo de lisina digestível, conversão alimentar aparente, eficiência proteica para ganho, eficiência de lisina para ganho e eficiência de retenção de nitrogênio) e de composição corporal (teores

de umidade, gordura, proteína, matéria mineral e as taxas de deposição diária de proteína e gordura corporais) conforme descrito por Bomfim *et al.* (2010).

Tabela 1 – Composição das rações experimentais (base na matéria natural)

Ingrediente (%)	Nível de lisina digestível (%)							
	1,24	1,36	1,48	1,60	1,72	1,84	1,96	2,08
Farelo de soja	32,29	32,29	32,29	32,29	32,29	32,29	32,29	32,29
Fubá de milho	47,94	47,94	47,94	47,94	47,94	47,94	47,94	47,94
Glúten de milho	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83
FCO 45% ¹	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89
Óleo de soja	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Amido de milho	1,20	1,05	0,89	0,74	0,59	0,43	0,28	0,13
Fosfato bicálcico	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
L-lisina HCL78,4%	0,00	0,15	0,31	0,46	0,61	0,77	0,92	1,07
DL-metionina 99%	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
L-treonina 98,5%	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Premix vitamínico ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Premix mineral ³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
CL- colina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Vitamina C ⁴	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
BHT ⁵	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Composição (%)								
Matéria seca ⁶	88,74	88,74	88,74	88,74	88,74	88,74	88,74	88,74
Proteína bruta ⁶	29,04	29,04	29,04	29,04	29,04	29,04	29,04	29,04
Proteína dig ⁶	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81
ED (kcal/kg) ⁶	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090
Cálcio total	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Fósforo disp ⁶	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Fibra bruta	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
Extrato etéreo ⁷	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
Lisina digestível	1,24	1,36	1,48	1,60	1,72	1,84	1,96	2,08
M+C digestível ⁶	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Treonina dig ⁶	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18

¹Farinha de carne e ossos 45%.

²Composição por quilograma do produto: vit. A, 8.000.000 UI; vit. D3, 2.500.000 UI; vit. E, 8.000 mg; vit. K3, 1.500 mg; vit. B1, 1.000 mg; vit. B2, 4.000 mg; vit. B6, 1.000 mg; vit. B12, 12.000 mg; niacina, 20 g; pantotenato de cálcio, 8.000 mg; ácido fólico, 300 mg; biotina, 20 mg.

³Composição por quilograma do produto: Fe, 96 g; Cu, 20 g; Mn, 155 g; Zn, 110 g; I, 1.400 mg; Se, 360 mg.

⁴Vitamina C P.A.: 99% de princípio ativo.

⁵Butil-hidroxi-tolueno (antioxidante).

⁶Composição calculada conforme tabelas brasileiras para nutrição de tilápias de Furuya *et al.* (2010).

⁷Composição calculada conforme tabelas brasileiras para aves e suínos de Rostagno *et al.* (2005).

No início, após jejum de 24 horas, 50 animais foram insensibilizados em água contendo gelo e sacrificados para posterior análise de composição química corporal. De forma semelhante, ao final do período experimental, cinco animais, com pesos mais próximos ao peso médio da respectiva unidade experimental, foram abatidos para análise de composição corporal.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa SAEG – Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (UFV, 2007) sendo os dados submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e a regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elevação dos níveis de lisina digestível nas dietas não influenciou ($P>0,05$) o consumo de ração e a taxa de sobrevivência dos juvenis de tilápia-do-nilo durante o período experimental (Tab. 2).

Tabela 2 – Desempenho de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível

Variável	Nível de lisina digestível (%)								CV (%)
	1,24	1,36	1,48	1,60	1,72	1,84	1,96	2,08	
GP (g) ¹	7,36	7,66	8,00	8,27	8,90	8,49	8,39	8,40	2,99
TCE (%/dia) ¹	2,32	2,41	2,45	2,52	2,66	2,57	2,57	2,55	2,99
TXS (%) ³	98,89	100	97,78	100	98,89	97,78	100	98,89	2,42
CR (g) ⁴	12,13	12,31	12,29	12,23	12,27	12,23	12,27	12,37	3,33
CLD (mg) ²	150	167	182	195	211	225	240	257	3,58
CAA (g/g) ¹	1,65	1,61	1,54	1,48	1,37	1,44	1,46	1,47	4,69
EPG (g/g) ¹	2,09	2,14	2,23	2,33	2,50	2,39	2,36	2,34	4,80
ELG (g/g) ²	48,99	45,76	43,93	42,28	42,22	37,78	34,98	32,67	4,65

CV- Coeficiente de variação.

¹Efeito quadrático ($P<0,05$): ganho de peso (GP) ($\hat{Y} = -3,8110 + 13,4851X - 3,6703X^2$; $R^2 = 0,88$); taxa de crescimento específico (TCE) ($\hat{Y} = -0,0361 + 2,8374X - 0,7658X^2$; $R^2 = 0,88$); conversão alimentar aparente (CAA) ($\hat{Y} = 3,7344 - 2,5161X + 0,6876X^2$; $R^2 = 0,89$); eficiência protéica para ganho (EPG) ($\hat{Y} = -1,0522 + 3,7889X - 1,0375X^2$; $R^2 = 0,86$).

²Efeito linear ($P<0,05$): consumo de lisina digestível (CLD) ($\hat{Y} = -3,57478 + 124,839X$; $R^2 = 0,99$); eficiência de lisina para ganho (ELG) ($\hat{Y} = 71,7980 - 18,5046X$; $R^2 = 0,97$).

³Taxa de sobrevivência.

⁴Consumo de ração.

O resultado para consumo de ração concorda com os descritos por Gonçalves *et al.* (2009) ao avaliar a melhor relação lisina digestível:proteína digestível para tilápias-do-nilo na fase de crescimento ($11,0 \pm 0,43$ g).

A maioria dos estudos de dose-resposta realizados com objetivo de determinar os requisitos dos principais aminoácidos para diversas espécies de peixes tem utilizado dietas do tipo purificadas ou semi-purificadas. No entanto, o uso destas rações pode ser prejudicial para o crescimento dos peixes, pois reduzem o consumo de ração em função da reduzida palatabilidade apresentada (Berge *et al.*, 2002), especialmente quando estas dietas são deficientes em aminoácidos essenciais, particularmente

lisina (Dabrowski *et al.*, 2007). No presente estudo, as tilápias foram alimentadas com dietas do tipo práticas e suplementadas com aminoácidos sintéticos de forma a obter os níveis nutricionais preconizados, não sendo observado efeito sobre o consumo de ração, independente do nível de lisina utilizado nas rações.

O resultado obtido neste estudo assemelha-se ao observado por Abimorad *et al.* (2010) em investigação sobre o requerimento de lisina digestível em dietas para o juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) ($8,66 \pm 1,13$ g), através de estudo utilizando o método dose-resposta, também não observaram efeito dos níveis de lisina estudados sobre o consumo de ração dos peixes.

Com relação à sobrevivência dos animais, a maioria dos estudos realizados com objetivo de determinar a necessidade nutricional de lisina para tilápias não tem reportado efeito da suplementação deste aminoácido sobre este parâmetro (Furuya *et al.*, 2004; Furuya *et al.*, 2006; Bomfim *et al.*, 2010), confirmando o observado neste estudo.

A elevação dos teores de lisina nas rações proporcionou efeito linear ($P < 0,05$) sobre o consumo de lisina digestível, que aumentou mediante suplementação de lisina, e sobre a eficiência de lisina para ganho, que reduziu à medida que houve elevação dos níveis de lisina nas rações.

O aumento linear do consumo de lisina digestível observado neste estudo assemelha-se ao descrito por Takishita *et al.* (2009) e por Bomfim *et al.* (2010), que verificaram aumento no consumo de lisina a medida que foram adicionados níveis crescentes de lisina às dietas. O aumento observado neste estudo pode ser atribuído, exclusivamente, ao acréscimo de lisina digestível nas rações, já que não houve efeito sobre o consumo de ração pelas tilápias.

A redução na eficiência de utilização de lisina para ganho de peso dos peixes, observada neste estudo, provavelmente é devida à reduzida eficiência de utilização de aminoácidos sintéticos por tilápias; à possibilidade de ter ocorrido lixiviação dos aminoácidos; ou ao desbalanceamento do perfil aminoacídico das dietas (Schuhmacher *et al.*, 1997; Dabrowski *et al.*, 2003; Bomfim *et al.*, 2010). No entanto, essa redução foi compensada por significativa melhora no desempenho como um

todo, e de forma semelhante, com substancial aumento na eficiência de utilização da fração nitrogenada da ração.

Com aumento nos teores de inclusão de lisina nas rações, foi observado efeito quadrático ($P < 0,05$) sobre o ganho de peso dos juvenis de tilápia-do-nilo (Fig. 1), estimando o nível ótimo de 1,84% de lisina digestível, com ponto de máximo em 8,57 g, o que corresponde a 6,86% da proteína digestível e a 0,595%/Mcal de energia digestível da dieta. O aumento do ganho de peso indica que a lisina é aminoácido indispensável para o crescimento normal juvenis de tilápia-do-nilo, e também que estes peixes são capazes de usar a L-lisina HCl de forma eficiente quando suplementadas em dietas práticas para esta espécie.

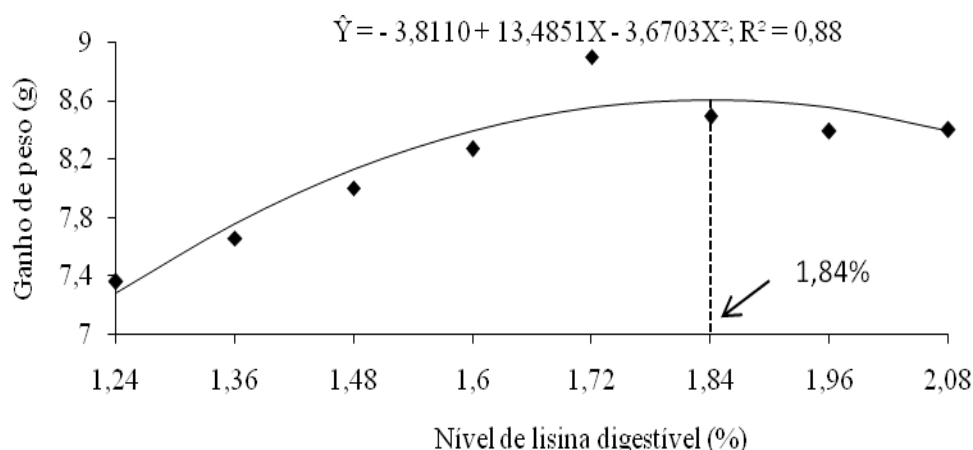


Figura 1 – Ganho de peso de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível

Este valor (1,84%) é inferior ao descrito por Takishita *et al.* (2009) de 2,17% de lisina digestível, trabalhando com alevinos de tilápia-do-nilo ($0,98 \pm 0,03$ g), e superior ao encontrado por Furuya *et al.* (2006) de 1,56% de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-nilo ($5,72 \pm 0,10$ g), sendo estas recomendações baseadas na avaliação do ganho de peso dos peixes.

Bomfim *et al.* (2010) recomendaram a utilização de 1,70% de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo ($1,12 \pm 0,02$ g), com base na observação da eficiência de lisina para ganho, obtendo resposta linear para a maioria dos

parâmetros de desempenho avaliados. Outros autores recomendaram níveis de lisina inferiores aos determinados neste estudo, a exemplo de 1,43% e 1,42% de lisina total, descritos respectivamente, por Santiago e Lovell (1988) e por Furuya *et al.* (2004). No entanto, estas recomendações são expressas sob a forma de aminoácido total, desconsiderando a digestibilidade dos aminoácidos presentes nos ingredientes utilizados nas rações, o que dificulta as comparações dos resultados entre diferentes estudos.

Liebert (2009), com objetivo de determinar a exigência de lisina, metionina e treonina para juvenis de tilápia-do-nilo através da utilização de modelos não lineares baseados na deposição diária de proteína corporal e na eficiência dietética do aminoácido testado, recomendou o nível de 1,63% de lisina total nas rações para esta espécie.

A variabilidade observada nos diferentes estudos buscando a determinação dos requerimentos em aminoácidos para peixes pode ser atribuída fatores relacionados ao delineamento experimental e às condições experimentais utilizadas (peso inicial dos peixes, composição e características físicas das dietas experimentais, número de tratamentos e repetições, método de alimentação e a taxa de crescimento alcançada), mas também pode ocorrer em função da ampla gama de abordagens matemáticas e estatísticas utilizadas para estimar as exigências, podendo influenciar diretamente sobre a estimativa das necessidades aminoacídicas (Encarnação *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2010; NRC, 2011).

Para juvenis de pacu ($8,66 \pm 1,13$ g), espécie com mesmo hábito alimentar da tilápia-do-nilo, ou seja, onívora, Abimorad *et al.* (2010) estimaram valor de exigência de 1,64% de lisina digestível para maior ganho de peso.

A necessidade nutricional de outra espécie onívora, a carpa comum (*Cyprinus carpio* var. *Jian*) foi determinada em investigação realizada por Zhou *et al.* (2008) que recomendaram o nível de 1,88% de lisina total para juvenis ($7,89 \pm 0,04$ g) para máximo ganho de peso.

Através destas informações é possível inferir que, em espécies de mesmo hábito alimentar, os processos digestivos (morfo-fisiológicos e bioquímicos) são distintos e conduzem a valores de necessidades nutricionais diferentes (Abimorad *et al.*, 2010),

isso reflete na constatação de que os requerimentos nutricionais obtidos para uma determinada espécie não devem ser extrapolados para outra espécie, mesmo que ambas apresentem as mesmas preferências alimentares.

A elevação dos níveis de lisina nas rações promoveu efeito quadrático ($P < 0,05$) sobre a taxa de crescimento específico (Fig. 2) a conversão alimentar aparente e a eficiência de utilização de proteína para ganho dos juvenis de tilápia, estimando, respectivamente, em 1,85%; 1,83% e 1,82% o melhor nível de lisina digestível para cada variável analisada.

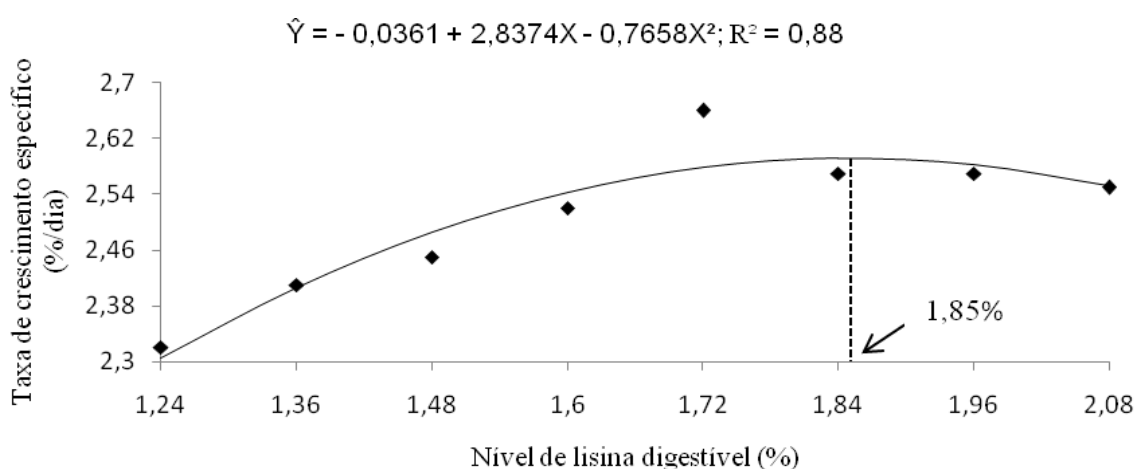


Figura 2 – Taxa de crescimento específico de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível

A taxa de crescimento específico obtido neste estudo, com ponto de máximo em 2,59% ao dia, é inferior a de 4,30% ao dia (dados calculados) observado por Furuya *et al.* (2006) com tilápias na mesma categoria de peso, e superior a 1,01% ao dia (dados calculados) encontrado por Furuya *et al.* (2004) com tilápias na fase de terminação. O menor crescimento obtido neste estudo, em comparação a peixes da mesma categoria de peso, pode ser explicado pela elevada densidade de estocagem utilizada (1peixe/4L) limitando o desenvolvimento dos animais (Furuya *et al.*, 2010).

Com relação à conversão alimentar, Furuya *et al.* (2006) estimaram em 1,44% o melhor nível de lisina digestível, valor inferior ao determinado neste estudo (1,83% de lisina digestível). Semelhante ao observado nesta pesquisa, Abimorad *et al.*

(2010), descreveram redução da conversão alimentar de juvenis de pacu até o nível estimado de 1,75% de lisina digestível, a partir do qual foi estabelecido um platô em 1,68. Outros autores descreveram melhoria na conversão alimentar com o aumento dos níveis de lisina digestível na dieta, a exemplo do observado por Furuya *et al.* (2006) com estudos conduzidos com juvenis de tilápia-do-nilo com conversão alimentar média de 1,60, e por Bomfim *et al.* (2010) obtendo conversão média de 1,19 ao trabalharem com alevinos da mesma espécie.

Furuya *et al.* (2004) notaram efeito quadrático dos níveis de lisina testados sobre a taxa de eficiência proteica com maior valor estimado para o nível de 1,35% de lisina total (5,4% da proteína da dieta). Gonçalves *et al.* (2009) ao avaliar diferentes relações lisina digestível: proteína digestível em rações para tilápias-do-nilo ($11,0 \pm 0,43$ g) descreveram efeito da suplementação de lisina sobre a taxa de eficiência proteica, com aumento linear a medida que os níveis de lisina aumentaram.

O aumento nos teores de lisina digestível na ração não influenciou ($P > 0,05$) o teor de umidade e a matéria mineral corporal dos peixes (Tab. 3). O resultado para umidade corporal concorda com o obtido por Furuya *et al.* (2006) e por Takishita *et al.* (2009) que também não observaram efeito significativo da suplementação de lisina sobre esta variável.

Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de lisina digestível sobre o teor de gordura corporal, que reduziu até o nível estimado de 1,76% de lisina digestível, com ponto de mínimo em 6,27%. A partir deste ponto, o desbalanceamento no perfil de aminoacídico, fez com que os aminoácidos excedentes fossem catabolizados, favorecendo a oxidação das cadeias de carbono dos aminoácidos, com consequente aumento na produção de energia líquida proporcionando a formação de tecido adiposo (Shuhmacher *et al.*, 1997; Araripe *et al.*, 2011).

De forma semelhante, a utilização de níveis crescentes de lisina digestível nas dietas resultou em efeito quadrático ($P < 0,05$) sobre a composição de proteína corporal, que aumentou até ponto estimado de 1,76% de lisina digestível, com ponto de máximo em 14,75%.

O resultado obtido neste estudo assemelha-se ao descrito por Zhou *et al.* (2008) que, em estudo objetivando determinar a exigência de lisina para juvenis de carpa

comum, descreveram aumento do teor de proteína corporal até o nível de 1,70% de lisina total a partir do qual ocorreu um platô.

Tabela 3 – Composição corporal, deposições de proteína e gordura corporais e eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível

Variável	Nível de lisina digestível (%)								CV (%)
	1,24	1,36	1,48	1,60	1,72	1,84	1,96	2,08	
UC (%) ³	75,77	76,34	76,24	74,73	76,39	75,96	75,60	75,62	1,20
GC (%) ^{1,2}	7,25	6,88	6,51	6,67	6,14	6,12	6,41	6,72	4,55
PC (%) ^{1,2}	13,80	14,12	14,16	15,25	14,47	14,60	14,68	14,38	8,11
MMC (%) ^{1,4}	3,16	2,71	3,15	3,27	2,97	2,89	3,32	3,22	3,85
DGC (mg/dia) ²	20,07	19,05	17,68	19,29	17,86	16,88	18,30	19,85	7,01
DPC (mg/dia) ²	41,21	44,34	45,67	52,96	52,02	50,61	50,76	49,11	9,41
ERN (%) ²	35,12	37,23	38,42	44,76	43,79	42,82	42,88	41,02	7,93

CV- Coeficiente de variação.

¹Matéria natural.

²Efeito quadrático ($P < 0,05$): gordura corporal (GC) ($\hat{Y} = 17,9464 - 13,2559X + 3,7621X^2$; $R^2 = 0,85$); proteína corporal (PC) ($\hat{Y} = 3,4666 + 12,8218X - 3,6425X^2$; $R^2 = 0,59$); deposição de gordura corporal (DGC) ($\hat{Y} = 50,4711 - 38,4813X + 11,3155X^2$; $R^2 = 0,56$); deposição de proteína corporal (DPC) ($\hat{Y} = -64,0098 + 128,572X - 35,7023X^2$; $R^2 = 0,88$); eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) ($\hat{Y} = -53,9831 + 108,797X - 30,3262X^2$; $R^2 = 0,86$).

³Umidade corporal.

⁴Matéria mineral corporal.

Por outro lado, Furuya *et al.* (2006); Takishita *et al.* (2009) e Bomfim *et al.* (2010) ao avaliar o efeito da suplementação de lisina digestível sobre os principais componentes corporais de tilápias-do-nilo, verificaram aumento linear do teor de proteína corporal como resposta ao incremento de lisina digestível nas rações dos peixes.

O acréscimo de lisina às dietas resultou em efeito quadrático ($P < 0,05$) sobre a deposição diária de gordura e de proteína corporal, que reduziu e aumentou, respectivamente, até o nível de 1,70 e de 1,80% de lisina digestível. Estes resultados concordam com aqueles descritos por Bomfim *et al.* (2010) que também notaram efeito significativo da suplementação de lisina sobre estas variáveis.

Alguns estudos também relatam leve acúmulo de lipídios e aumento no teor de proteína corporal dos peixes alimentados com dietas suplementadas com lisina (Zarate e Lovell, 1997; Encarnação *et al.*, 2004; Encarnação *et al.*, 2006) para diferentes espécies de peixes.

Foi observado efeito quadrático da adição de lisina às dietas ($P < 0,05$) sobre a eficiência de retenção de nitrogênio (Fig. 3) que melhorou até o nível estimado de 1,79% de lisina digestível, correspondente a 6,67% da proteína digestível da dieta. Este valor é inferior a 2,12% verificado por Takishita *et al.* (2009), e pode ser bom parâmetro para determinação dos requerimentos nutricionais de aminoácidos para peixes.

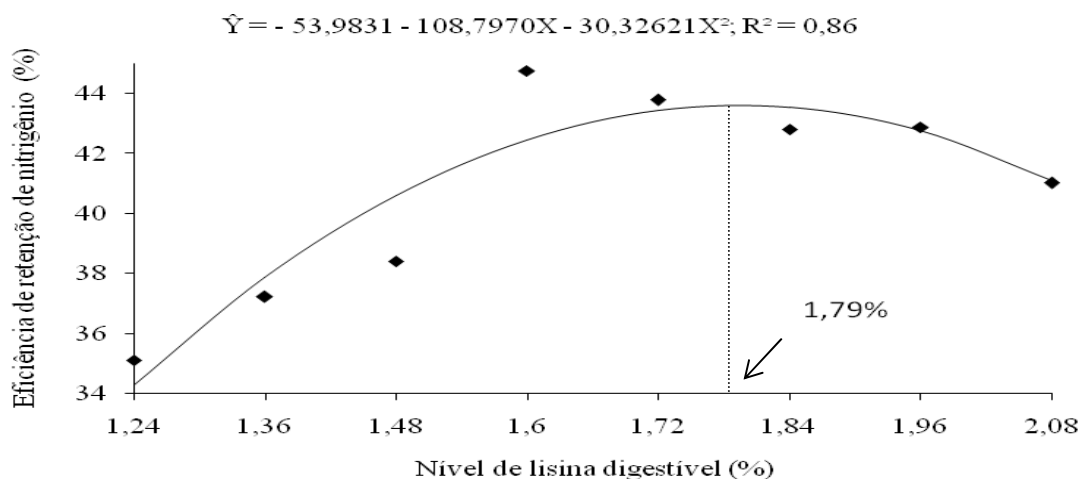


Figura 3 – Eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de lisina digestível

A partir de um ponto máximo (1,79% de lisina) o nível de lisina passou a ser excessivo, resultando em aumento da excreção nitrogenada, principalmente sob a forma de amônia e, em desperdício de energia, acarretando prejuízos ao desempenho animal e ao ambiente aquático.

CONCLUSÃO

Recomenda-se que rações para juvenis de tilápia-do-nilo devam conter 1,84% de lisina digestível, correspondendo a 6,86% da proteína da dieta para máximo ganho de peso dos peixes.

REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E.G.; FAVERO, G.C.; SQUASSONI, G.H.; CARNEIRO, D. Dietary digestible lysine requirements and essential amino acid to lysine ratio for pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Nutrition*, v.16, p.370-377, 2010.
- ARARIPE, M.N.B.A.; ARARIPE, H.G.A.; LOPES, J.B. *et al.* Redução da proteína bruta com suplementação de aminoácidos em rações para alevinos de tabatinga. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, n.9, p.1845-1850, 2011.
- BERGE, G.E.; SVEIER, H.; LIED, E. Effects of feeding Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) imbalanced levels of lysine and arginine. *Aquaculture Nutrition*, v.8, p.239-248, 2002.
- BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELE, J.L. *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, n.1, p.1-8, 2010.
- DABROWSKI, K.; LEE, K.J.; RINCHARD, J. The smallest vertebrate, teleost fish, can utilize synthetic dipeptide based diets. *Journal Nutrition*, v.133, p.4225-4229, 2003.
- DABROWSKI, K.; ARSLAN, M.; TERJESEN, B.F.; ZHANG, Y. The effect of dietary indispensable amino acid imbalances on feed intake: Is there a sensing of deficiency and neural signaling present in fish? *Aquaculture*, v.268, p.136–142, 2007.
- ENCARNAÇÃO, P.; DE LANGE, C.; RODEHUTSCORD, M. *et al.* Diet digestible energy content affects lysine utilization, but not dietary lysine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) for maximum growth. *Aquaculture*, v.235, p.569-586, 2004.
- ENCARNAÇÃO, P.; DE LANGE, C.F.M.; BUREAU, D.P. Diet energy source affects lysine utilization for protein deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, v.261, p.1371-1381, 2006.
- FURUYA, W.M.; BOTARO, D.; NEVES, P.R. *et al.* Exigência de lisina pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. *Ciência Rural*, v.34, n.5, p. 1571-1577, 2004.
- FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. *et al.* Tabelas Brasileiras para Nutrição de Tilápias. Toledo, PR, 2010. 100 p.

FURUYA, W.M.; SANTOS, V.G.; SILVA, L.C.R. *et al.* Exigências de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.937-942, 2006 (suplemento).

GONÇALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. *et al.* Relação lisina digestível:proteína digestível em rações para tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.12, p.2299-2305, 2009.

LIEBERT, F. Amino acid requirement studies in *Oreochromis niloticus* by application of principles of the diet dilution technique. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v.93, n. 6, p.787-793, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. Nutrient requirements of fish. Washington: National Academy Science, 2011. 376 p.

ROSTAGNO, R.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. *et al.* Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

SANTIAGO, C.B.; LOVELL, R.T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *Journal Nutrition*, v.118, n.12, p.1540-1546, 1988.

SCHUHMACHER, A.; WAX, C.; GROPP, J.M. Plasma amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed intact protein or a crystalline amino acid diet. *Aquaculture*, v.151, p.15-28, 1997.

TAKISHITA, S.S.; LANNA, E.A.T.; DONZELE, J.L. *et al.* Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.11, p. 2099-2105, 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Sistemas de Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG . Viçosa, MG: 2007 (Versão 9.1). (CD-ROM).

WANG, S.; ENCARNAÇÃO, P.M.; PAYNE, R.L.; BUREAU, D.P. Estimating dietary lysine requirements for live weight gain and protein deposition in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). International Symposium on Fish Nutrition and Feeding. Qingdao, China, 2010.

WILSON, R.P. Amino acids and proteins. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. Fish nutrition, 3. ed. New York: Academic Press, 2002. p.143-179.

ZARATE, D.D.; LOVELL, R.T. Free lysine (L-lysine HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, v.159, p.87-100, 1997.

ZHOU, X.Q.; ZHAO, C.R.; JIANG, J. *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*). *Aquaculture Nutrition*, v.14, p.381–386, 2008.

4 CAPÍTULO 2

Níveis nutricionais de metionina+cistina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo

Artigo elaborado conforme as normas para submissão de artigos técnico científicos da revista Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia

Níveis nutricionais de metionina+cistina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo

Nutritional level of digestible methionine+cystine in diets for juveniles of Nile tilapia

RESUMO

Objetivou-se através deste estudo determinar a necessidade nutricional de metionina+cistina digestível para juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). Mil e duzentos e sessenta juvenis masculinizados, com peso médio inicial de $0,80 \pm 0,03$ g, foram alimentados durante 30 dias com sete rações (26,80% de proteína digestível e 3090 kcal/kg de energia digestível) contendo diferentes teores de metionina+cistina digestível (0,68; 0,80; 0,92; 1,04; 1,16; 1,28 e 1,40%). As tilápias foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos, seis repetições e 30 peixes por unidade experimental. Foram avaliadas variáveis de desempenho (ganho de peso, taxa de crescimento específico, taxa de sobrevivência, consumo de ração, consumo de lisina digestível, conversão alimentar aparente, eficiência proteica para ganho, eficiência de lisina para ganho e eficiência de retenção de nitrogênio) e de composição corporal (teores de umidade, gordura, proteína, matéria mineral corporal e as taxas de deposição diária de proteína e gordura corporais). A elevação do teor de metionina+cistina digestível na ração não influenciou ($P>0,05$) o consumo de ração, a taxa de sobrevivência e os teores de proteína e de matéria mineral corporal, mas melhorou de forma quadrática ($P<0,05$) os demais parâmetros avaliados, com exceção do consumo de metionina e do teor de umidade corporal que aumentaram de forma linear ($P<0,05$) e do teor de gordura corporal que reduziu de forma linear ($P<0,05$). Recomenda-se que dietas para juvenis de tilápia-do-nilo devam conter 0,96% de metionina+cistina digestível.

Palavras-chave: aminoácidos sulfurosos, metionina sintética, metionina+cistina: lisina digestível, nutrição proteica, *Oreochromis niloticus*

ABSTRACT

The objective of this study by determining the nutritional requirements of methionine+cystine for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Thousand and

two hundred and sixty juvenile male domination, with initial average weight of 0.80 ± 0.03 g were fed for 30 days with seven diets (26.80% of digestible protein and 3090 kcal/kg digestible energy) containing different amounts methionine+cystine (0.68, 0.80, 0.92, 1.04, 1.16, 1.28 and 1.40%). The tilapia were distributed in a completely randomized design with seven treatments and six replicates of 30 fish per experimental unit. We evaluated the performance variables (weight gain, specific growth rate, survival rate, feed intake, digestible lysine intake, feed conversion, protein efficiency for gain, efficiency of lysine for gain and efficiency of nitrogen retention) and body composition (moisture, fat, protein, ash body and deposition rates of daily protein and fat). The high levels of methionine+cystine in the diet did not affect ($P>0.05$) feed intake, the survival rate and the levels of protein and ash body, but improved quadratically ($P<0.05$) other parameters, except for methionine intake and body moisture content which increased linearly ($P<0.05$) and amount of body fat decreased linearly ($P<0.05$). It is recommended that diets for juvenile Nile tilapia should contain 0.96% methionine+cystine.

Key words: methionine+cystine: digestible lysine, *Oreochromis niloticus*, protein nutrition, sulfur amino acids, synthetic methionine

INTRODUÇÃO

A metionina é aminoácido essencial que atua na síntese proteica e desempenha funções fisiológicas importantes, além de ser essencial para o crescimento dos peixes (Santiago e Lovell, 1988; NRC, 2011). A principal função da metionina é atuar como doadora de grupos metil, necessários para as reações de metilação pela via S-adenosil metionina, podendo ainda ser convertida em cistina, com função especial na estrutura de muitas proteínas interligando cadeias polipeptídicas (Nguyen, 2007; Zhou *et al.*, 2011).

A utilização de aminoácidos sulfurados na nutrição de peixes torna-se essencialmente importante quando os alimentos de origem animal são substituídos por aqueles de origem vegetal, principalmente como estratégia de substituição da farinha de peixe (Khan e Abidi, 2011).

A metionina é o primeiro aminoácido limitante em rações à base de proteína dos subprodutos da soja para peixes (Furuya *et al.*, 2001) e sua suplementação dietética tem demonstrado melhorias significativas no ganho de peso, conversão alimentar e na taxa de eficiência proteica para alevinos de tilápia-do-nilo (Furuya *et al.*, 2001; Furuya *et al.*, 2004). No entanto as recomendações para esta espécie têm apresentado grandes variações, principalmente quando é observada a relação estabelecida entre a metionina+cistina: lisina, demonstrando variações que vão desde 56,66% até 71,75% (Furuya *et al.*, 2001; Furuya *et al.*, 2004; Nguyen, 2007; Bomfim *et al.*, 2008; Nguyen e Davis, 2009a,b).

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a necessidade nutricional de metionina+cistina digestível em rações para juvenis de tilápia-do-nilo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Aquicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Espírito Santo, São José do Calçado – ES (21° 1' 31" de latitude sul e 41° 39' 20" de longitude oeste), com duração de 30 dias. Foram utilizados 1260 juvenis masculinizados de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagem tailandesa, com peso médio inicial de $0,80 \pm 0,03$ g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos, seis repetições e 30 peixes por unidade experimental.

As tilápias foram mantidas em 42 aquários de polietileno de 300L, dotados de sistemas individuais de aeração por meio de pedras porosas acopladas a um soprador central; abastecimento de água e escoamento pelo fundo disposto em sistema de recirculação com renovação mínima de 25% ao dia; e temperatura controlada por meio de termostato digital.

Durante todo o período experimental foram utilizados filtros físicos e biológicos para manutenção da qualidade físico-química da água, com sifonagem semanal dos aquários para retirada de fezes e possíveis sobras alimentares.

Os parâmetros físico-químicos da água, como pH ($6,89 \pm 0,36$), condutividade elétrica ($126,13 \pm 9,57 \mu\text{Sm/cm}$), e o teor de oxigênio dissolvido ($7,12 \pm 0,44$ mg/L),

foram medidos semanalmente utilizando-se peagâmetro, condutímetro e oxímetro, respectivamente. A temperatura ($27,85 \pm 1,09^{\circ}\text{C}$), por sua vez, foi monitorada diariamente às 7h30 e às 17h30 (termômetro de bulbo de mercúrio graduado de 0°C a 50°C).

Foi utilizada ração basal, a base de milho, farelo de soja, farinha de peixe e farinha de carne e ossos, a qual foi adicionada níveis crescentes de DL-metionina 99% em substituição ao amido de milho, resultando em rações experimentais contendo 0,68; 0,80; 0,92; 1,04; 1,16; 1,28 e 1,40% de metionina+cistina digestível, proporcionando relações metionina+cistina: lisina digestível variando de 44,44 a 91,50%. Todas as dietas mantiveram-se isoenergéticas, isoproteicas, isocálcicas, isofosfóricas e isoaminoacídicas para lisina e treonina digestível (Tab. 1).

Para elaboração das rações, os ingredientes foram triturados em moinho de peneira 0,5 mm, pesados e homogeneizados manualmente. Após esse processo, foi adicionado água a 50°C , na proporção de 50% peso/volume e a mistura peletizada em moinho industrial com matriz de 4 mm de diâmetro. As rações foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C durante 24 horas. Posteriormente, os grânulos foram fracionados de forma a adequar o diâmetro dos peletes ao tamanho da boca dos peixes.

As dietas foram fornecidas em seis refeições diárias, com intervalos de duas horas, iniciando sempre às 8h e terminando às 18h, em pequenas quantidades, a fim de possibilitar ingestão máxima até aparente saciedade, reduzindo assim a possibilidade de perdas de nutrientes por lixiviação.

Foram avaliadas variáveis de desempenho (ganho de peso, taxa de crescimento específico, taxa de sobrevivência, consumo de ração, consumo de lisina digestível, conversão alimentar aparente, eficiência proteica para ganho, eficiência de lisina para ganho e eficiência de retenção de nitrogênio) e de composição corporal (teores de umidade, gordura, proteína, matéria mineral corporal e as taxas de deposição diária de proteína e gordura corporais) conforme descrito por Bomfim *et al.* (2008).

No início, após jejum de 24 horas, 100 animais foram insensibilizados em água contendo gelo e foram sacrificados para posterior análise de composição química corporal. De forma semelhante, ao final do período experimental, 10 animais com

pesos mais próximos ao peso médio da respectiva unidade experimental, foram abatidos para análise de composição corporal.

Tabela 1 – Composição das rações experimentais (base na matéria natural)

Ingrediente (%)	Nível de metionina+cistina digestível						
	0,68	0,80	0,92	1,04	1,16	1,28	1,40
Farelo de soja	42,76	42,76	42,76	42,76	42,76	42,76	42,76
Fubá de milho	43,26	43,26	43,26	43,26	43,26	43,26	43,26
Glúten de milho 60%	5,58	5,58	5,58	5,58	5,58	5,58	5,58
Farinha de peixe 55%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
FCO 45% ¹	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
Óleo de soja	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
Amido de milho	0,80	0,68	0,55	0,43	0,31	0,19	0,07
Fosfato bicálcico	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
DL-metionina 99%	0,00	0,12	0,24	0,37	0,49	0,61	0,73
L-treonina 98,5%	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Suplemento vitamínico ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Suplemento mineral ³	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
CL – colina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Vitamina C ⁴	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
BHT ⁵	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Composição (%)							
Matéria seca ⁶	88,78	88,78	88,78	88,78	88,78	88,78	88,78
Proteína bruta ⁶	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25	29,25
Proteína digestível ⁶	26,80	26,80	26,80	26,80	26,80	26,80	26,80
ED (kcal/kg) ⁶	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090
Cálcio total ⁷	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Fósforo disponível ⁶	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Fibra bruta ⁷	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
Extrato etéreo ⁷	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
Lisina digestível ⁶	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53
M+C digestível ⁶	0,68	0,80	0,92	1,04	1,16	1,28	1,40
Treonina digestível ⁶	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18

¹Farinha de carne e ossos 45%.

²Composição por quilograma do produto: vit. A, 8.000.000 UI; vit. D3, 2.500.000 UI; vit. E, 8.000 mg; vit. K3, 1.500 mg; vit. B1, 1.000 mg; vit. B2, 4.000 mg; vit. B6, 1.000 mg; vit. B12, 12.000 mg; niacina, 20 g; pantotenato de cálcio, 8.000 mg; ácido fólico, 300 mg; biotina, 20 mg.

³Composição por quilograma do produto: Fe, 96 g; Cu, 20 g; Mn, 155 g; Zn, 110 g; I, 1.400 mg; Se, 360 mg.

⁴Vitamina C P.A.: 99% de princípio ativo.

⁵Butil-hidroxi-tolueno (antioxidante).

⁶Composição calculada conforme tabelas brasileiras para nutrição de tilápias de Furuya *et al.* (2010).

⁷Composição calculada conforme tabelas brasileiras para aves e suínos de Rostagno *et al.* (2005).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SAEG – Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (UFV, 2007) sendo os dados submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e a regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis crescentes de metionina+cistina nas rações não influenciaram ($P>0,05$) a taxa de sobrevivência e o consumo de ração dos juvenis de tilápia-do-nilo (Tab. 2). O resultado para sobrevivência concorda com aqueles obtidos por Furuya *et al.* (2004) e também por Schwarz *et al.* (1998). De forma semelhante, Bomfim *et al.* (2008) não observaram efeito da suplementação de metionina+cistina sobre o consumo de ração e sobre a sobrevivência de alevinos de tilápia-do-nilo.

Com aumento da suplementação de aminoácidos sulfurados, foi observado efeito quadrático ($P<0,05$) sobre o ganho de peso (Fig. 1) dos juvenis de tilápia-do-nilo, estimando em 0,96% de metionina+cistina digestível o nível nutricional necessário para obtenção de maior ganho de peso dos peixes, correspondente a 3,58% da proteína digestível da dieta. Esse valor é próximo a 1,01% de metionina+cistina digestível recomendado por Furuya *et al.* (2001) para máximo ganho de peso de alevinos de tilápia-do-nilo ($1,31 \pm 0,06$ g), com relação metionina+cistina: proteína digestível de 3,59%.

Tabela 2 – Desempenho de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

Variável	Nível de metionina+cistina digestível (%)							CV (%)
	0,68	0,80	0,92	1,04	1,16	1,28	1,40	
GP (g) ¹	6,40	6,44	7,09	6,58	6,51	6,25	6,02	4,66
TCE (%/dia) ¹	7,32	7,34	7,62	7,40	7,37	7,25	7,14	2,50
TXS (%) ³	91,33	91,66	90,00	92,77	92,77	91,66	91,33	4,52
CR (g) ⁴	8,27	7,93	8,23	8,04	8,16	7,89	8,14	2,79
CMD (mg) ²	56,27	63,50	75,75	83,67	94,69	101,03	114,08	3,21
CAA (g/g) ¹	1,29	1,23	1,16	1,22	1,25	1,26	1,35	3,58
EPG (g/g) ¹	2,64	2,77	2,94	2,79	2,72	2,71	2,52	3,61
ELG (g/g) ¹	50,59	53,07	56,26	53,49	52,18	51,81	48,33	3,61

¹Efeito quadrático ($P<0,05$): ganho de peso (GP) ($\hat{Y} = 2,8169 + 8,1294X - 4,2119X^2$; $R^2 = 0,70$); taxa de crescimento específico (TCE) ($\hat{Y} = 5,6837 + 3,7247X - 1,9338X^2$; $R^2 = 0,71$); conversão alimentar aparente (CAA) ($\hat{Y} = 2,0598 - 1,7487X + 0,8894X^2$; $R^2 = 0,84$); eficiência proteica para ganho (EPG) ($\hat{Y} = 0,9862 + 3,7863X - 1,9229X^2$; $R^2 = 0,81$); eficiência de lisina para ganho (ELG) ($\hat{Y} = 18,8556 + 72,3867X - 36,7624X^2$; $R^2 = 0,81$).

²Efeito linear ($P<0,05$): consumo de metionina digestível (CMD) ($\hat{Y} = 1,4121 + 79,5032X$; $R^2 = 0,99$).

³Taxa de sobrevivência.

⁴Consumo de ração.

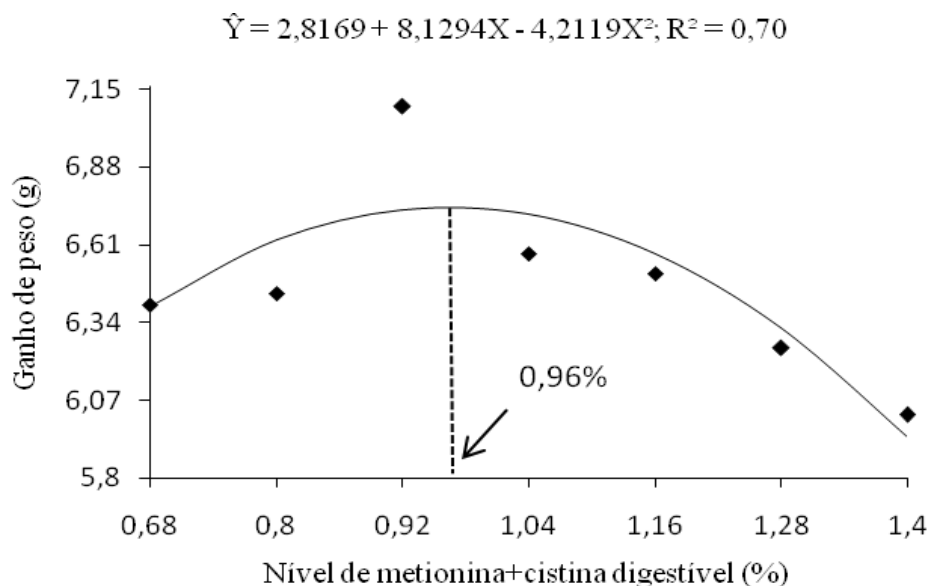


Figura 1 – Ganho de peso de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

Concordando com o observado neste estudo, Furuya *et al.* (2004) em investigação sobre a exigência de metionina+cistina total para alevinos de tilápia-do-nilo ($2,61 \pm 0,14$ g) descreveram efeito quadrático dos níveis dos aminoácidos testados sobre o ganho de peso dos peixes, e estimaram em 1,22% de metionina+cistina total o requerimento nutricional para máximo ganho de peso das tilápias, correspondendo a relação metionina+cistina: proteína bruta equivalente a 4,31%.

Nguyen (2007) ao avaliar o requerimento de aminoácidos sulfurados totais em dietas para juvenis de tilápia-do-nilo estimaram em 0,85% de metionina necessário para proporcionar maior ganho de peso dos peixes, e ainda concluíram que a cistina, quando suplementada em dietas para esta espécie, pode substituir 49% das necessidades nutricionais de metionina.

Mais recentemente, Nguyen e Davis (2009a) com objetivo de determinar o requerimento de metionina em dietas do tipo práticas para juvenis de tilápia-do-nilo ($5,62 \pm 0,13$ g) recomendaram o nível de 0,85% aminoácidos sulfurados totais (metionina+cistina) em rações para obter máximo ganho de peso dos peixes. Santiago e Lovell, (1988) recomendaram 0,80% de metionina total em rações com

0,20% de cistina total, objetivando alcançar os maiores valores para ganho de peso de alevinos de tilápia-do-nilo (0,15-0,87 g). Este valor além de ser inferior ao estimado neste estudo (0,96%) é apresentado sob a forma de aminoácido total, o que dificulta a comparação entre os dados apresentados.

Nguyen e Davis (2009b) em estudo com objetivo de re-avaliar o requerimento nutricional de aminoácidos sulfurados totais para juvenis de tilápia-do-nilo (1,28 g) recomendaram o nível de 0,85% de metionina+cistina total para otimizar o ganho de peso dos peixes. Este valor é semelhante aos descritos por Bomfim *et al.* (2008) de 0,86% de metionina+cistina digestível, e por Schwarz *et al.* (1998) de 0,85% de metionina total para carpas (*Cyprinus carpio*) na fase de terminação (569 ± 65 g), baseado no peso final e na deposição de proteína corporal.

A elevação dos níveis de metionina+cistina digestível nas rações promoveu efeito quadrático ($P < 0,05$) sobre a taxa de crescimento específico, estimando em 0,96% de metionina+cistina digestível, referente a 3,58% da proteína digestível da dieta.

A alta taxa de crescimento específico obtida neste experimento, com ponto de máximo em 7,48% ao dia, confirma o intenso metabolismo característico de animais jovens na fase pós-larva, onde os requerimentos nutricionais se elevam, principalmente em proteína e aminoácidos, para formação de tecido magro. Este resultado permite inferir ainda que o manejo e as rações suplementadas com aminoácidos sintéticos utilizados neste experimento foram suficientes para permitir máxima expressão do desempenho dos peixes.

A taxa de crescimento obtida neste estudo (7,48% ao dia) é superior a 7,10%/dia (dados calculados) média observada por Bomfim *et al.* (2008) com tilápias na mesma fase de desenvolvimento dos peixes utilizados nesta pesquisa, e ainda superior a 5,32% ao dia (dados calculados) e a 2,80% ao dia (dados calculados) verificados em investigações realizadas, respectivamente, por Furuya *et al.* (2001) e por Furuya *et al.* (2004) em condições experimentais similares as utilizadas neste estudo.

A redução do desempenho observada nos peixes que consumiram as dietas com maiores conteúdos de metionina+cistina pode ser atribuída à toxicidade causada por sua ingestão desproporcionada, levando a desequilíbrios no *pool* de aminoácidos

para a síntese proteica. Essas alterações podem, inclusive, interferir negativamente na utilização de outros aminoácidos que competem pelo mesmo sítio de absorção (Murthy e Varghese, 1998). Além disso, o atraso do crescimento observado em peixes alimentados com rações contendo níveis superiores a 0,96% de metionina+cistina pode também ser devido ao estresse causado por quantidades excessivas de aminoácido no corpo de peixe, levando a um gasto energético extra para desaminação e excreção do mesmo (Walton, 1985).

Depressão de crescimento observada em peixes com maior ingestão de metionina esta em conformidade com as descobertas de Jackson e Capper (1982) em níveis superiores 3,75% da proteína bruta para alevinos de tilápia mossambicana. Corroborando, Furuya *et al.* (2004) descreveram redução do desempenho de alevinos de tilápia-do-nilo alimentados com rações com conteúdo de metionina acima de 4,31% da proteína bruta da dieta, e de forma semelhante, Schwarz *et al.* (1998), em estudos com carpas em terminação, notam queda nos parâmetros de crescimento quando a metionina foi adicionada em níveis acima de 2,13% da proteína bruta das rações.

Foi observado efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de metionina+cistina digestível sobre a conversão alimentar aparente dos juvenis de tilápia-do-nilo, com redução dos valores de conversão até o nível estimado de 0,98% de metionina+cistina, apresentando ponto de mínimo em 1,20 (Fig. 2). Concordando com o observado neste estudo, Furuya *et al.* (2001) notaram efeito quadrático nos teores de metionina+cistina digestível testados sobre a conversão alimentar de alevinos de tilápia-do-nilo, e recomendaram 1,00% de metionina+cistina, com ponto de mínimo em 1,49. Posteriormente, Furuya *et al.* (2004) recomendaram 1,00% de metionina+cistina total para obtenção de menor conversão alimentar de alevinos de tilápia-do-nilo, com ponto de mínimo de 1,11.

Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de metionina+cistina testados sobre a eficiência proteica para ganho e sobre a eficiência de lisina para ganho, estimando o ponto ótimo em 0,98% de metionina+cistina digestível, para ambas variáveis, proporcionado relação metionina+cistina: proteína digestível de 3,54%. Valor superior ao obtido neste estudo para taxa de eficiência proteica foi estimado por Furuya *et al.* (2004) que em pesquisa com juvenis de tilápia-do-nilo quando

determinaram a exigência de 1,00% de aminoácidos sulfurados totais e por Furuya *et al.* (2001) que determinaram o nível de 1,01% de metionina+cistina digestível para máxima eficiência proteica.

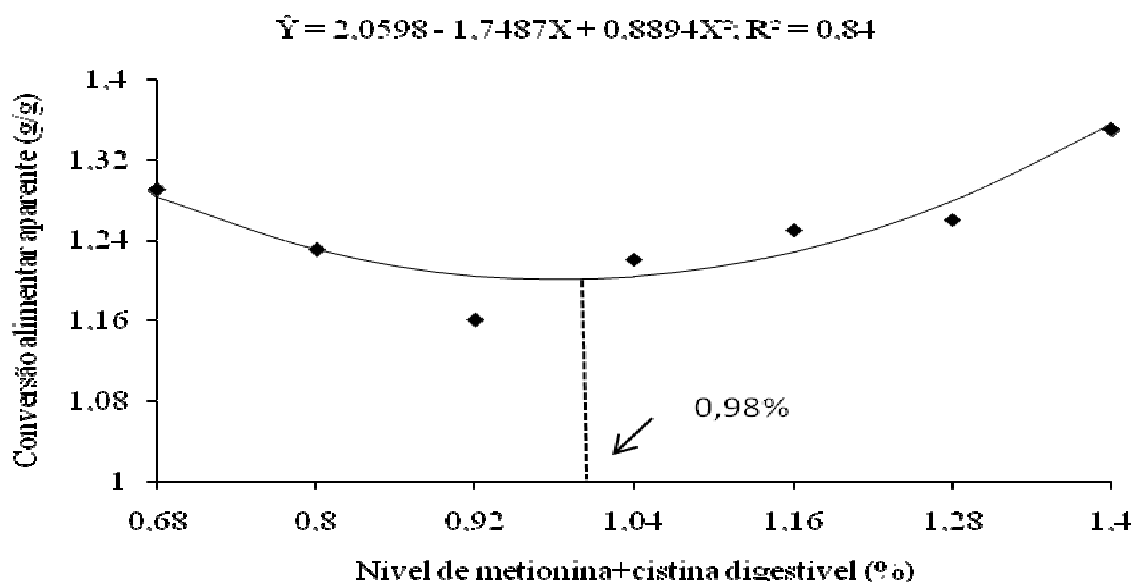


Figura 2 – Conversão alimentar aparente de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

A diminuição do crescimento observado nos tratamentos com maiores percentuais de metionina+cistina está em conformidade com os relatos de Jackson e Capper (1982) que observaram piora das variáveis analisadas em rações com níveis superiores a 3,75% da proteína da dieta. Khan e Abidi (2011) de forma semelhante descreveram redução no desempenho de carpas com níveis acima de 4,1 a 4,22% da proteína das rações.

O consumo de metionina digestível pelos animais aumentou de forma linear ($P < 0,05$) com a elevação dos níveis de metionina+cistina nas rações, concordando com o descrito por Schwarz *et al.* (1998). Possivelmente esse aumento é atribuído à elevação da concentração deste aminoácido nas rações, já que não houve resposta significativa sobre o consumo de ração dos animais.

Tabela 3 – Composição corporal, deposições de proteína e gordura corporais e eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nylo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

Variável	Nível de metionina+cistina digestível (%)							CV (%)
	0,68	0,80	0,92	1,04	1,16	1,28	1,40	
UC (%) ²	76,62	77,23	77,32	77,40	77,29	77,60	77,66	0,46
GC (%) ^{1,2}	5,86	5,64	5,58	5,24	5,16	5,20	4,97	4,66
PC (%) ^{1,4}	14,31	14,10	14,08	14,13	14,52	14,27	14,30	3,14
MMC (%) ^{1,5}	3,19	3,01	3,00	3,22	3,01	2,91	3,06	5,48
DGC (mg/dia) ³	12,50	12,05	13,09	11,31	11,01	10,64	9,75	6,26
DPC (mg/dia) ³	30,55	30,23	33,25	31,01	31,59	29,79	28,68	7,38
ERN (%) ³	37,88	39,05	41,39	39,49	39,68	38,69	36,11	6,36

CV- Coeficiente de variação.

¹Matéria natural.

²Efeito linear ($P < 0,05$): umidade corporal (UC) ($\hat{Y} = 76,1651 + 1,1053X$; $R^2 = 0,73$); gordura corporal (GC) ($\hat{Y} = 6,6094 - 1,1800X$; $R^2 = 0,92$).

³Efeito quadrático ($P < 0,05$): deposição de gordura corporal (DGC) ($\hat{Y} = 10,2261 + 6,9241X - 5,2162X^2$; $R^2 = 0,83$); deposição de proteína corporal (DPC) ($\hat{Y} = 13,9329 + 36,7808X - 18,8409X^2$; $R^2 = 0,65$); eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) ($\hat{Y} = 14,9348 + 51,2376X - 25,7318X^2$; $R^2 = 0,84$).

⁴Proteína corporal.

⁵Matéria mineral corporal.

O aumento dos níveis de metionina+cistina nas rações não influenciou ($P > 0,05$) os teores de proteína e a matéria mineral corporal (Tab. 3). Contudo, o teor de gordura corporal diminuiu linearmente ($P < 0,05$) com o aumento da concentração de metionina na dieta dos peixes, e a umidade corporal, por sua vez, mostrou um padrão inverso ao observado para gordura, aumentando linearmente ($P < 0,05$) com a elevação dietética de metionina disgestível. Este comportamento assemelha-se ao relatado por Khan e Abidi (2011), que em estudo avaliando a necessidade nutricional de metionina para alevinos de carpas (*Cirrhinus mrigala*) ($0,19 \pm 0,02$ g) encontraram maior conteúdo de gordura corporal nas dietas com níveis deficientes de metionina, seguido de redução consistente da mesma à medida que aumentava a inclusão de metionina sintética nas dietas.

De forma semelhante, Schwarz *et al.* (1998) analisando o efeito da suplementação de metionina sobre a composição química do filé, das vísceras e dos resíduos de carcaça de carpas (*Cyprinus carpio*) na fase de terminação (569 ± 65 g), descreveram diminuição significativa do conteúdo de gordura dos constituintes corporais analisados a partir da elevação dos níveis de metionina nas dietas. Neste mesmo estudo, não foi descrito efeito da suplementação de metionina sobre o teor de cinzas corporais, corroborando com o observado nesta pesquisa.

A elevação dos teores de metionina+cistina influenciou de forma quadrática ($P < 0,05$) as deposições diárias de gordura e proteína corporais (mg/dia), estimando em 0,66% e em 0,97% metionina+cistina digestível, respectivamente, os maiores valores para estas variáveis. A partir destes pontos, pôde-se observar expressiva redução nas deposições de gordura e proteína corporal, até o nível estudado de 1,40% de metionina+cistina digestível.

O resultado para deposição de proteína corrobora com os obtidos por Khan e Abidi (2011), em estudos a cerca das exigências de aminoácidos sulfurados para *Cirrhinus mrigala*, uma espécie de carpa, descrevendo aumento na deposição de proteína corporal até o nível de 1,63% de metionina.

Foi observado efeito quadrático ($P < 0,05$) sobre a eficiência de retenção de nitrogênio, que melhorou até o nível estimando de 0,99% de metionina+cistina digestível, correspondente a 3,69% da proteína digestível da dieta (Fig. 3). Khan e Abidi (2011) em estudos com carpas indianas (*Cirrhinus mrigala*) e Zhou *et al.* (2011) com juvenis de choupas (*Sparus macrocephalus*) também notaram efeito sobre este parâmetro, estimando, respectivamente, em 1,63% e em 1,71% o nível ótimo de metionina dietética, valores superiores ao obtido neste estudo.

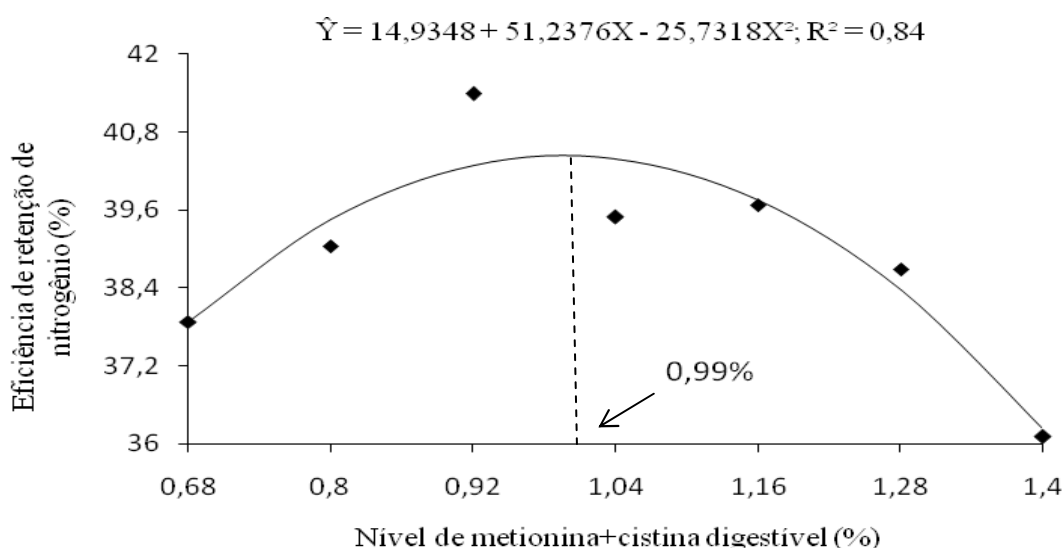


Figura 3 – Eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com rações contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

Ao avaliar a relação existente entre metionina+cistina digestível: proteína digestível, os resultados encontrados neste estudo demonstram que os aminoácidos sulfurados devem estar presentes entre 3,58 e 3,69% da proteína digestível da dieta. Estes valores são semelhantes ao determinado por Santiago e Lovell (1988) de 3,57%, por Furuya *et al.* (2001) de 3,59% e, inferior ao descrito por Nguyen e Davis (2009a) de 3,03%.

CONCLUSÃO

Recomenda-se que dietas para juvenis de tilápia-do-nilo devam conter 0,96% de metionina+cistina digestível, correspondente a 3,58% da proteína digestível da dieta, para máximo ganho de peso dos peixes.

REFERÊNCIAS

- BOMFIM, M.A.D. LANNA, E.A.T.; DONZELE, J.L. *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.
- FURUYA, W.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B. *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.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B. *et al.* Exigência de metionina+cistina para alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Ciência Rural*, v.34, n.6, p.1933-1937, 2004.
- FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. *et al.* *Tabelas Brasileiras para Nutrição de Tilápias*. Toledo, PR, 2010. 100 p.
- JACKSON, A.J.; CAPPER, B.S. Investigations into the requirements of the tilapia *Sarotherodon mossambicus* for dietary methionine, lysine and arginine in semi-synthetic diets. *Aquaculture*, v.29, n.3-4, p.289-297, 1982.
- KHAN, M.A.; ABIDI, S.F. Dietary methionine requirement of Indian major carp fry, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) based on growth, feed conversion and nitrogen retention efficiency. *Aquaculture Research*, v.43, n.3, p.1-14, 2011.

MURTHY, H.S.; VARGHESE, T.J. Total sulphur amino acid requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Nutrition*, v.4, n.1, p.61-65, 1998.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. *Nutrient requirements of fish*. Washington: National Academy Science, 2011. 376 p.

NGUYEN, T.N. Total sulfur amino acid requirement and its application to practical diets for juvenile tilapia (*Oreochromis spp.*). 2007. 117 p. PhD dissertation. Auburn University, Auburn, Alabama, USA.

NGUYEN, T.N.; DAVIS, D.A. Methionine requirement in practical diets of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the world aquaculture society*, v.40, n.3, p.410- 416, 2009a.

NGUYEN, T.N.; DAVIS, D.A. Re-evaluation of total sulphur amino acid requirement and determination of replacement value of cystine for methionine in semi-purified diets of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, v.15, n.3, p. 247-253, 2009b.

ROSTAGNO, R.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. *et al. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais*. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

SANTIAGO, C.B.; LOVELL, R.T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *Journal Nutrition*, v.118, n.12, p.1540-1546, 1988.

SCHWARZ, F.J.; KIRCHGESSNER, M.; DEURINGER, U. Studies on the methionine requirement of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, v.161, n.1-4, p.121-129, 1998.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. *Sistemas de Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG*. Viçosa, MG: 2007 (Versão 9.1). (CD-ROM).

WALTON, M.J. Aspects of amino acid metabolism in teleost fish. In: COWEY, C.B., MACKIE, A.M.; BELL, J.G. *Nutrition and Feeding in Fish*. London: Academic Press, 1985, p. 47–68.

ZHOU, F. Dietary L-methionine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) at a constant dietary cystine level. *Aquaculture Nutrition*, v.17, n.5, p. 469-481, 2011.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O nível de 1,84% de lisina digestível, correspondente a 6,86% da proteína digestível da dieta ou a 0,595%/Mcal de energia digestível, proporcionou o melhor resultado para ganho de peso de juvenis de tilápia-do-nylo;
- O nível de 0,96% de metionina+cistina digestível, correspondente à relação metionina+cistina: lisina digestível de 62,74% e a 3,58% da proteína digestível da dieta ou a 0,310%/Mcal de energia digestível, proporcionou o melhor resultado para ganho de peso de juvenis de tilápia-do-nylo;

6 REFERÊNCIAS GERAIS

ABIMORAD, E.G. et al. Dietary digestible lysine requirements and essential amino acid to lysine ratio for pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Nutrition*, v.16, p.370-377, 2010.

ARARIPE, M.N.B.A. et al. Redução da proteína bruta com suplementação de aminoácidos em rações para alevinos de tabatinga. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.40, n.9, p.1845-1850, 2011.

BALDISSEROTTO, B. *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 2. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009, 352 p.

BENDER, D.A. *Nutritional biochemistry of the vitamins*. 2.ed. Cambridge, USA: Cambridge University Press, 2003, 488 p.

BERGE, G.E.; SVEIER, H.; LIED, E. Effects of feeding Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) imbalanced levels of lysine and arginine. *Aquaculture Nutrition*, v.8, p.239-248, 2002.

BOMFIM, M.A.D. et al. Proteína bruta e energia digestível em dietas para alevinos de curimatá (*Prochilodus affinis*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.34, n.6, p.1795-1806, 2005.

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*, Viçosa, v.37, n.5, p.783-790, 2008a.

BOMFIM, M.A.D. et al. Exigências de treonina, com base no conceito de proteína ideal, de alevinos de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.37, n.12, p.2077-2084, 2008b.

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*, Viçosa, v.39, n.1, p.1-8, 2010.

BOSCOLO, W.R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.31, n.2, p.546-551, 2002a.

BOSCOLO, W.R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.), linhagens tailandesa e comum, na fase inicial e crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.31, n.2, p.539-545, 2002b.

BOSCOLO, W.R. et al. Energia digestível para alevinos de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.35, n.3, p.629-633, 2006.

BROSNAN, J.T.; BROSNAN, M.E. The sulfur-containing amino acids: An overview. *Journal Nutrition*, v.136, p. 1636-1640, 2006.

BUREAU, B.P. et al. Pattern and cost of growth and nutrient deposition in fish and shrimp: Potential implications and applications. In: V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. *Anais...* Mérida, México, 2000.

CAMARGO, S.G.O.; POUHEY, L.O.F. Aquicultura – Um mercado em expansão. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.11, n.4, p.393-396, 2005.

CASE, L.P., CAREY, D.P.; HIRAKAWA, D.A. *Nutricion canina y felina: manual para profesionales*. 7 ed. Barcelona: Ed. Harcourt Brace., 1997. p. 247-267.

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 (Suppl. 1).

COWEY, C.B. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. *Aquaculture*, v.124, n.1-4, p.1-11, 1994.

D´MELLO, J.P.F. Amino acids as multifunctional molecules. In: D´MELLO, J.P.F. *Amino Acids in Animal Nutrition*. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2003, p.1-14.

DABROWSKI, K.; LEE, K.J.; RINCHARD, J. The smallest vertebrate, teleost fish, can utilize synthetic dipeptide based diets. *Journal Nutrition*, v.133, p.4225-4229, 2003.

DABROWSKI, K. et al. The effect of dietary indispensable amino acid imbalances on feed intake: Is there a sensing of deficiency and neural signaling present in fish? *Aquaculture*, v.268, p.136–142, 2007.

DAVIES, S.J.; MORRIS, P.C.; BAKER, R.T.M. Partial substitution of fish meal and full fat soya bean meal with gluten and influence of lysine supplementation in diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, v.28, p.317-328, 1997.

ENCARNAÇÃO, P. et al. Diet digestible energy content affects lysine utilization, but not dietary lysine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) for maximum growth. *Aquaculture*, v.235, p.569-586, 2004.

ENCARNAÇÃO, P.; DE LANGE, C.F.M.; BUREAU, D.P. Diet energy source affects lysine utilization for protein deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, v.261, p.1371-1381, 2006.

FURUYA, W.M. et al. Exigência de proteína para machos revertidos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase juvenil. *Revista Unimar*, Marília, v.18, n.2, p.307-319, 1996.

FURUYA, W.M. et al. Exigência de proteína para alevino revertido de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.26, n.6, p.1912-1917, 2000 (Suplemento).

FURUYA, W.M. Alimentos ambientalmente corretos para piscicultura. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 38., 2001, Piracicaba. *Anais... Piracicaba*, 2001.

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*, Maringá, v.23, n.4, p.885-889, 2001.

FURUYA, W.M. et al. Exigência de lisina pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.5, p.1571-1577, 2004a.

FURUYA, W.M. et al. Exigência de metionina+cistina para alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p.1933-1937, 2004b.

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*, Viçosa, v.34, n.5, p.1433-1441, 2005.

FURUYA, W.M. et al. Exigências de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.35, n.3, p.937-942, 2006 (suplemento).

FURUYA, W.M. et al. *Tabelas Brasileiras para Nutrição de Tilápias*. Toledo, PR, 2010. 100 p.

FURUYA, W.M.; FURUYA, V.R.B. Nutritional innovations on amino acids supplementation in Nile tilapia diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.39, p.88-94, 2010 (suplemento).

GONÇALVES, G.S. et al. Relação lisina digestível: proteína digestível em rações para tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.38, n.12, p.2299-2305, 2009.

HAULER, R.C.; CARTER, C.G. Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. *Reviews in Fisheries Science*, v.9, n.3, p.133-166, 2001.

JACKSON, A.J.; CAPPER, B.S. Investigations into the requirements of the tilapia *Sarotherodon mossambicus* for dietary methionine, lysine and arginine in semi-synthetic diets. *Aquaculture*, v.29, n.3-4, p.289-297, 1982.

KHAN, M.A.; ABIDI, S.F. Dietary methionine requirement of Indian major carp fry, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) based on growth, feed conversion and nitrogen retention efficiency. *Aquaculture Research*, v.43, n.3, p.1-14, 2011.

Li DEFA, L. et al. Effects of dietary threonine on performance, plasma parameters and immune function of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, v.78, p.179-188, 1999.

LIEBERT, F. Amino acid requirement studies in *Oreochromis niloticus* by application of principles of the diet dilution technique. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v.93, n.6, p.787-793, 2009.

LOVSHIN, L.L. Tilapia Aquaculture in Brazil. In: COSTA-PIERCE, B.A.; RAKOCY, J.E. *Tilapia Aquaculture in Americas 2*. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2000. p.133-140.

MACHADO, G.S; FONTES, D.O. Relação entre as exigências nutricionais e o sistema imune em suínos. In: Simpósio internacional sobre exigências nutricionais de aves e suínos, 2., Viçosa. *Anais...* Viçosa, 2005. p.293-314.

MARCOULI, P.A.; ALEXIS, M.N.; ANDRIOPOULOU, A. Dietary lysine requirement of juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Nutrition*, v.12, n.1, p.25–33, 2006.

MATO, J.M. et al. S-Adenosylmethionine synthesis: Molecular mechanisms and clinical implications. *Pharmacology & Therapeutics*, v.73, n.3, p.265-280, 1997.

MEURER, F. Cultivo de tilápias. In: Congresso paranaense dos estudantes de zootecnia, 23. 2002, Maringá. *Anais...* Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2002.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA (MPA). *Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2010. Brasil*. Brasília: MPA, 2012.129 p.

MOURA, G.S. et al. Desempenho e atividade de amilase em tilápias-do-nylo submetidas a diferentes temperaturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.11, p.1609-1615, 2007.

MURTHY, H.S; VARGHESE, T.J. Total sulphur amino acid requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Nutrition*, v.4, n.1, p.61-65, 1998.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. *Nutrient requirements of fish*. Washington: National Academy Science, 1993. 124 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. *Nutrient requirements of fish*. Washington: National Academy Science, 2011. 376 p.

NGUYEN, T.N. Total sulfur amino acid requirement and its application to practical diets for juvenile tilapia (*Oreochromis spp.*). 2007. 117 p. PhD dissertation. Auburn University, Auburn, Alabama, USA.

NGUYEN, T.N.; DAVIS, D.A. Methionine requirement in practical diets of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the world aquaculture society*, v.40, n. 3, p.410- 416, 2009a.

NGUYEN, T.N.; DAVIS, D.A. Re-evaluation of total sulphur amino acid requirement and determination of replacement value of cystine for methionine in semi-purified diets of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, v.15, n.3, p. 247-253, 2009b.

OBLED, C. Necesidades de aminoácidos en estados inflamatorios. In: Curso de especializacion fedna, 2003. Madrid. *Proceedings...* Madrid: INRA, Uniti de nutrition et metabolisme proteique, 2003. p.73-88.

OLIVA-TELES, A. Nutrition and health of aquaculture fish. *Journal of Fish Diseases*, v.35, n.2, p.83-108, 2012.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J.R. Água e aquicultura. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. *Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 579-604.

PEZZATO, L.E. et al. Nutrição de peixes. In: CYRINO, J.E.; et al. *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. São Paulo: tecArt, 2004. p.75-169.

QUADROS, M. et al. Crude protein reduction and digestible methionine+cystine and threonine to digestible lysine ratios in diets for Nile tilapia fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, p.1400-1406, 2009.

ROSTAGNO, R.S. et al. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais*. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

SANTIAGO, C.B.; LOVELL, R.T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *Journal Nutrition*, v.118, n.12, p.1540-1546, 1988.

SCHUHMACHER, A.; WAX, C.; GROPP, J.M. Plasma amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed intact protein or a crystalline amino acid diet. *Aquaculture*, v.151, p.15-28, 1997.

SCHWARZ, F.J. et al. Studies on the methionine requirement of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, v.161, n.1-4, p.121-129, 1998.

SILVA, L.C.R. et al. Níveis de treonina em rações para tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.35, n.4, p.1358-1264, 2006.

TAKISHITA, S.S. et al. Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápiado-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.38, n.11, p.2099-2105, 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. *Sistemas de Análises Estatísticas e Genéticas - SAEG*. Viçosa, MG: 2007 (Versão 9.1). (CD-ROM).

WALTON, M.J. Aspects of amino acid metabolism in teleost fish. In: COWEY, C.B., MACKIE, A.M.; BELL, J.G. *Nutrition and Feeding in Fish*. London: Academic Press, 1985, p.47-68.

WANG, S.; ENCARNAÇÃO, P.M.; PAYNE, R.L.; BUREAU, D.P. Estimating dietary lysine requirements for live weight gain and protein deposition in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). International Symposium on Fish Nutrition and Feeding. Qingdao, China, 2010.

WILSON, R.P. Amino acid and Proteins. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. *Fish Nutrition*. 3. ed. Washington: Academic Press, 2002. p.144-179.

WILSON, R.P. Amino acid requirements of finfish and crustaceans. In: *Amino acid in farm animal nutrition*. Wallingford: CAB International, 2003, p.427-447.

ZARATE, D.D.; LOVELL, R.T. Free lysine (L-lysine HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, v.159, p.87-100, 1997.

ZHOU, X.Q. et al. Dietary lysine requirement of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*). *Aquaculture Nutrition*, v.14, p.381–386, 2008.

ZHOU, F. et al. Dietary L-methionine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) at a constant dietary cystine level. *Aquaculture Nutrition*, v. 17, n.5, p.469-481, 2011.

7 ANEXOS

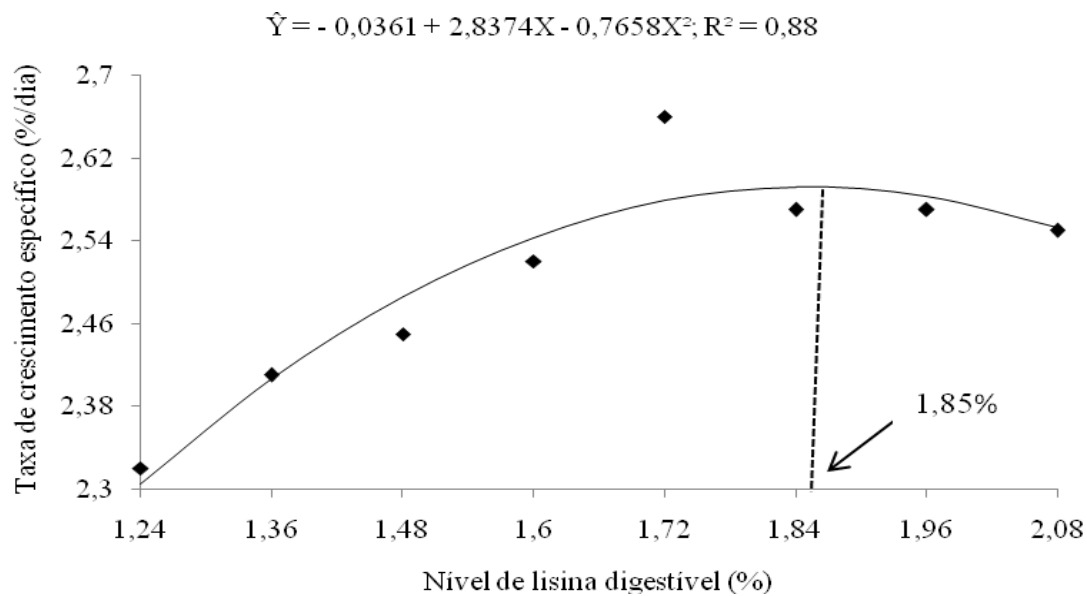


Figura 1 – Taxa de crescimento específico de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível

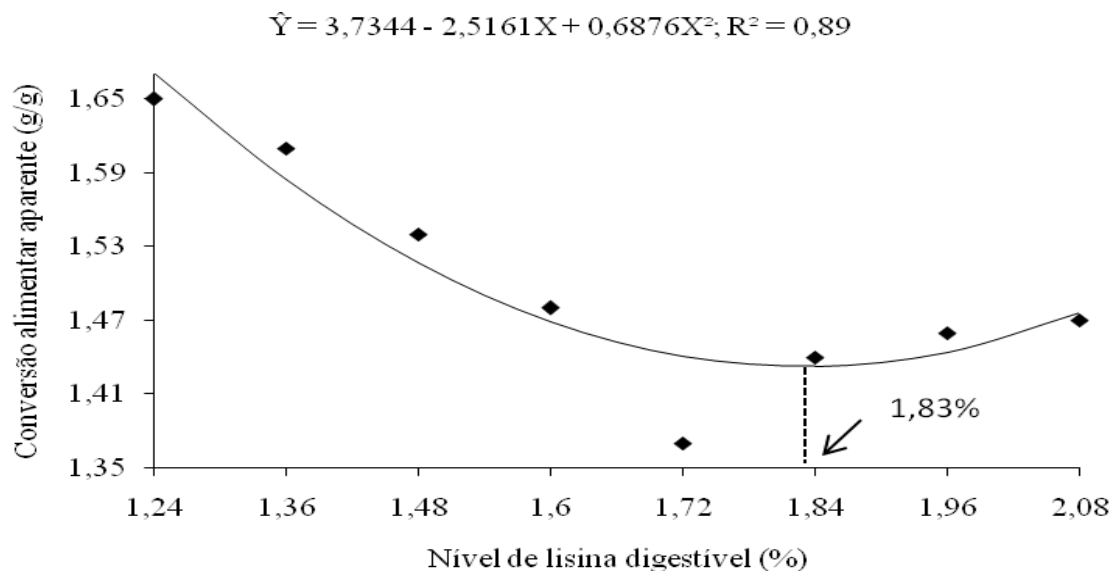


Figura 2 - Conversão alimentar aparente de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível

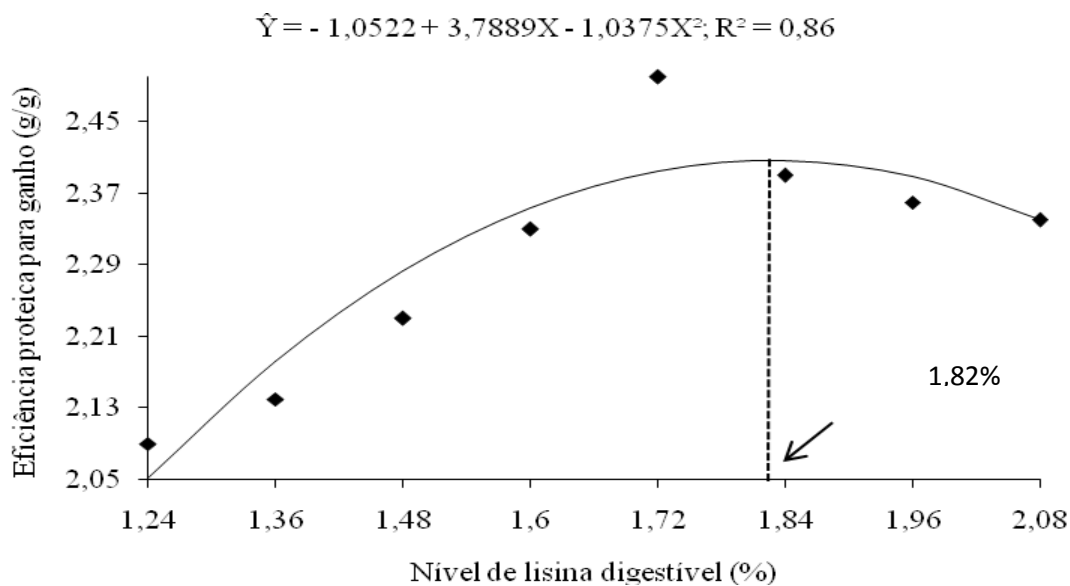


Figura 3 – Eficiência proteica para ganho de juvenis de tilápia-do-nylo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível

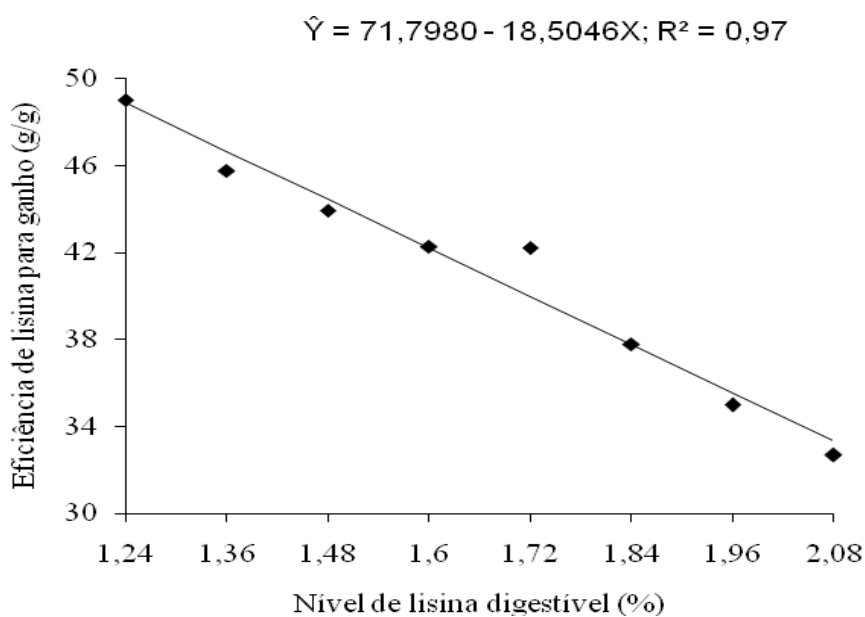


Figura 4 – Eficiência de lisina para ganho de juvenis de tilápia-do-nylo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível

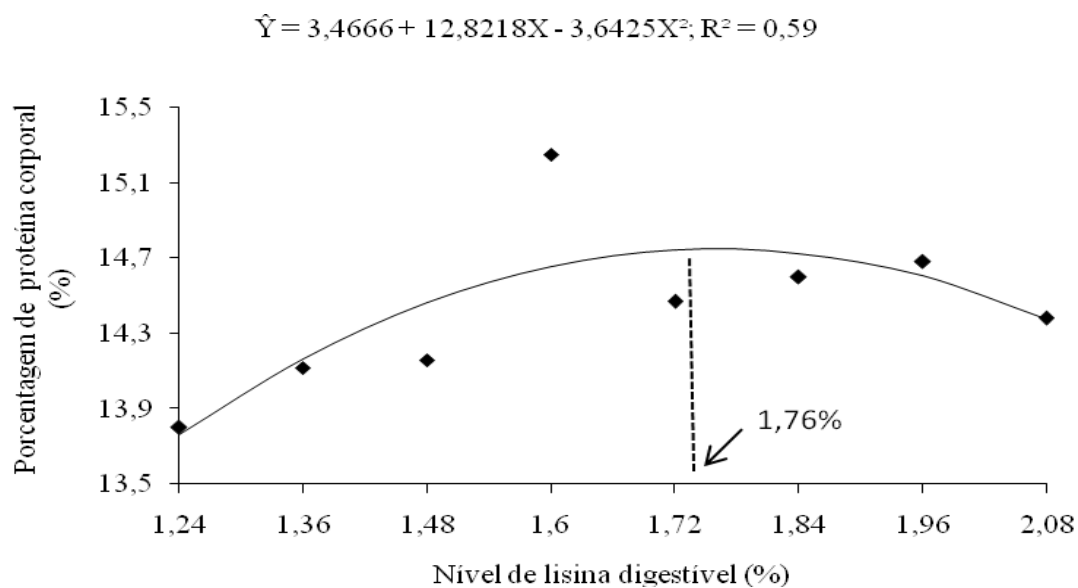


Figura 5 – Porcentagem de proteína corporal de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível

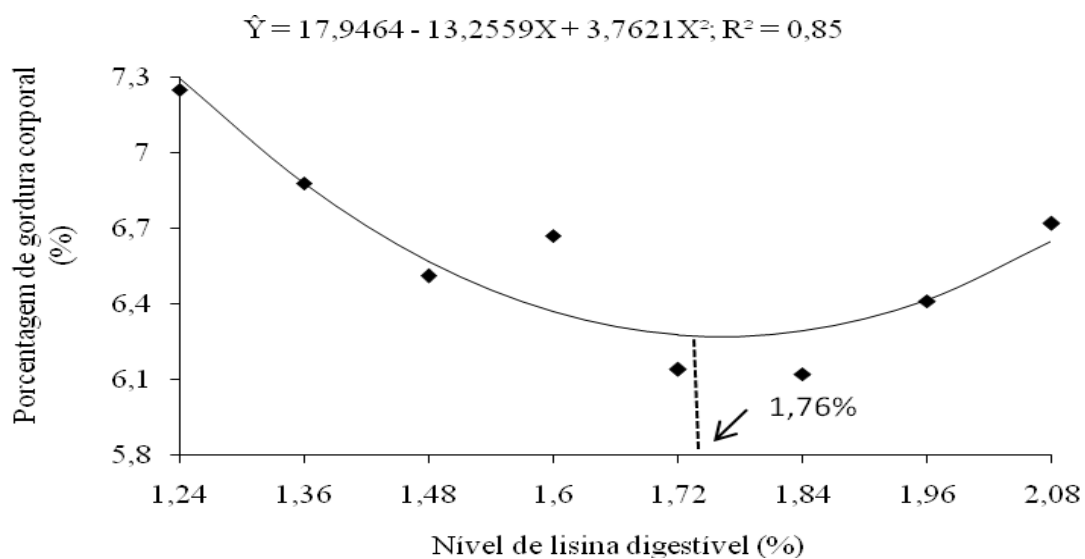


Figura 6 – Porcentagem de gordura corporal de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível

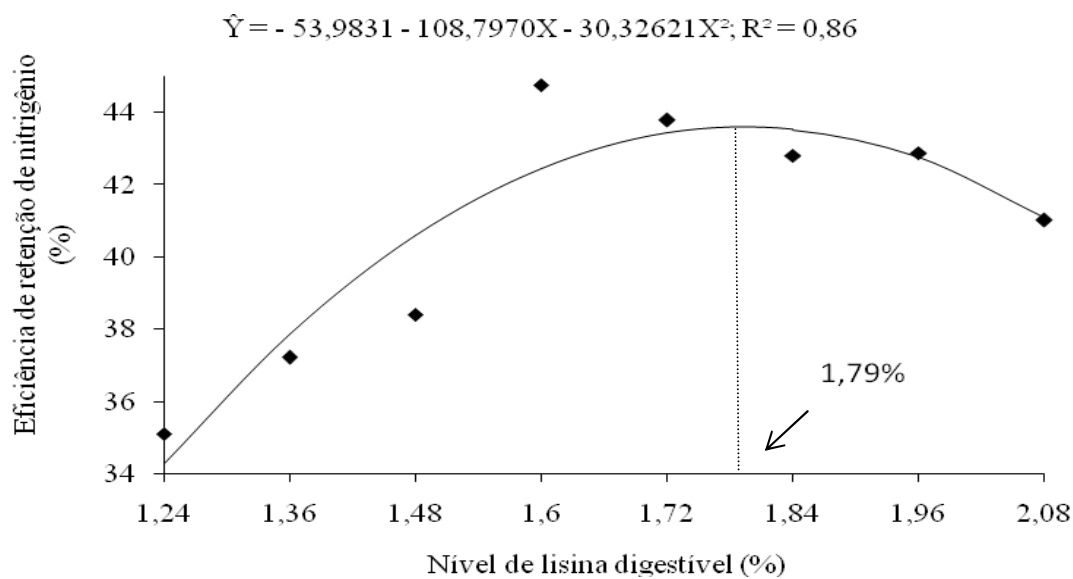


Figura 7 – Eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nylo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível

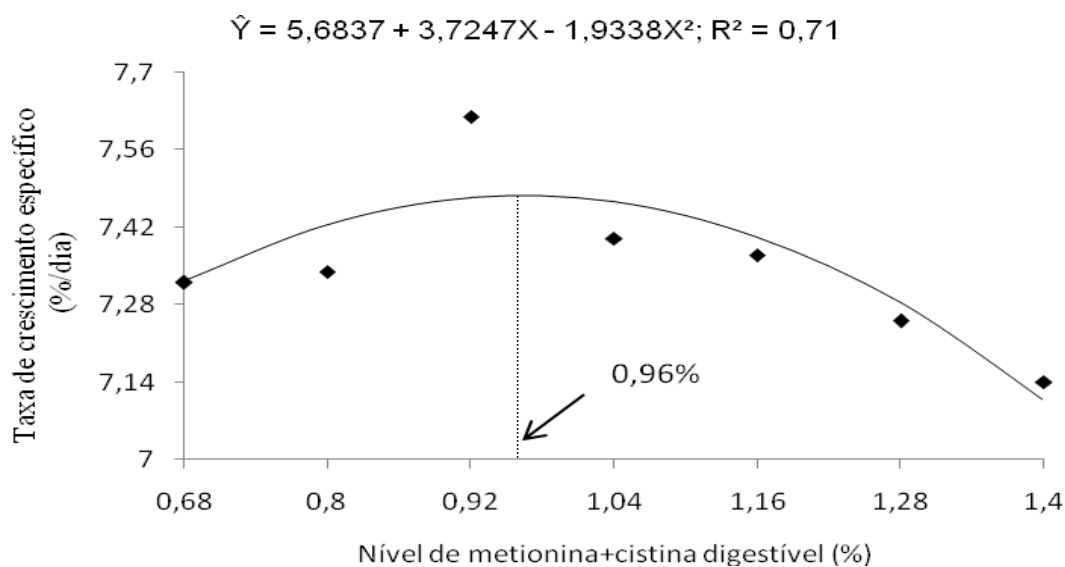


Figura 8 – Taxa de crescimento específico de juvenis de tilápia-do-nylo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

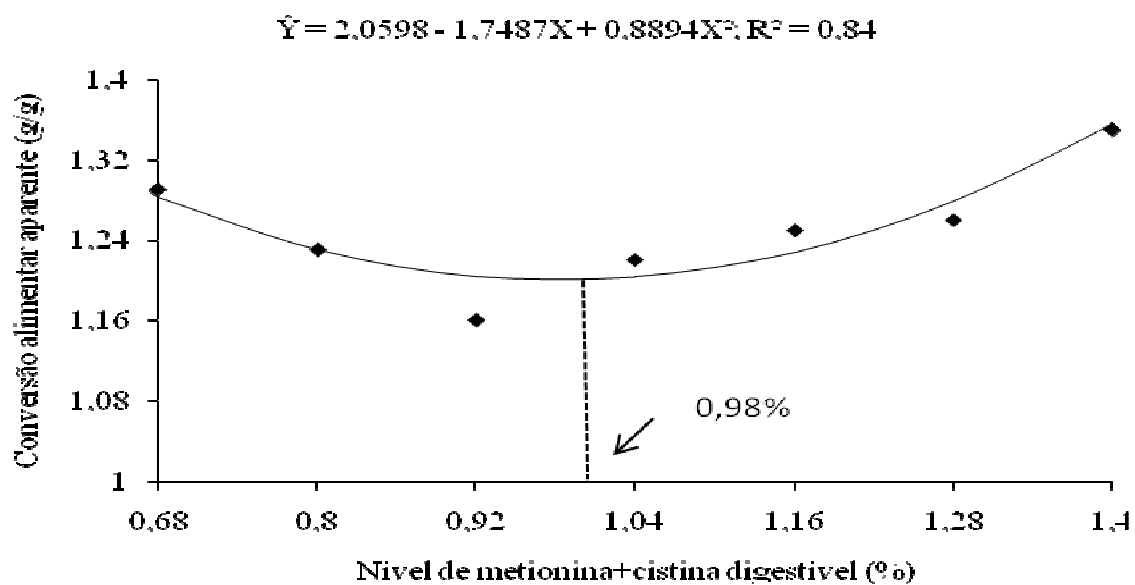


Figura 9 – Conversão alimentar aparente de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

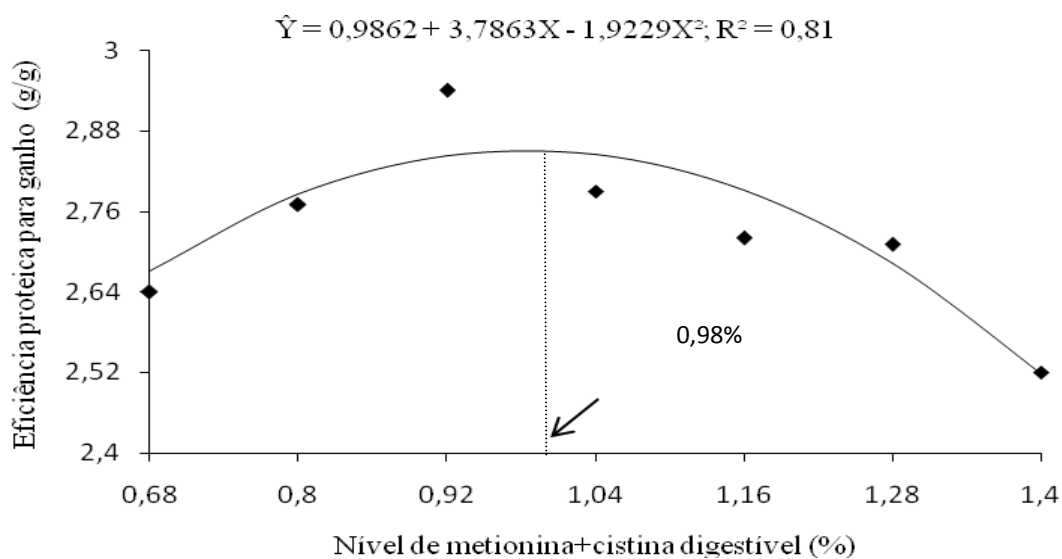


Figura 10 – Eficiência proteica para ganho de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

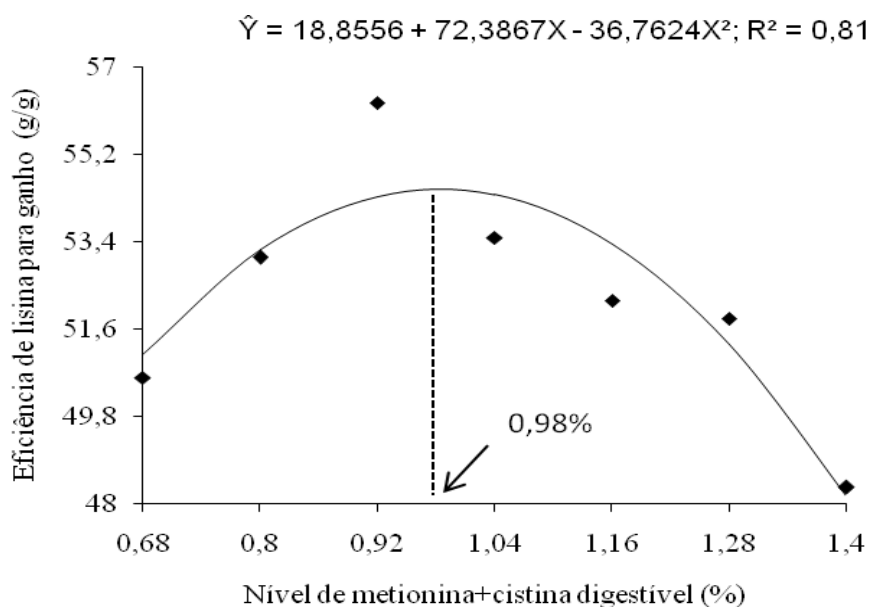


Figura 11 – Eficiência de lisina para ganho de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

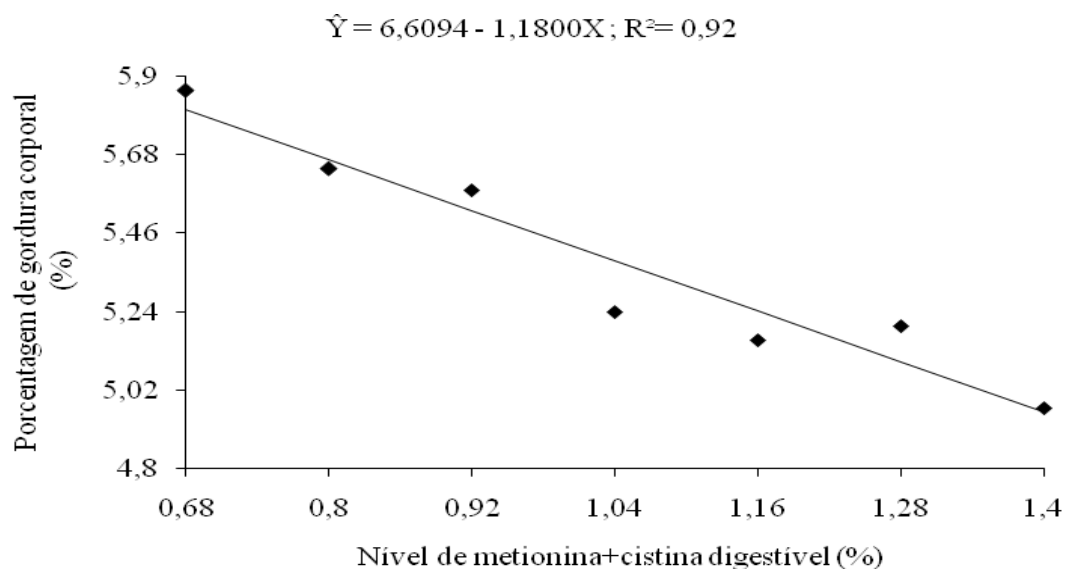


Figura 13 – Porcentagem de gordura corporal de juvenis de tilápia-do-nilo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível

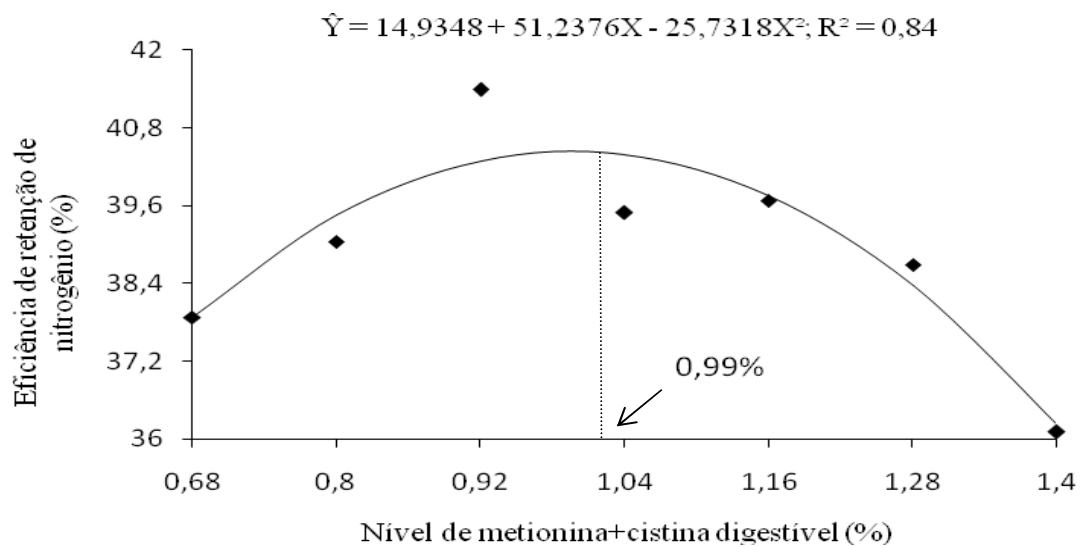


Figura 14 – Eficiência de retenção de nitrogênio de juvenis de tilápia-do-nylo alimentados com dietas contendo níveis crescentes de metionina+cistina digestível



Figura 15 – Pesagem inicial dos juvenis de tilápia-do-nylo (exp.1)



Figura 16 – Distribuição dos peixes nas unidades experimentais (exp.1)



Figura 17 – Unidade experimental (aquário de 60L) (exp.1)



Figura 18 – Juvenis de tilápia-do-nylo alocados na unidade experimental (exp.1)



Figura 19 – Visão geral das unidades experimentais (exp.1)



Figura 20 – Laboratório de Aquicultura



Figura 21 – Pesagem inicial dos juvenis de tilápia-do-nilo (exp.2)



Figura 22 – Visão geral das unidades experimentais (exp.2)



Figura 23 – Arraçoamento dos peixes (exp.2)



Figura 24 – Juvenis de tilápia-do-nilo alocados na unidade experimental (exp.2)



Figura 25 – Processo de peletização das rações experimentais



Figura 26 – Fragmentação dos peletes para fornecimento aos peixes