

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Veterinária
Pós-graduação em Zootecnia

Stefani Grace da Silva Moraes

**RELAÇÃO ARGININA/LISINA NA DIETA PARA DIFERENTES GRUPOS
GENÉTICOS DE TILÁPIA DO NILO**
(Oreochromis niloticus)

Belo Horizonte
2022

Stefani Grace da Silva Moraes

**RELAÇÃO ARGININA/ LISINA PARA DIFERENTES GRUPOS GENÉTICOS DE
TILÁPIA DO NILO**
(Oreochromis niloticus)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

Prof. Orientador: Edgar de Alencar Teixeira

Coorientadora: Érika Ramos de Alvarenga

Belo Horizonte
2022

M828r Moraes, Stefani Grace da Silva, 1991-
relação arginina/ lisina para diferentes grupos genéticos de tilápia do nilo (*Oreochromis Niloticus*)
/ Stefani. – 2022.
46.f.

Orientador: Edgar de Alencar Teixeira
Tese (Doutorado) apresentada à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.
Bibliografia: f. 16 a 19.

1. Tilápia - Peixes - Teses - 2. Melhoramento Genético - Teses - 3. Zootecnia - Teses -
4. Nutrição animal - Teses - I. Teixeira, Edgar de Alencar - II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - III. Título.

CDD – 636.089

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569
Biblioteca da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais



Escola de Veterinária
UFMG

ESCOLA DE VETERINARIA DA UFMG
COLEGIADO DO PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ZOOTECNIA
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao

E-mail cpzootec@vet.ufmg.br

ATA DE DEFESA DE TESE DO ALUNO STEFANI GRACE DA SILVA MORAES

As 09:00 horas do dia 08 de abril de 2022, reuniu-se, remotamente, a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo colegiado no dia 05/04/2022, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada: **RELAÇÃO ARGININA/LISINA PARA DIFERENTES GRUPOS GENÉTICOS DE TILÁPIA DO NILO** (*Oreochromis niloticus*), como requisito final para a obtenção do Grau de **Doutor em Zootecnia, área de concentração Produção Animal – Aquacultura**.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Edgar de Alencar Teixeira, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) Thiago Bernardes Fernandes Jorge	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Marcos Antônio da Silva	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Alexandre Benvindo de Sousa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Galileu Crovatto Veras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Edgar de Alencar Teixeira	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): Aprovado (a)
 Reprovado (a)

Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 03 volumes encadernados da versão final da tese acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 08 de abril de 2022.

Assinatura dos membros da banca:

Marcos Antonio da Silva

ALEXANDRE BENVINDO DE SOUSA
SOUSA: 80938922653
Assinado de forma digital por ALEXANDRE BENVINDO DE SOUSA/80938922653
Data: 2022.04.27 20:00:55 -0300

Thiago B.F. Jorge

Galileu Crovatto Veras

[Assinatura]

(Vide Normas Regulamentares da defesa de Tese no verso)

(Este documento não terá validade sem assinatura e carimbo do Coordenador)

RESUMO

A exigência de arginina e lisina para peixe pode variar de acordo com a composição genética do animal. A quantidade de aminoácidos a ser suplementada na dieta deve ser realizada em proporções equilibradas para evitar seus efeitos indesejáveis sobre o desempenho, como crescimento reduzido, por exemplo. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes relações arginina:lisina para tilápia do Nilo de diferentes grupos genéticos. Foram avaliadas as respostas de crescimento, sobrevivência, digestibilidade, composição corporal e parâmetros bioquímicos de tilápia do Nilo de duas gerações de um programa de melhoramento genético, base genética do grupo (G0) e grupo melhorado (obtido após 4 gerações de seleção - G5) com peso médio inicial de $43,00 \pm 1,01$ e $57,70 \pm 1,60$ g, respectivamente, recebendo dietas com diferentes relações arginina: lisina ($T_1 = 0,76$; $T_2 = 0,93$; $T_3 = 1,12$ e $T_4 = 1,30$). As diferentes relações arginina:lisina não tiveram efeito significativo sobre o peso final, ganho de peso, conversão alimentar, consumo de ração e índice hepatossomático. Também não houve interação da relação arginina:lisina com o grupo genético ($p > 0,05$). Entretanto, o grupo G5 apresentou melhores resultados de desempenho em relação a G0 ($p < 0,05$). O consumo de ração foi maior para G5 ($p < 0,05$), mas não alterou a conversão alimentar ($p > 0,05$). A sobrevivência foi a mesma entre os grupos alimentados com diferentes relações arginina:lisina e entre os dois grupos genéticos. Os animais do grupo G5 tiveram maior digestibilidade da matéria seca e proteína ($p < 0,05$). O efeito antagonista da arginina:lisina sobre o desempenho não foi observado em tilápia do Nilo pertencentes aos grupos G0 e G5. O grupo G5 apresenta crescimento superior a G0, mas apesar disso, na fase estudada, não foi necessária a utilização de dieta com relação arginina:lisina específica para a geração melhorada.

Palavras-chave: relação entre aminoácidos, desempenho zootécnico, melhoramento genético, nutrição, metabolismo proteico.

ABSTRACT

Arginine and lysine are essential amino acids for fish, so it is necessary to include them in diets. The amount to be supplemented can vary according to physiological stage, age and genetic material. These amino acids are known to have antagonistic effects with each other in several animal species when supplemented in unbalanced doses. Thus, knowledge of the ideal arginine:lysine ratio for animals of different genetic lineages is important for maximizing performance. Due to the importance of arginine and lysine to growth and body protein deposition, and their antagonistic effects, the present study aimed to evaluate different arginine:lysine ratios (T1 = 0.76; T2 = 0.93; T3 = 1.12 and T4 = 1.30) in two lineages of Nile tilapia (initial lineage G0 and improved lineage G5). Two experiments, one of digestibility and one of performance, were carried out simultaneously, lasting 26 and 62 days, respectively. Arginine:lysine ratio had no significant effects on final weight, weight gain, feed conversion, feed intake and hepatosomatic index. There was also no interaction between arginine:lysine ratio and lineage ($p > 0.05$). However, the G5 lineage showed better performance results compared to G0 ($p < 0.05$). Feed intake was higher for G5 ($p < 0.05$) but did not change the feed conversion rate ($p > 0.05$). There were no differences among treatments for survival rate. Animals of the G5 lineage had greater digestibility of dry matter and protein ($p < 0.05$). In conclusion, the antagonistic effects of arginine and lysine on performance did not occur in Nile tilapia belonging to the G0 and G5 lineages. However, the G5 lineage had a higher growth than G0, so it is not necessary to use a diet with a specific arginine:lysine ratio for each generation.

Keywords: amino acid antagonism, zootechnical performance, genetic improvement, nutrition, *Oreochromis niloticus*.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Formulação e composição proximal das dietas com diferentes proporções arginina:lisina(g.kg^{-1}) 25
- Tabela 2- Peso médio final (PF), ganho médio de peso (GP), ganho de peso diário (GPD), consumo médio de ração (CR), de duas linhagens de tilápia do Nilo alimentadas com dietas com diferentes relações arginina:lisina. 30
- Tabela 3 - Conversão alimentar aparente (CAA), taxa de eficiência proteica (TEP), taxa de retenção de proteína (TRP), índice hepatossomático (IHS) e sobrevivência (SOB) de duas linhagens de tilápia do Nilo alimentadas com dietas com diferentes relações arginina:lisina. 31
- Tabela 4 - Composição proximal de peixe inteiro de tilápia do Nilo de duas linhagens de tilápia do Nilo alimentadas com dietas com diferentes relações arginina:lisina. 32
- Tabela 5 - Variáveis sanguíneas de duas linhagens de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas com diferentes relações arginina:lisina. 33
- Tabela 6 - Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e matéria seca das rações de diferentes relações arginina:lisina, para tilápia do Nilo de duas linhagens. 34

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVOS	10
2.1	Gerais.....	10
2.2	Específicos.....	10
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1	Aminoácidos na nutrição de peixes	10
3.2	Lisina	12
3.3	Arginina	13
3.4	Antagonismo lisina × arginina.....	15
3.5	Melhoramento genético em tilápias do Nilo.....	16
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
5.	ARTIGO	21
6.	INTRODUÇÃO	22
7.	MATERIAL E MÉTODOS:	25
7.1	Localização	25
7.2	Animais experimentais	25
7.4	Desenho experimental, alimentação e parâmetros de qualidade de água.....	27
7.5	Digestibilidade.....	27
7.6	Desempenho zootécnico e índice hepatossomático.....	29
7.7	Análises bioquímicas.....	30
7.8	Composição corporal.....	30
7.9	Análises estatísticas	31
8.	RESULTADOS	32
8.1	Desempenho zootécnico e índice hepatossomático.....	32
8.2	Composição de corporal	33
8.3	Variáveis bioquímicas	33
9.	DISCUSSÃO	38

1. INTRODUÇÃO

O aumento na demanda mundial por pescado tem impulsionado a expansão da aquicultura através da utilização de dietas balanceadas, uso de animais com desempenho superiores e otimização dos custos (FAO, 2018). Neste contexto, estudos relacionados às quantidades e proporções equilibradas de aminoácidos para animais de diferentes linhagens são imprescindíveis para melhorar o crescimento e conversão alimentar (NRC, 2011).

A suplementação de aminoácidos essenciais na dieta varia de acordo com a exigência do animal, podendo variar de acordo com a espécie, composição genética, tamanho do peixe, estágio fisiológico e o método utilizado para estimar a exigência nutricional (Bureau e Encarnação, 2006; Hua et al., 2019).

Dentre os aminoácidos essenciais têm-se a lisina e arginina, que possuem diferentes funções no organismo, atuando na manutenção do balanço nitrogenado positivo, síntese de proteína, atua como precursor produção de ureia, creatinina, óxido nítrico e poliamidas e no metabolismo do ácido glutâmico e prolina. A inclusão balanceada desses aminoácidos na dieta resulta em aumento no ganho peso, melhores taxas de conversão alimentar e aumento da resistência a fatores estressantes comuns aos sistemas de produção como altas concentrações de amônia na água. Assim sendo, a utilização desses aminoácidos na nutrição de peixes cultivados é necessária para se alcançar alto desempenho zootécnico (Furuya et al., 2013; Michelato et al., 2016; Wu et al., 2016; Ahmed, 2017; Fauzi et al., 2019).

A arginina e lisina compartilham o mesmo transportador na membrana da borda em escova dos enterócitos, de modo que esses aminoácidos competem pela absorção no intestino. Por isso, a desbalanço entre esses dois aminoácidos tem causado crescimento reduzido e piora da conversão alimentar (Berge et al., 1999; Van Nguyen et al., 2014). Portanto, conhecimento da proporção de arginina:lisina, que resulte em máximo desempenho é de grande importância na produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). No entanto, os trabalhos encontrados na literatura ainda têm focado em determinar as exigências isoladas para cada um deles. Dessa forma, poucas são as informações sobre a relação ideal de arginina:lisina para juvenis de tilápia (Furuya et al., 2013).

Outro fator importante que, juntamente com a nutrição, pode influenciar as respostas zootécnicas dos animais é seu potencial genético. Diferentes materiais genéticos podem apresentar exigências nutricionais distintas. Dessa forma, avaliar a relação arginina:lisina ideal em diferentes grupos genéticos é importante para verificar se essa relação se mantém em

animais com composição genética diferente ou se há necessidade de se estabelecer essa relação para cada grupo.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes relações arginina:lisina sobre o desempenho e composição corporal de tilápias do Nilo pertencentes a dois grupos genéticos.

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

Avaliar o efeito de diferentes relações de arginina:lisina e de dois grupos genéticos de tilápia do Nilo, sobre o desempenho zootécnico, bioquímica sanguínea e composição corporal.

2.2 Específicos

Analisar a ocorrência de alteração do peso corporal, ganho de peso, conversão alimentar e consumo de ração de juvenis de tilápia do Nilo em função das diferentes relações arginina:lisina na dieta dos diferentes grupos genéticos.

Averiguar o efeito da relação arginina:lisina e dos grupos genéticos de tilápia do Nilo na concentração plasmática de ureia, aspartato aminotransferase e creatinina;

Analisar a composição corporal de juvenis de tilápia do Nilo em função das relações arginina:lisina nos diferentes grupos genéticos;

Avaliar o efeito das relações arginina:lisina e das linhagens de tilápia do Nilo sobre a digestibilidade das dietas experimentais.

Determinar a relação ideal de arginina:lisina para dois grupos genéticos de tilápias do Nilo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aminoácidos na nutrição de peixes

Aminoácidos são moléculas orgânicas compostas por um átomo de carbono central no qual está ligado um grupo amina, um grupo carboxila, um átomo de hidrogênio e um grupamento

variável (cadeia lateral ou grupo R), exceto a glicina. Distingue-se em função do grupamento variável, que possui estrutura, tamanho e carga elétrica diferentes uns dos outros, influenciando na sua solubilidade em água (Nelson and Cox, 2014). São divididos em grupos, sendo o primeiro classificado como essencial, no qual se enquadram os aminoácidos não sintetizados pelo organismo ou produzidos em quantidades insuficientes. Dessa forma, sendo necessário a sua suplementação na dieta para o adequado funcionamento do organismo. Os aminoácidos essenciais para peixes são: arginina, lisina, metionina, histidina, leucina, isoleucina, fenilalanina, treonina, valina e triptofano. O grupo dos aminoácidos semi-essenciais, no qual se enquadram a cistina e a tirosina, são sintetizados a partir da metionina e a fenilalanina, respectivamente (NRC, 2011). Tem-se ainda o grupo dos não essenciais que são sintetizados pelo organismo a partir de seus precursores em quantidades adequadas para atender a sua demanda, como a alanina, asparagina, aspartato, cisteína, glicina, glutamato, glutamina, prolina, serina (Paula, 2017).

O metabolismo dos aminoácidos, em geral, inicia-se com a remoção do grupo amino, realizada através da ação das enzimas amino-transaminases. Dessa forma, o grupo α -amino é transferido para o carbono α do α -cetoglutarato, liberando o α -cetoácido análogo e L-glutamato. O glutamato formado é então direcionado para diferentes vias, sendo elas biossintéticas ou de excreção de nitrogenados (NRC, 2011). De acordo com o aminoácido transaminado, o α -cetoácido formado será convertido em diferentes intermediários e precursores do ciclo do ácido cítrico. Assim, os aminoácidos são divididos de acordo com metabólito formado. Com exceção da lisina e leucina, os aminoácidos são classificados como glicogênicos, por serem precursores de glicose, através da sua degradação em piruvato, α -cetoglutarato, succinil-CoA, fumarato e oxaloacetato. Em contra partida, os aminoácidos cetogênicos tem como produto da sua oxidação o acetil-CoA ou acetoacetil-CoA (Nelson and Cox, 2014).

Em peixes os aminoácidos metabolizados são utilizados para síntese de novas proteínas durante processo de crescimento e reprodução. No entanto, sua utilização e aproveitamento é dependente de diversos fatores, como composição da dieta e biodisponibilidade. O oferecimento de dietas desequilibradas ou deficitárias em aminoácidos resulta em redução do crescimento e/ou perda de peso decorrente das alterações na relação e interações entre os aminoácidos. Isso acarreta no aparecimento de sinais metabólicos de toxicidade e efeitos antagônicos entre os aminoácidos, afetando a taxa de ingestão, o transporte de nutrientes, a síntese e degradação de tecido muscular e a formação de metabólitos. Devido a importância dos aminoácidos na nutrição de peixes, diversos trabalhos foram publicados, a fim de estimar sua exigência tendo em vista os constantes avanços genéticos (Fracalossi and Cyrino, 2012).

3.2 Lisina

A lisina é um aminoácido hidrofílico, que apresenta cadeia lateral positiva, composta por um grupo carboxila, grupo amino e grupo R ligados ao mesmo átomo de carbono - o carbono α (Nelson e Cox, 2014). Na nutrição animal é definido como um dos aminoácidos limitantes, devido sua importância na síntese de proteína e deposição de tecido muscular, através da sua participação na via metabólica responsável pelo crescimento muscular por hiperplasia ou recrutamento (Valente et al., 2013). Além disso, sua concentração em ingredientes de origem vegetal utilizados na fabricação de rações é reduzida. Tendo em vista estes fatores, a disponibilidade e facilidade de determinação dos níveis presentes nos alimentos, a lisina é utilizada como aminoácido referência na nutrição de peixes (Furuya, 2010; Cai et al., 2018). Assim sendo, a suplementação de lisina nas dietas de forma a atender a demanda do animal, resulta em aumento no ganho de peso e deposição de massa muscular.

A exigência de lisina para diversas espécies de peixes é apresentada na literatura. As estimativas publicadas para tilápia do Nilo foram de 1,60% da matéria seca para todas as fases de desenvolvimento pelo Nutrient Requirements of Fish and Shrimp - NRC (2011). No Brasil, Furuya (2010), apresentou as exigências nutricionais de tilápias do Nilo por fase de desenvolvimento, variando de 2,20% em relação a matéria natural da dieta na fase de masculinização até 1,38% para peixes com peso igual e superior a 100g.

Os benefícios da lisina para peixes sobre desempenho e crescimento muscular foram avaliados em um trabalho realizado por Furuya et al. (2013) com juvenis de tilápia do Nilo (peso médio inicial de $86,62 \pm 4,89$ g) alimentados com dietas contendo 0,88; 1,12; 1,36; 1,59 e 1,83% de lisina digestível e 1,26; 1,60; 1,94; 2,28 e 2,62% de arginina digestível, mantendo uma relação arginina:lisina de 1,43:1 na dieta. A utilização na dose 1,31% de lisina digestível acarretou maior deposição de proteína, rendimento do filé e redução nos teores de gordura corporal.

Em outro estudo com juvenis de tilápia peso médio de $274,9 \pm 3,3$ g, Michelato et al. (2016) avaliaram níveis de 11,1; 12,5; 13,9; 15,1; 16,4 g/kg de lisina, sendo mantida a relação arginina:lisina de 1,47:1; 1,49:1; 1,19:1; 1,09:1 e 0,98:1, respectivamente. Eles relataram que os animais alimentados com dieta com 15,1 g/kg de lisina e a relação arginina:lisina de 1,09:1 apresentaram maior crescimento. A taxa de crescimento de peixes está ligada diretamente à duração e intensidade dos processos de hiperplasia e subsequente hipertrofia. A adição de lisina na dieta foi acompanhada pelo aumento na frequência de fibras musculares brancas em hipertrofia, sendo esse processo associado à produção de musculatura.

Trabalho realizado por Ahmed (2017) avaliou o crescimento e resposta hematológica de alevinos de *catfish* indiano (*Heteropneustes fossilis*) (peso $4,70 \pm 0,65$ g), que recebeu dietas suplementadas com 11,0; 13,5; 16,0; 18,5; 21,0 e 23,5 g/kg de lisina. A adição de lisina até 18,5 g/kg de matéria seca melhorou o ganho de peso, a taxa de crescimento específico, conversão alimentar, eficiência proteica e aumentou os valores de hemoglobina e hematócrito. Contudo, níveis de lisina maiores que 21,0 resultaram em redução no crescimento e nos parâmetros hematológicos. Tais resultados, segundo o autor, são decorrentes da utilização inadequada da lisina excedente pelos peixes e a redução no transporte de oxigênio e nutrientes, devido à diminuição na concentração de hemácias e hemoglobina.

3.3 Arginina

Arginina é um aminoácido hidrofílico, carregado positivamente, intermediário do ciclo da ureia e sintetizada a partir da citrulina, em diferentes espécies de animais (Nelson e Cox, 2014). No entanto, nos peixes de água doce a produção desse aminoácido é limitada, devido à baixa atividade das enzimas envolvidas no ciclo da ureia, tornando necessária sua suplementação na dieta. A exigência de arginina entre as diferentes espécies de peixes e estágio fisiológico podem variar de 1,0% a 3,1% da dieta, sendo para tilápia do Nilo de 1,6% (NRC, 2011). No organismo, esse aminoácido é utilizado na produção de poliamidas, óxido nítrico, creatinina, ureia, no metabolismo do ácido glutâmico e da prolina, substâncias importantes para maximização do crescimento, desempenho, imunidade e metabolismo de nutrientes (Wu et al., 2016).

Trabalhos vêm sendo realizados a respeito da adição da arginina em dietas e seus efeitos no metabolismo. Ren et al. (2013) avaliaram o desempenho de *Megalobrama amblycephala* alimentadas com dietas suplementadas com 0,83, 1,30, 1,81, 2,35, 2,82 e 3,36% de arginina. A suplementação com 1,81% resultou em melhora no crescimento e eficiência alimentar. Entretanto, a suplementação com 3,36% resultou em redução no crescimento e lisina plasmática. Segundo os autores o excesso desse aminoácido pode acarretar antagonismo entre lisina e arginina.

O envolvimento da arginina em diversas vias metabólicas confere a esse aminoácido um caráter multifuncional, podendo atuar nas respostas imunológicas, inclusive naquelas associadas ao estresse. Sabe-se que as primeiras células corporais responsáveis por combater as invasões de microrganismos são os macrófagos. Essas células utilizam a arginina para a

produção de óxido nítrico, que atua como oxidante na defesa contra os patógenos (Prolo et al., 2014; Yue et al., 2015). De fato, estudo realizado em juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), alimentados com rações com níveis crescentes de arginina (8,5; 11,5; 15,3; 18,8 e 22,4 g/kg⁻¹) e suplementada com uma mistura de aminoácidos sintéticos, demonstrou que o aumento do nível de arginina até 15,3 g/kg⁻¹ na dieta, além de melhorar o ganho de peso e a taxa de crescimento específico, promove efeito positivo sobre as respostas imunológicas, após o desafio por *Streptococcus iniae*. A síntese de óxido nítrico no plasma e o teor de óxido nítrico aumentaram em resposta aos níveis crescentes de inclusão de arginina. O estudo aponta que a arginina possui efeito imunoestimulador em peixes sob condições de estresse induzido por bactérias (Yue et al., 2015).

Os efeitos benéficos desse aminoácido sobre o estresse, decorrente do nível elevado de amônia na água de cultivo de peixes, também têm sido observados. Altas concentrações de amônia em sistemas intensivos, em função da maior carga de nitrogênio advindo da ração, afetam a excreção branquial dessa substância, elevando seus níveis plasmáticos. A toxidez gerada pela amônia acarreta danos nos tecidos, anemia, imunossupressão, podendo levar o animal a morte. A suplementação da dieta com 0,5% de arginina e relação arginina:lisina de 0,93:1 em carpa comum (*Cyprinus carpio*), causou redução na mortalidade dos peixes expostos por três horas à água com amônia não ionizada nas concentrações de 0,8 a 1,1 mg/L. Concomitantemente, ocorreu diminuição da amônia e aumento da ureia plasmática nos peixes. Tais resultados, segundo Hoseini et al. (2019), são decorrentes da metabolização da arginina em ornitina. Esta, por sua vez, é condensada com carbamoil fosfato, substância essa formada a partir da amônia plasmática, produzindo a citrulina. Dessa forma, os autores afirmam que a arginina possui capacidade de ativar o ciclo da ureia e com isso aumentar a resistência da carpa comum à concentração letal de amônia.

Em outro estudo, Chen et al. (2016) avaliaram o crescimento e a capacidade de resistência ao estresse por nitrogênio amoniacal de juvenis de *catfish* amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco*), peso médio 1,13 ± 0,02g, alimentados com dietas contendo diferentes níveis de arginina (2,44; 2,64; 2,81; 3,01 e 3,23%) e lisina (0,00; 0,24; 0,48; 0,72 e 0,96%) expostos a amônia não ionizada (2,65 mg/L) por 72 horas. A suplementação da dieta com 2,64% e 2,81% de arginina acarretou melhoria no ganho peso, conversão alimentar e redução da mortalidade após estresse por nitrogênio amoniacal. A suplementação de arginina acima de 3,01%, resultou em redução no crescimento e tolerância ao estresse por nitrogênio amoniacal, sendo apontado pelos autores o antagonismo arginina:lisina como responsável por esse efeito negativo. De

acordo com os resultados encontrados pelos autores o nível ótimo de arginina para maximização do ganho de peso do *catfish* amarelo é de 2,74% da dieta.

3.4 Antagonismo lisina × arginina

Para alcançar alto desempenho zootécnico e máximo ganho econômico, os peixes necessitam de dietas equilibradas, com perfil de aminoácido adequado para ótimo crescimento e conversão alimentar. Dietas formuladas com proporções desequilibradas de lisina e arginina podem acarretar redução no crescimento resultante do efeito antagonista desses aminoácidos (Furuya et al., 2013).

O efeito antagonista se dá pela competição pelo mesmo sítio de absorção na borda em escova das células intestinais, devido à presença excessiva de aminoácidos com cadeias estruturais semelhantes. A interação entre lisina e arginina e a absorção de ambas foi objeto do estudo realizado *in vitro* com intestino de salmão do Atlântico (*Salmo salar*). Fragmentos do intestino foram colocados em diferentes meios de incubação contendo lisina marcada e níveis crescentes de arginina não marcada, e vice-versa. Observou-se que nos fragmentos com arginina marcada a adição de lisina a uma concentração de 1 mM não havia competição entre a absorção aminoácidos. No entanto, uma concentração de 3,4 mM resultou em redução de 60% na absorção de arginina. Indicando que a arginina e a lisina possuem o mesmo transportador de membrana. Por outro lado, nos fragmentos marcados com lisina a concentração de 1,0 mM de arginina é suficiente para reduzir a absorção de lisina. Dessa forma, os resultados mostraram uma maior afinidade da arginina pelo transportador na membrana da borda em escova (Berge et al., 1999).

Além da competição pelo sítio de absorção, níveis desbalanceados de arginina:lisina podem causar redução no crescimento, devido à ação desses aminoácidos sobre a arginase. Altas concentrações de lisina nas dietas de peixes tendem inibir a atuação da enzima arginase, responsável por hidrolisar a arginina em ornitina e ureia. A redução da atividade dessa enzima influencia diretamente na concentração de ornitina, um importante metabólito para produção de poliaminas. As poliaminas são substâncias envolvidas na síntese de DNA, RNA, no crescimento e síntese proteica. Dessa forma, a redução nas concentrações plasmáticas e musculares de ornitina e conseqüentemente de poliaminas, resultam em baixo crescimento (Berge et al., 1998; Berge et al., 2002).

Van Nguyen et al. (2014) avaliaram o desempenho zootécnico de juvenis bijupirá (*Rachycentron canadum*), peso médio $8,4 \pm 0,1$ g, alimentados com dietas formuladas com

diferentes relações arginina: lisina (0,55; 0,91; 1,20) e dieta comercial (0,64). Os autores observaram que os animais que consumiram a dieta com relação arginina: lisina de 0,91, tiveram um ganho de peso de 611,7%. Em contrapartida, os animais alimentados com dietas com 0,55 e 1,20, tiveram um ganho de peso de 491,5% e 444,9%, respectivamente. Os animais com dieta desbalanceada também apresentaram redução no consumo de ração, ganho de peso e piores valores de conversão alimentar em relação ao grupo alimentado com dieta comercial, sendo as interações entre arginina:lisina apontadas como principal fator. Dessa forma, os autores concluíram que a maximização do desempenho é alcançada quando a relação arginina:lisina está balanceada, e que conhecer os efeitos causados no organismo e sua possível relação antagônica para peixes é de grande importância para maximização do seu desempenho.

3.5 Melhoramento genético em tilápias do Nilo

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é um peixe pertence à família Cichlidae, nativo da África que vem ganhando destaque na piscicultura em diversos países do mundo (FAO, 2018). A expansão do cultivo desse peixe é decorrente de suas características produtivas como rusticidade, tolerância a variações de qualidade de água, precocidade reprodutiva, alta prolificidade, aproveitamento de alimento natural, consumo de ração imediatamente após a absorção do saco vitelino e grande aceitação no mercado consumidor (El Sayed, 2006).

O crescimento da produção de tilápia do Nilo vem acompanhado da busca por animais mais produtivos, através de programas de melhoramento genético (Khaw et al., 2008). Em 1988, iniciou-se o projeto de seleção genética com tilápia do Nilo, a linhagem desenvolvida ficou conhecida com Genetic Improvement of Farmed Tilapia (GIFT). A população base utilizada na linhagem GIFT, foi estabelecida através do cruzamento de linhagens provenientes da África com populações asiáticas domesticadas. Para a taxa de crescimento o ganho genético obtido ao longo de cinco gerações de seleção foi 12 a 17% por geração (Eknath e Acosta, 1997).

Em 2002, iniciou o primeiro projeto de melhoramento genético de tilápia do Nilo no Brasil, realizado pela Universidade Estadual de Maringá – UEM. Foram introduzidas linhagens resultantes de programas de melhoramento genético da GenoMar Supreme Tilápia (GST), produzida pela empresa Norueguesa Genomar e a linhagem GIFT, originária da Malásia (Ribeiro et al., 2012). Em 2012, iniciou-se o programa de melhoramento genético NGTAqua – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. O programa tem como população base animais procedentes da Tailândia, importados em 1996 e mantidos por

algumas gerações em processo de seleção massal em uma fazenda de produção comercial no estado de Minas Gerais (Turra et al., 2012), acrescido de animais da linhagem GIFT. Anualmente é realizada a seleção de reprodutores, por meio do valor genético estimado com base na característica peso corporal. A seleção genética no NGTAqua é realizada em ambiente de cultivo de sistema de bioflocos (BFT) e recirculação de água (RAS) (Turra et al., 2016).

Anualmente é realizada a seleção de reprodutores, por meio do valor genético estimado com base na característica peso corporal aos 56, 168 e 210 dias de idade e seu pedigree. A seleção genética no NGTAqua foi realizada durante três anos em sistemas de produção distintos: tanque-rede, recirculação de água (RAS) e bioflocos (BFT). Contudo, trabalho realizado por Turra et al. (2016), constataram que o processo de seleção pode ser realizado em apenas um dos sistemas, sem causar prejuízos significativos à expressão do potencial genético dos peixes, uma vez que foi observado alta correlação entre o valor genético dos indivíduos nos diferentes sistemas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, I., 2017. Effects of dietary amino acid l-lysine on survival, growth and haemato-biochemical parameters in Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch, 1974), fingerlings. J. Appl. Ichthyol. 33, 1027–1033. <https://doi.org/10.1111/jai.13355>.

Berge, G.E., Bakke-McKellep, A.M., Lied, E., 1999. In vitro uptake and interaction between arginine and lysine in the intestine of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 179, 181–193. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00161-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00161-1).

Berge, G.E., Sveier, H., Lied, E., 2002. Effects of feeding Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) imbalanced levels of lysine and arginine. Aquaculture nutrition 8, 239-248. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00211.x>

Berge, G.E., Sveier, H., Lied, E., 1998. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*); The requirement and metabolic effect of lysine. Comp. Biochem. Physiol. - A Mol. Integr. Physiol. 120, 477–485. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(98\)10049-1](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(98)10049-1)

Bureau, D.P., Encarnação, P.M., 2006. Adequately Defining the Amino Acid Requirements of Fish : The Case Example of Lysine. Int. Nutr. Acuicola; Av. en Nutr. Acuicola 29–54.

Cai, W.C., Liu, W. Bin, Jiang, G.Z., Wang, K.Z., Sun, C.X., Li, X.F., 2018. Lysine supplement benefits the growth performance, protein synthesis, and muscle development of *Megalobrama amblycephala* fed diets with fish meal replaced by rice protein concentrate. *Fish Physiol. Biochem.* 44, 1159–1174. <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0503-3>.

Chen, Q., Zhao, H., Huang, Y., Cao, J., Wang, G., Sun, Y., Li, Y., 2016. Effects of dietary arginine levels on growth performance, body composition, serum biochemical indices and resistance ability against ammonia-nitrogen stress in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Anim. Nutr.* 2, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.07.001>

Eknath, A.E., Acosta, B.O. 1997. Genetic improvement farmed Tilapia project, final report (1988-1977). Iclarm.

El Sayed, A.-F.M., 2006. Tilapia culture. Alexandria, Egypt: Oceanography Department, Faculty of Science, Alexandria University, 277p

FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome.

Fauzi, I.A., Haga, Y., Kondo, H., Hirono, I., Satoh, S., 2019. Effects of arginine supplementation on growth performance and plasma arginine, ornithine and citrulline dynamics of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquac. Res.* 50, 1277–1290. <https://doi.org/10.1111/are.14004>

Furuya, W.M., 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias, Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias, GFM, Toledo.

Furuya, W.M., Michelato, M., Graciano, T.S., Vidal, L.V.O., Xavier, T.O., Furuya, V.R.B., De Moura, L.B., 2013. Exigência de lisina digestível para a tilápia-do-Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina:lisina. *Semin. Agrar.* 34, 1945–1954. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1945>

Hoseini, S.M., Vatnikov, Y.A., Kulikov, E.V., Petrov, A.K., Hoseinifar, S.H., Van Doan, H., 2019. Effects of dietary arginine supplementation on ureagenesis and amino acid metabolism in common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to ambient ammonia. *Aquaculture* 511, 734209. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734209>

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

Khaw, H.L., Ponzoni, R.W., Danting, M.J.C., 2008. Estimation of genetic change in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by comparing contemporary progeny produced by males born in 1991 or in 2003. *Aquaculture* 275, 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.022>

Michelato, M., Oliveira Vidal, L.V., Xavier, T.O., Moura, L.B., Almeida, F.L.A., Pedrosa, V.B., Furuya, V.R.B., Furuya, W.M., 2016. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>

Nelson, D.L., Cox, M.M., 2014. *Princípios de bioquímica de Lehninger*, 6th ed. Porto Alegre.

NRC- National Research Council, 2011. *Nutrient requirements of fish and shrimp*. Washington, DC.

Paula, L.B., 2017. *Bioquímica*, Editora e Distribuidora Educacional S.A., Londrina.

Prolo, C., Álvarez, M.N., Radi, R., 2014. Peroxynitrite, a potent macrophage-derived oxidizing cytotoxin to combat invading pathogens. *BioFactors* 40, 215–225. <https://doi.org/10.1002/biof.1150>.

Ren, M., Liao, Y., Xie, J., Liu, B., Zhou, Q., Ge, X., Cui, H., Pan, L., Chen, R., 2013. Dietary arginine requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture* 414–415, 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.021>.

Ribeiro, R.P., Oliveira, C.A.L., Resende, E.K., Vargas, L., Filho, L.A., Legat, A.P., 2012. Tilápias do Nilo têm programa de melhoramento genético em curso. *Visão Agr* 11, 61–64.

Turra, E.M., Toral, F.L.B., Alvarenga, É.R., Raidan, F.S.S., Alves, G. F.O., Sales, Teixeira, E.A., Manduca, L.G., Brito, T.S., Silva, M.A., Junior, A.F., Silva, M.A. (2016). Genotype × environment interaction for growth traits of Nile tilapia in bio flocculation technology, recirculating water and cage systems. *Aquaculture* 460, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.020>

Turra, E.M., Oliveira, A.A., Valente, B.D., Teixeira, E.A., Prado, S.A., Alvarenga, É.R., Melo, D.C., Felipe, V.P.S., Fernandes, A.F.A., Silva, M.A., 2012. Longitudinal genetic analyses of fillet traits in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 356–357, 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.039>

Valente, L.M.P., Moutou, K.A., Conceição, L.E.C., Engrola, S., Fernandes, J.M.O., Johnston, I.A., 2013. What determines growth potential and juvenile quality of farmed fish species? *Rev. Aquac.* 5. <https://doi.org/10.1111/raq.12020>.

Van Nguyen, M., Rønnestad, I., Buttle, L., Van Lai, H., Espe, M., 2014. Imbalanced lysine to arginine ratios reduced performance in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) fed high plant protein diets. *Aquac. Nutr.* 20, 25–35. <https://doi.org/10.1111/anu.12043>.

Wu, Z., Hou, Y., Hu, S., Bazer, F.W., Meininger, C.J., McNeal, C.J., Wu, G., 2016. Catabolism and safety of supplemental L-arginine in animals. *Amino Acids* 48, 1541–1552. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2245-9>.

Yue, Y., Zou, Z., Zhu, J., Li, D., Xiao, W., Han, J., Yang, H., 2015. Effects of dietary arginine on growth performance, feed utilization, haematological parameters and non-specific immune responses of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Res.* 46, 1801–1809. <https://doi.org/10.1111/are.12333>.

5. ARTIGO

RELAÇÃO ARGININA/LISINA NA DIETA PARA DIFERENTES GRUPOS GENÉTICOS DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

RESUMO

Arginina e lisina são aminoácidos essenciais para peixes sendo, portanto, necessárias suas inclusões nas dietas. Sua exigência na dieta de peixes, pode variar de acordo com estágio fisiológico, idade e material genético. Em diversas espécies de animais tem se observado que o processo de seleção genética para ganho de peso influencia a exigência e a eficiência de utilização de aminoácidos. Dessa forma, o conhecimento da relação arginina:lisina ideal para animais de grupos genéticos distintos é importante para a maximização do desempenho. Devido à importância da arginina e lisina para o crescimento e deposição de proteínas corporais somada aos avanços observados nos programas de melhoramento genético na piscicultura, o presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes relações arginina:lisina (0,76; 0,93; 1,12 e 1,30) em dois grupos genéticos de tilápia do Nilo, grupo base (G0) e grupo melhorado (G5) com peso médio inicial de $43,00 \pm 1,01$ e $57,70 \pm 1,60$ g para G0 e G5, respectivamente. Foram realizados dois experimentos simultaneamente de digestibilidade e desempenho com duração de 26 e 62 dias, respectivamente. As diferentes relações arginina:lisina não tiveram efeito significativo sobre o peso final, ganho de peso, conversão alimentar, consumo de ração e índice hepatossomático. Também não houve interação da relação arginina:lisina com o grupo genético ($p > 0,05$). Entretanto, o grupo G5 apresentou melhores resultados de desempenho em relação a G0 ($p < 0,05$). O consumo de ração foi maior para G5 ($p < 0,05$), mas não alterou a taxa de conversão alimentar ($p > 0,05$). Não houve diferença entre os tratamentos para a taxa de sobrevivência. Os animais do grupo G5 tiveram maior digestibilidade da matéria seca e proteína ($p < 0,05$). Não foi observado efeito da relação arginina:lisina, e da interação desse fator com o grupo genético para as variáveis AST e ureia ($p > 0,05$). Já concentração de creatinina sérica reduziu com o aumento da relação arginina: lisina de 0,93 para 0,60 (mg/dL) ($p < 0,05$). Em conclusão, o efeito antagonista da arginina:lisina sobre o desempenho não é observado em tilápia do Nilo pertencentes aos grupos G0 e G5. No entanto, o grupo G5 apresenta crescimento superior a G0, não sendo necessária a utilização de dieta com relação arginina:lisina específica para cada grupo geracional.

Palavras-chave: relação arginina:lisina, desempenho zootécnico, melhoramento genético, nutrição, *Oreochromis niloticus*

6. INTRODUÇÃO

O oferecimento de dietas capazes de atender a exigência nutricional de peixes e possibilitar a expressão do seu potencial genético para características de interesse comercial, como por exemplo, ganho de peso e eficiência alimentar, é um dos pontos-chaves para o sucesso econômico da piscicultura. Dessa forma, mais pesquisas na área de nutrição com ênfase na determinação das exigências nutricionais vêm sendo realizadas, principalmente sobre o perfil de aminoácidos, uma vez que quantidades e proporções equilibradas entre aminoácidos essenciais e não essenciais são imprescindíveis para maximização do crescimento e conversão alimentar (NRC, 2011).

Dentre os aminoácidos essenciais de grande importância na nutrição de peixes, têm-se a lisina e a arginina. A lisina está presente em maior proporção no tecido muscular e que atua na melhoria das taxas de crescimento dos peixes e na manutenção do balanço nitrogenado positivo. Sua suplementação na dieta tem resultado em melhora da conversão alimentar, aumento do ganho de peso, na retenção de nitrogênio e redução no conteúdo corporal de lipídios (Furuya et al., 2013; Michelato et al., 2013; Ahmed, 2017; Cai et al., 2018). A arginina desempenha diversas funções, como o envolvimento na produção de creatina, óxido nítrico, poliamidas e no metabolismo do ácido glutâmico e prolina (Wu et al., 2016; Fauzi et al., 2019).

Devido aos vários papéis desempenhados tanto pela lisina, quanto pela arginina e a ineficiente produção destes aminoácidos pelos peixes, a suplementação deles na dieta torna-se essencial para um desempenho satisfatório. No entanto, níveis desequilibrados da relação arginina:lisina na dieta podem causar efeitos indesejáveis, como redução no crescimento e piora da conversão alimentar. Isso se deve ao fato desses aminoácidos utilizarem o mesmo sítio de absorção na membrana da borda em escova das células intestinais, gerando assim uma competição que pode afetar o transporte, absorção e metabolismo destes aminoácidos (Berge et al., 1999).

Dessa forma, o conhecimento da melhor relação arginina:lisina a ser adotada é necessário para a formulação de dietas mais eficientes. Para a maioria das espécies de peixes, a interação lisina-arginina não está totalmente elucidada, uma vez que as proporções desequilibradas entre lisina e arginina na dieta mostraram resultados divergentes. Estudos realizados com salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (Berge et al., 1999), juvenis bijupirá (*Rachycentron canadum*) (Van Nguyen et al., 2014) e *catfish* amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco*) (Chen et al., 2016), demonstraram que essas espécies são sensíveis ao antagonismo existente entre lisina e arginina. No entanto, Alam et al. (2002) não observaram competição entre arginina e lisina nas dietas testadas em linguado japonês (*Paralichthys olivaceus*). A relação entre esses aminoácidos ainda não está estabelecida para tilápia do Nilo (*Oreochromis*

niloticus), sendo relatados valores de 0,75 (NRC, 2011) a 0,82 (Furuya, 2010). As variações encontradas na literatura são relacionadas a diversos fatores como: tamanho peixe, estágio fisiológico, espécie e os diferentes materiais genéticos (Bomfim et al., 2010; NRC, 2011). Embora seja relatado na literatura que as exigências nutricionais podem variar de acordo com a composição genética dos peixes e sua capacidade de crescimento, poucos são os trabalhos realizados com tilápia do Nilo melhoradas e não melhoradas avaliando a relação ideal de arginina:lisina.

Trabalhos realizados por diversos autores, como Santos et al. (2014), Leite et al. (2019) e Lee et al. (2020), demonstraram que grupos de peixes que foram submetidos a um processo de seleção genética para ganho de peso possuem exigências nutricionais diferentes do grupo não melhorado. Gatrell et al. (2017), avaliaram truta arco íris (*Oncorhynchus mykiss*) de diferentes famílias alimentadas com dietas com níveis ideais e deficiente de lisina, e identificaram um grupo com crescimento superior, mesmo consumindo dieta deficiente em lisina. Segundo os autores esses resultados indicam a existência de efeito genético sobre a exigência e a eficiência de utilização de lisina. Dessa forma, sendo sugerido que as influências genéticas devem ser levadas em conta nas formulações de dietas.

Diante do exposto e do crescimento dos programas de melhoramento genético na piscicultura, torna-se importante avaliar o desempenho zootécnico de linhagens melhoradas em relação a dietas com diferentes relações arginina:lisina. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho zootécnico, composição corporal, a digestibilidade dos nutrientes e metabolismo de dois diferentes grupos geracionais de tilápias do Nilo alimentados com dietas contendo diferentes relações de arginina e lisina.

7. MATERIAL E MÉTODOS:

7.1 Localização

O experimento foi realizado nas instalações experimentais do Biotério NGTAqua – Escola de Veterinária, situado na Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Os procedimentos experimentais adotados estavam de acordo com as leis e diretrizes locais e nacionais sobre bem-estar animal. Além disso, o estudo foi aprovado na Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Minas Gerais (CEUA-UFMG) sob o protocolo de nº 365 / 2019.

7.2 Animais experimentais

Foram utilizadas pós larvas fornecidas pelo Biotério NGTAqua – Escola de Veterinária, pertencentes a dois grupos genéticos: grupo melhorado, proveniente da quinta geração (obtido após 4 gerações de seleção - G5) e o grupo base (G0). O NGTAqua possui um programa de melhoramento genético de tilápias do Nilo iniciado em 2012. O grupo base (G0) do programa é formado a partir do cruzamento de tilápias do Nilo da variedade Chitralada.

Anualmente, o NGTAqua realiza a seleção de reprodutores geneticamente superiores por meio do valor genético estimado com base no peso corporal aos 56 e aos 168 dias de idade e seu pedigree. Durante três anos o programa foi realizado em três sistemas de produção: tanque-rede, recirculação de água (RAS) e bioflocos (BFT). No entanto, trabalho realizado por Turra et al. (2016) demonstrou alta correlação entre o valor genético dos peixes nos diferentes sistemas. Diante desses resultados, o programa de melhoramento genético passou a ser realizado somente nos sistemas de bioflocos e recirculação.

Os animais utilizados nesse estudo são oriundos da reprodução natural de 15 fêmeas e 5 machos de cada grupo genético escolhidos aleatoriamente. Sete dias após o acasalamento, as fêmeas que apresentaram ovos na boca, foram alocadas em hapas individuais e identificadas, até o desenvolvimento final dos ovos e a formação de larvas. Após a absorção total do saco vitelínico, as larvas pertencentes ao mesmo grupo de animais contemporâneos foram mantidas em tanques de polietileno, separadas de acordo com o grupo genético até o início do experimento. A alimentação inicial foi realizada oito vezes ao dia com ração extrusada

comercial farelada com 55% de proteína bruta (PB) acrescida de hormônio 17α -metil-testosterona para masculinização dos peixes (El-Sayed, 2006). Após 30 dias, os animais passaram a receber somente a ração extrusada comercial (0,8 mm com 45% PB; 1,5 mm com 40% PB e 2-4 mm com 36% PB) de acordo com a fase de crescimento, cinco vezes ao dia, até o início do período experimental.

No início do período experimental, os animais apresentavam peso médio inicial de $43,00\pm 1,01$ e $57,70\pm 1,60$ g para tilápia do Nilo G0 e G5, respectivamente. Os peixes, dos dois grupos genéticos foram separados em dois grupos experimentais. Sendo um grupo experimental utilizado para avaliar a influência das dietas com diferentes relações arginina:lisina sobre parâmetros zootécnicos e um segundo grupo utilizado para avaliar a digestibilidade das dietas com diferentes relações arginina:lisina. As duas avaliações de desempenho e digestibilidade ocorreram simultaneamente.

7.3 Dietas experimentais

As dietas formuladas foram isoenergéticas e isoproteicas, com 3.000 kcal/kg de energia e 28% de proteína bruta (Tabela 1). As rações experimentais foram formuladas de acordo com a exigência nutricional de tilápia do Nilo (NRC, 2011), exceto para arginina, cujo as relações com a lisina foram testadas. A adição de arginina e inerte nas dietas foram realizadas em substituição ao ácido glutâmico, resultando em diferentes proporções arginina:lisina digestível 0,76; 0,93; 1,12 e 1,30. Em todas as dietas experimentais foi adicionado 1 g/kg^{-1} de óxido cromo (Cr_2O_3), conforme metodologia descrita por Neto et al. (2005), para mensuração dos coeficientes de digestibilidade aparente.

Para a elaboração da ração, os ingredientes utilizados foram previamente moídos, em moinho de martelo com peneira de 1,0 mm. Após a moagem, os ingredientes foram pesados e misturados. A mistura foi processada em extrusora comercial Inbramaq modelo INBRA MX - 40 (Inbramaq, Ribeirão Preto, Brasil), obtendo-se *pellets* de 2 a 4 mm.

7.4 Desenho experimental, alimentação e parâmetros de qualidade de água

O estudo foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×2 (quatro diferentes relações arginina:lisina e dois grupos genéticos), com cinco repetições. Cada unidade experimental foi composta de um tanque-rede com volume útil de 380 litros com 10 peixes. Assim sendo, foram utilizados 400 peixes, sendo 200 animais G5 e 200 G0. Os tanques-rede foram instalados em tanques circulares de polipropileno de 2800 litros de volume útil, em um sistema de recirculação de água com aquecimento (28°C), aeração constante, filtro mecânico, filtro biológico e fotoperíodo artificial de 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

Durante 62 dias, as dietas com diferentes relações arginina:lisina foram fornecidas até a saciedade aparente, cinco vezes ao dia (8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00). Após a alimentação foi realizada a coleta das sobras e armazenamento em freezer a -18°C. Posteriormente, as sobras foram secas em estufa ventilada a 55°C, pesadas e contabilizadas para cálculo da quantidade de ração consumida.

Os parâmetros de qualidade de água temperatura, oxigênio dissolvido e pH foram mensurados duas vezes na semana, por meio de aparelhos digitais e mantidos em média a $27,07 \pm 0,30^\circ\text{C}$, $5,97 \pm 0,49$ mg/L e $7,07 \pm 0,49$, respectivamente. O nitrogênio amoniacal total e nitrogênio nítrico foram quantificados uma vez a cada quinze dias, com base na metodologia recomendada pela UNESCO (1983) e Bendschneider e Robinson (1952), respectivamente. O valor médio apresentado de nitrogênio amoniacal total foi de $0,14 \pm 0,19$ mg/L e de nitrogênio nítrico $0,10 \pm 0,16$ mg/L. A concentração de nitrato foi analisada no início e no final do período experimental de acordo com a metodologia descrita por Monteiro et al. (2003), sendo observado em média $0,01 \pm 0,02$ mg/L nas duas amostragens. Todos os parâmetros de qualidade de água foram mantidos dentro da faixa recomendada para produção de tilápias (El-Sayed, 2006).

7.5 Digestibilidade

A avaliação de digestibilidade foi realizada em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 4×2 (quatro relações arginina:lisina e dois grupos genéticos) e três repetições. Foram utilizados 288 animais, sendo 144 animais G5 e 144 animais G0. Os peixes foram distribuídos em 24 tanques quadráticos de fundo cônico de 100 litros de volume útil similares ao modelo de Guelf modificado (Cho e Slinger, 1979) em um sistema de recirculação

de água com temperatura controlada (28°C), aeração constante, filtragem mecânica, filtragem biológica e fotoperíodo artificial de 12 horas de luz e 12 horas de escuro. Neste experimento, a unidade experimental foi um tanque de 100 litros com 12 animais.

Para a determinação da digestibilidade, os animais foram alimentados com dietas experimentais (tabela 1) contendo 1 g/Kg⁻¹ de óxido de cromo II como indicador externo, cinco vezes ao dia, por 26 dias. A coleta parcial de fezes foi realizada uma hora após cada alimentação, como recomendado por Kitagima e Fracalossi (2010). Primeiramente foi realizada uma limpeza das unidades experimentais para retirada das sobras de ração e resíduos aderidos a parede do tanque e então acoplados os tubos de coleta, que permaneciam por até 30 minutos, ou quando observada a deposição de quantidade relevante de fezes. As fezes úmidas foram armazenadas em potes identificados para cada unidade experimental e acondicionadas em freezer a -18 °C, formando assim um *pool* de amostras por tanque. O período de colheita se estendeu até que fossem obtidas quantidades de fezes de cada tanque suficientes para as análises laboratoriais. Ao final do período de coleta, as amostras fecais foram secas em estufa ventilada a 55 °C, moídas em peneira de 1 mm, homogeneizadas e armazenadas em potes plásticos para realização das análises químicas. Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca e proteína bruta foram calculados utilizando a seguinte fórmula (Cho e Slinger, 1979):

$$CDA = 100 - 100 \left[\left(\frac{\% \text{ de } Cr_2O_3 \text{ na dieta}}{\% \text{ de } Cr_2O_3 \text{ na fezes}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ nutriente nas fezes}}{\% \text{ nutriente na dieta}} \right) \right]$$

Tabela 1- Formulação e composição proximal das dietas com diferentes proporções arginina:lisina (g.kg⁻¹).

Ingredientes (g.kg ⁻¹)	Arginina:Lisina			
	0,76	0,93	1,12	1,30
Milho grão	474,1	474,1	474,1	474,1
Farelo de soja	180,0	180,0	180,0	180,0

Glúten de milho 60%	150,0	149,0	144,0	138,9
Farinha de carne	55,0	55,0	55,0	55,0
Farinha de vísceras	10,0	10,0	10,0	10,0
Inerte (Caulim)	10,0	13,2	18,1	24,1
Óleo de soja	35,5	35,5	35,5	35,5
Fosfato bicálcico	26,0	26,0	26,0	26,0
L-Ácido Glutâmico	25,0	20,0	17,0	13,0
L-Lisina	8,0	8,0	8,0	8,0
DL-Metionina	5,0	5,0	5,0	5,0
L-Valina	6,0	6,0	6,0	6,0
L-Treonina	3,5	3,5	3,5	3,5
L-Triptofano	1,7	1,7	1,7	1,7
Arginina	0,00	2,8	5,9	9,0
Sal comun	4,0	4,0	4,0	4,0
Premix ^a	4,0	4,0	4,0	4,0
Vitamina C	1,0	1,0	1,0	1,0
BHT ^b	0,2	0,2	0,2	0,2
Óxido cromo	1,0	1,0	1,0	1,0
Composição proximal analisada (g kg⁻¹ matéria seca)				
Matéria seca	925,5	914,8	913,2	917,6
Proteína bruta	277,0	267,9	263,0	260,5
Extrato etéreo	73	71	67	67
Matéria mineral	71	80	79	89
Fósforo	8,34	7,45	7,78	7,39
Arginina ^c	12,3	15,0	18,00	21,00
Lisina ^c	16,2	16,1	16,1	16,1

^aPremix Vaccinar Peixe Tropical com Vit. C (inclusão 4 kg ton⁻¹): Vitamina A (2.000.000 UI); Vitamina D3 (500.000 UI); Vitamina E (15.000 UI); Ácido Fólico (750 mg); Ácido Pantotênico (3.750 mg); Biotina (125 mg); Colina (125.000 mg); Niacina (7.800 mg); Vitamina B1 (2.500 mg); Vitamina B12 (5.000 mcg); Vitamina B2 (2.500 mg); Vitamina B6 (2.000 mg); Vitamina C (53.000 mg); Vitamina K3 (1.000 mg); Cobre (2.000 mg); Ferro (15.000 mg); Iodo (125 mg); Manganês (3.750 mg); Selênio (75 mg); Zinco (20.000 mg).

^bBHT: Hidroxitolueno butilado

^cCalculado

7.6 Desempenho zootécnico

Para avaliação do desempenho zootécnico, os animais foram pesados ao final do período experimental sendo então mensurados:

a) Peso médio final (PF) = (biomassa final por caixa) / (número de indivíduos na caixa);

- b) Ganho de peso médio (GP) = (biomassa final por caixa - biomassa inicial por caixa) / (número de indivíduos na caixa);
- c) Ganho de peso diário (GPD) = (Ganho de peso médio / duração do período experimental em dias);
- d) Consumo médio de ração (CR) = (ração fornecida – sobras de ração recolhida) / (número de peixes na caixa);
- e) Conversão alimentar aparente (CAA) = CR / GP;
- f) Taxa de eficiência proteica (TEP) = (Ganho de peso médio / consumo médio de proteína);
- g) Taxa de retenção de proteica (TRP) = [(Proteína corporal final x peso final) – (proteína corporal inicial x peso inicial)] / (consumo médio de ração x proteína da ração) × 100;
- h) Taxa de sobrevivência (SOB) = (número de animais no final do experimento) / (número de animais no início do experimento) × 100.

7.7 Análises bioquímicas

Ao final do período experimental, oito animais por tratamento foram previamente anestesiados com eugenol (60 mg/L), mantidos em pano úmido e então foi realizada a coleta de sangue por punção caudal, utilizando seringas heparinizadas. O sangue foi centrifugado a 3.000 rpm por 10 minutos para obtenção do plasma. As amostras foram utilizadas para dosar os níveis de ureia (URE), aspartato aminotransferase (AST) e creatinina (CRE) usando os kits comerciais Bioclin e lidas em aparelho automático (Cobas-Mira Plus[®]-Roche[®]). Após a coleta de sangue, os animais foram submetidos à eutanásia com eugenol (180 mg/L).

7.8 Composição corporal e índice hepatossomático

Ao final do período experimental, três animais de cada unidade experimental foram eutanasiados com eugenol (180 mg/L) e congelados em freezer a -18°C. Em seguida, os animais foram cortados e secos em estufa ventilada em 55°C para eliminar a umidade das amostras e moídos a 1 mm. A composição corporal (matéria seca, proteína bruta e extrato etéreo) foi determinada de acordo com a metodologia padrão proposta pelo AOAC (2005).

Para estimar o índice hepatossomático, foram utilizados nove animais de cada unidade experimental e o fígado separado para o cálculo, sendo realizado de acordo com a fórmula abaixo:

$$\text{Índice hepatossomático (IHS)} = (\text{peso do fígado} / \text{peso corporal total}) \times 100.$$

7.9 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2016). Os resíduos foram submetidos às análises de normalidade e homocedasticidade através do teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As pressuposições de normalidade e homocedasticidade não foram atendidas para taxa de eficiência proteica, taxa de retenção de proteína, umidade, cinzas e ureia. Assim sendo, essas variáveis foram submetidas ao teste não-paramétrico de Rank-based Estimation for Linear Models (Rfit) (Kloke e McKean, 2012).

Na variável sobrevivência foi realizada a transformação angular (arcoseno), não sendo observado efeito estatístico significativo ($p > 0,05$). Realizou-se então o teste não paramétrico Rfit, nos dados não transformados, não sendo observado também efeito significativo. Assim sendo, optou-se por apresentar os resultados de sobrevivência avaliados por meio do teste não paramétrico Rfit, uma vez que mantém a escala original dos dados.

As demais variáveis atenderam às pressuposições de normalidade e homocedasticidade e foram submetidas à análise de variância (ANOVA), sendo conclusiva para as avaliações limitadas a dois fatores, ou seja, grupo base e grupo melhorado. Para a variável creatinina foi identificado o efeito das diferentes relações arginina: lisina, sendo então aplicado o teste de Duncan. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o nível de significância de 5%.

Nas variáveis que tiveram as pressuposições atendidas foram gerados equações de regressão ajustadas, de acordo com o modelo estatístico $Y_{ij} = \mu + \text{Arg:lisi} + \text{Gerj} + (\text{Arg:lisi} \times \text{Ger})_{ij} + \epsilon_{ij}$, onde Y_{ij} é o valor observado para a variável estudada; μ é o efeito da média geral; Arg:lisi é o efeito da relação arginina:lisina na dieta; Gerj é o efeito da geração; e ϵ_{ij} é o erro experimental. Assim sendo, a geração foi considerada como variável explicativa categórica, que assumiu valor zero ($j=0$) para o grupo base (G0) e valor um ($j=1$) para o grupo melhorado (G5). No entanto, a falta de efeito significativo entre as diferentes relações arginina:lisina testada, resultou em coeficiente de determinação baixo (em média 20%). Dessa forma, optou-se em avaliar os resultados utilizando a análise de variância e comparativo de médias.

8. RESULTADOS

8.1 Desempenho zootécnico e índice hepatossomático

Os dados de desempenho, sobrevivência e índice hepatossomático dos juvenis de tilápia utilizados neste estudo estão apresentados nas Tabelas 2. Não foi observado efeito da relação arginina:lisina, e da interação desse fator com os grupos genéticos para as variáveis de desempenho ($p>0,05$). Por outro lado, os peixes do grupo G5 obtiveram maiores valores para peso médio final, ganho médio de peso, ganho de peso diário, eficiência proteica em relação aos animais do grupo G0 ($p<0,05$). A conversão alimentar, sobrevivência e o índice hepatossomático não foram afetados pelos diferentes grupos genéticos ($p>0,05$).

8.2 Composição de corporal

A composição corporal dos animais não foi influenciada pelas diferentes relações de arginina:lisina e nem pela interação deste fator \times grupos genéticos ($p>0,05$). Entretanto, os animais pertencentes ao grupo G5 apresentaram maior concentração de proteína bruta, cinzas e taxa de retenção de proteína ($p<0,05$) (Tabela 3). Já a umidade foi maior nos peixes do grupo G0 ($p<0,05$). Não houve diferenças no extrato etéreo entre os grupos ($p>0,05$).

8.3 Variáveis bioquímicas

Não foi observado efeito da relação arginina:lisina, e da interação desse fator com o grupo genético para as variáveis bioquímicas ($p>0,05$). Em geral, a concentração de creatinina sérica reduziu com o aumento da relação arginina: lisina de 0,93 para 0,60 (mg/dL) ($p<0,05$). Para as variáveis AST e ureia não foram verificadas diferenças significativas ($p>0,05$) entre as diferentes relações arginina: lisina e entre os grupos genéticos (Tabela 4).

8.4 Digestibilidade

Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta para as linhagens G0 e G5 foram de 86 e 89,67%, respectivamente ($p<0,05$). Já a digestibilidade da matéria seca foi de 65,03% para G0 e 72,26% para G5. No entanto, não foi observado diferenças nas digestibilidades entre as diferentes relações arginina: lisina e a interação ente a relação arginina: lisina e os grupos G0 e G5 ($p>0,05$) (Tabela 5).

Tabela 2- Peso médio final (PF), ganho médio de peso (GP), ganho de peso diário (GPD), consumo médio de ração (CR), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de eficiência proteica (TEP), sobrevivência (SOB) e índice hepatossomático (IHS) de dois grupos genéticos de tilápia do Nilo alimentadas com dietas com diferentes relações arginina:lisina.

Variáveis	Grupo	Arginina:Lisina				Média Geral	CV (%) ^a	Valor de p		
		0,76	0,93	1,12	1,30			Arg:Lis	Grupo	Arg:lis × Grupo
PF (g)*	G0	184,38	172,74	196,70	180,75	183,76 ^b	6,65	0,95	<0,01	0,46
	G5	240,96	216,80	238,80	224,50	229,99 ^a				
	Média Geral	212,67	194,77	217,75	202,63					
GP (g)*	G0	140,88	126,30	154,00	138,25	140,00 ^b	9,15	0,79	<0,01	0,44
	G5	182,96	158,30	180,50	167,63	172,00 ^a				
	Média Geral	161,92	142,50	167,25	152,94					
GPD (g)	G0	2,35	2,11	2,57	2,31	2,34 ^b	9,0	0,44	<0,01	0,68
	G5	3,05	2,64	3,01	2,81	2,87 ^a				
	Média Geral	2,70	2,38	2,79	2,59					
CR (g)*	G0	194,69	180,10	208,25	198,64	195,28 ^b	8,93	0,63	<0,01	0,41
	G5	272,73	234,47	274,41	249,49	257,41 ^a				
	Média Geral	233,71	207,28	241,33	224,07					
CAA	G0	1,38	1,43	1,36	1,52	1,42	8,87	0,29	0,07	0,44
	G5	1,49	1,49	1,52	1,49	1,50				
	Média Geral	1,43	1,46	1,44	1,51					
TEP**	G0	2,56	2,71	2,75	2,82	2,71 ^b	10,73	0,42	<0,01	0,36
	G5	3,13	3,20	3,02	3,20	3,15 ^a				
	Média Geral	2,87	2,96	2,84	3,01					
SOB (%)**	G0	100	100	100	94,00	99,00	4,75	1,00	1,00	1,00
	G5	100	100	100	100	100,00				
	Média Geral	100	100	100	97,00					
IHS	G0	3,87	4,37	4,03	4,20	3,92	25,85	0,55	0,77	0,61
	G5	3,65	4,20	3,59	4,17	4,12				
	Média Geral	4,12	3,84	4,25	3,88					

^a CV - Coeficiente de variação; * Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F (p<0,05); ** ANOVA robusta não paramétrica para dois fatores (Rfit).

Tabela 3 - Composição proximal de peixe inteiro de tilápia do Nilo e taxa de retenção de proteína (TRP) de dois grupos genéticos de tilápia do Nilo alimentadas com dietas com diferentes relações arginina:lisina.

Variáveis	Grupo	Arginina:Lisina				Média Geral	CV (%)	Arg:Lis	Valor de p	
		0,76	0,93	1,12	1,30				Grupo	Arg:lis × Grupo
Umidade (%)**	G0	69,32	68,89	69,54	68,41	68,92 ^a	8,33	0,26	<0,01	0,10
	G5	65,92	67,01	62,80	64,21	64,96 ^b				
	Média Geral	67,38	68,01	64,82	66,18					
Proteína (%)*	G0	14,49	12,01	11,53	12,13	12,51 ^b	22,84	0,31	0,04	0,72
	G5	14,89	13,07	16,35	12,92	14,18 ^a				
	Média Geral	14,74	12,51	14,91	12,52					
Extrato etéreo (%)	G0	15,25	13,29	12,42	13,09	13,58	23,78	0,26	0,53	0,29
	G5	13,05	11,39	13,90	14,10	13,06				
	Média Geral	13,99	12,34	13,46	13,62					
Cinzas (%)**	G0	4,62	4,82	5,38	5,13	4,94 ^b	24,55	0,10	0,02	0,22
	G5	6,09	6,18	7,00	5,07	6,01 ^a				
	Média Geral	5,46	5,45	6,46	5,10					
TRP (%)**	G0	36,34	33,60	41,90	36,39	37,06 ^b	24,14	0,82	<0,01	0,60
	G5	47,28	45,34	54,33	44,98	47,09 ^a				
	Média Geral	42,42	39,47	46,04	40,68					

^aCV - Coeficiente de variação;

*Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$);

**ANOVA robusta não paramétrica para dois fatores (Rfit).

Tabela 4 - Variáveis sanguíneas de dois grupos genéticos de juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas com diferentes relações arginina:lisina.

Variáveis	Grupo	Arginina: Lisina				Média Geral	CV (%) ^a	Valor de p		
		0,76	0,93	1,12	1,30			Arg: Lis	Grupo	Arg:lis × Grupo
Creatinina (mg/dL)*	G0	1,06	0,95	0,95	0,65	0,88	29,43	0,03	0,86	0,89
	G5	0,84	1,01	0,68	0,55	0,78				
	Média Geral	0,93 ^A	0,98 ^A	0,81 ^{AB}	0,60 ^B					
AST (U/mg proteína) ^b	G0	156,94	191,71	133,20	181,93	167,41	31,07	0,67	0,98	0,93
	G5	163,81	171,14	194,28	163,60	173,62				
	Média Geral	160,26	182,16	167,13	172,76					
Ureia (mg/dL)**	G0	22,00	24,47	33,00	22,77	25,29	21,15	0,20	0,80	0,65
	G5	23,21	24,25	22,27	26,62	24,00				
	Média Geral	22,65	24,37	26,81	24,69					

^aCV-Coeficiente de variação;

^b AST- aspartato aminotransferase ;

* Letras maiúsculas diferentes na linha diferem entre si de acordo com a ANOVA e teste de Duncan ($p < 0,05$);

**ANOVA robusta não paramétrica para dois fatores (Rfit).

Tabela 5 - Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e matéria seca das rações de diferentes relações arginina:lisina, para tilápia do Nilo de dois grupos genéticos.

Variáveis	Grupos	Arginina:Lisina				Média Geral	CV (%)	Valor de p		
		0,76	0,93	1,12	1,30			Arg:Lis	Grupo	Arg:lis × Grupo
CDA Proteína*	G0	85,95	86,05	85,69	86,26	86,00 ^b	3,18	0,77	<0,01	0,67
	G5	90,13	91,14	88,98	89,66	89,97 ^a				
	Média Geral	88,04	88,60	87,33	87,98					
CDA Matéria seca*	G0	65,22	65,66	64,57	64,66	65,03 ^b	5,74	0,12	<0,01	0,24
	G5	74,12	74,29	72,27	68,35	72,26 ^a				
	Média Geral	69,67	69,98	68,42	66,51					

^aCV - Coeficiente de variação;

*Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

9 DISCUSSÃO

Na literatura é comumente relatado que dietas formuladas com proporções desequilibradas de lisina e arginina acarretam redução no ganho de peso, taxa de crescimento, consumo de ração e piores valores de conversão alimentar em diferentes espécies de peixes (Furuya et al., 2013; Van Nguyen et al., 2014; Chen et al., 2016). Todavia, poucos são os estudos avaliando diferentes relações arginina:lisina sobre o desempenho de tilápia do Nilo, como também para grupos genéticos diferentes. Dessa forma, o presente estudo forneceu a primeira evidência que diferentes relações de arginina:lisina na dieta, dentro dos níveis avaliados, não influenciou o desempenho zootécnico de tilápias do Nilo pertencentes a uma linhagem melhorada (G5) e uma linhagem base (G0). Tal fato é muito importante uma vez que produtores utilizam rações com a mesma formulação para diferentes linhagens. A falta do efeito antagônico entre esses aminoácidos proporciona maior flexibilidade nas formulações de dietas, possibilitando o uso de fontes proteicas vegetais com baixa concentração de arginina.

Corroborando o presente estudo, Lee et al. (2020) demonstraram que truta arco-íris de diferentes linhagens apresentam a mesma exigência dietética de lisina, com base no peso médio final. Contudo, trabalhos realizados em outras espécies como juvenis de bijupirá (*Rachycentron canadum*) (Van Nguyen et al., 2014), juvenis de sargo (*Acanthopagrus schlegelii*) (Zhou et al., 2011) e salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (Berge et al., 1999), demonstraram que o desbalanço na relação arginina:lisina, como a presença excessiva de um dos dois aminoácidos resultam em efeitos negativos sobre o desempenho desses peixes. Segundo esses autores, a principal justificativa é o antagonismo entre esses aminoácidos que resultam na redução de absorção deles. Nos referidos trabalhos a quantidade de arginina e lisina presente nas dietas teste eram inferiores e/ou superiores a quantidade exigida pela espécie em estudo. Já no presente trabalho, as dietas utilizadas foram formuladas para atender à exigência nutricional da tilápia do Nilo em todos os nutrientes, exceto para arginina que foi adicionada a uma dose superior a 70%, o que não acarretou diferença significativa no desempenho. Dessa forma, a presença do efeito antagônico observado nos demais estudos pode estar relacionado ao fato de que as dietas não foram formuladas para atender à exigência da espécie, causando confundimento na análise dos resultados. Essa suposição é corroborada por Kim et al. (1992), que concluíram que os efeitos negativos sobre o desempenho zootécnico causados pela utilização de proporções desequilibradas de arginina e lisina dependem da qualidade nutricional da dieta. Dietas pobres

em proteínas ou limitante em um aminoácido essencial podem acentuar esses efeitos negativos sobre o desempenho.

Os resultados obtidos também demonstraram que os animais melhorados (G5) consumiram quantidades superiores de ração e apresentaram coeficiente de digestibilidade para proteína e matéria seca superiores ao grupo não melhorado (G0). Assim sendo, nota-se que os animais selecionados para ganho de peso apresentaram aumento na capacidade de consumo e melhor aproveitamento proteico de dietas, uma vez que a taxa de retenção de proteína e eficiência proteica foram maiores nos animais G5. Resultado semelhante também foi observado em tilápia do Nilo da linhagem GIFT (Genetic Improved Farmed Tilapia) provenientes de um programa de melhoramento genético de tilápias na Ásia, selecionada em nove gerações. Os animais GIFT apresentaram ganho de peso diário e eficiência proteica maior em comparação com a tilápia vermelha ao serem alimentados com dietas contendo 25% ou 35% de proteína bruta. Isso mostra que a linhagem melhorada é mais eficiente na conversão de ração ingerida em massa corporal (Ng e Hanim, 2007). O efeito da seleção genética intensiva sobre o desempenho zootécnico em frangos de cortes também tem resultado em aumento do peso corporal e da taxa de crescimento em relação aos não selecionados. O processo de seleção causou, ainda, uma elevação do consumo voluntário de ração (Tallentire et al., 2016).

O ganho de peso da linhagem melhorada, nesse trabalho, foi 22,8% superior a linhagem base, com peso final de 229,99 e 183,76 g, respectivamente. Essa diferença no ganho de peso na linhagem melhorada pode estar associada ao melhor coeficiente de digestibilidade da dieta uma vez que G5 apresentou maior TEP, TRP, proteína corporal e CDA proteína. Dessa forma, o melhor resultado de ganho de peso observado, acredita-se ser resultante do maior aproveitamento e absorção dos nutrientes presentes na dieta. A superioridade do grupo selecionado para ganho de peso em relação ao grupo base foi relatado em diversas literaturas (Santos et al., 2014; Lee et al., 2020). Estudo realizado na Malásia com tilápia do Nilo comparou o desempenho das progêniez produzidas através de espermatozoides criopreservados de uma população não selecionada e de espermatozoides coletados da linhagem selecionada em nove gerações. A pressão de seleção resultou em ganhos genéticos para ganho de peso de 7,1% por geração, e um acumulado de 64% (Khaw et al., 2008).

O efeito da seleção no grupo G5 aumentou o consumo de ração e ganho de peso, mas não influenciou a conversão alimentar, efeito semelhante foi demonstrado para truta marrom (*Salmo trutta*) e salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (Sanchez et al., 2001; Wolters et al., 2009). Esse resultado é muito importante para os produtores, uma vez que demonstram que os animais

selecionados alcançaram maior peso final em relação a G0, mantendo a mesma conversão alimentar. Segundo Sanchez et al. (2001), animais selecionados geneticamente apresentam o consumo de ração elevado, mas mantém a capacidade de converter a ração consumida em ganho corporal. Em frangos de corte, o aumento no consumo de ração tem sido atribuído as modificações causadas pelo processo de seleção para ganho de peso, sobre os mecanismos de controle da saciedade no hipotálamo (Burkhart et al., 1983). No entanto em peixes, o conhecimento dos efeitos causados pela seleção genética sobre fatores fisiológicos ligados à saciedade e trânsito digestivo ainda não estão elucidados.

A ingestão excessiva de proteína em quantidade e proporções de aminoácido desequilibrados, limita a síntese proteica. Os aminoácidos consumidos em excesso serão catabolizados para fornecimento de energia e/ou aminoácidos essenciais que estão limitados na dieta. Assim sendo, o conteúdo de proteína corporal será reduzido e acompanhado de aumento nos teores de lipídeos (Bureau e Encarnação, 2006; Fracalossi e Cyrino, 2012; Babaei et al., 2016). No presente trabalho, a umidade, proteína e cinzas corporais foram afetados pelas diferentes linhagens, mas não pelas relações arginina:lisina das dietas. O teor de proteína e cinzas corporal do grupo melhorado foi significativamente maior que o grupo base. Provavelmente, a maior digestibilidade da proteína e matéria seca para o grupo G5 pode influenciar no aproveitamento dos nutrientes da dieta e conseqüentemente na composição proximal da carcaça. Além disso, infere-se que os peixes G5 apresentaram crescimento da estrutura óssea e concomitantemente aumento no teor de cinzas, decorrente do maior crescimento muscular observado. A melhora na eficiência de utilização dos nutrientes da dieta e maior deposição na carcaça pelos peixes melhorados tem impactos na sustentabilidade econômica e ambiental. Os nutrientes não absorvidos pelos peixes serão descartados, sendo eles responsáveis pela eutrofização e piora na qualidade de água (Cyrino et al., 2010). Corroborando o presente estudo, Ng e Hanim (2007) observaram um efeito genético sobre a concentração de proteína corporal de tilápia do Nilo. Segundo os autores, os peixes pertencentes a linhagem melhorada selecionada em nove gerações apresentou maior conteúdo de proteína de corpo inteiro em comparação a uma linhagem não melhorada.

A creatinina plasmática é proveniente da conversão de creatina encontrada nos tecidos musculares, que por sua vez, pode ser formada a partir do catabolismo da arginina, glicina e metionina (Cánovas et al., 2019). Esse metabolito fornece energia aos tecidos musculares e está relacionada com o desenvolvimento da massa muscular de animais adultos (Bezerra et al., 2016). Ao ser produzida a creatinina é eliminada do sangue para a urina, pelos rins (Nelson e Cox, 2014). A concentração plasmática de creatinina, reduziu quando os peixes foram

alimentados com dietas contendo elevada relação arginina:lisina, no entanto não observou-se influência desse resultado sobre o crescimento das tilápias.

O catabolismo dos L-aminoácidos ingeridos pelos animais é realizado no fígado, através da atuação de enzimas denominadas aminotransferases ou transaminases. A enzima aspartato-aminotransferase (AST) atua regulando o metabolismo de aminoácidos através da remoção e transferência do grupo amino do aspartato de aminoácido para α -cetoglutarato, formando glutamato e oxaloacetato. As reações catalisadas pela AST exercem papéis importantes, tanto na síntese, como na degradação de aminoácidos (Nelson e Cox, 2014). A mensuração dessas enzimas é usualmente empregada para avaliar a utilização metabólica da proteína dietética e suas alterações decorrentes de distúrbios metabólicos (Siessegger, 2006). A atividade da AST não foi alterada nos diferentes grupos genéticos nem nas relações arginina lisina avaliadas, sugerindo que não ocorreu alteração no metabolismo desses aminoácidos.

A concentração plasmática de ureia está associada a ingestão de arginina. A arginina ingerida pelos peixes é inicialmente metabolizada pela arginase, resultando na produção de ornitina e ureia (Berge et al., 2002a). Dessa forma, dietas deficientes em arginina ou com relações de arginina: lisina desbalanceadas causam redução na concentração de ureia (Chen et al., 2016; Hoseini et al., 2019). Neste estudo, a concentração plasmática de ureia se manteve constante em todos os tratamentos, apoiando os resultados que indicam que as relações arginina e lisina não influenciaram o metabolismo de aminoácido.

Em conclusão, o efeito antagonista da relação arginina: lisina sobre o desempenho não foi observado em tilápia do Nilo pertencentes a um grupo base ou melhorado geneticamente na fase de cultivo estudada. Além disso, os resultados mostram que os programas de melhoramento têm proporcionado a seleção de peixes com desempenho superior, maior capacidade de consumo e melhor aproveitamento dos nutrientes da dieta. Portanto, as dietas para tilápia do Nilo da linhagem base e / ou linhagem melhorada, até a quinta geração, podem ser formuladas a um custo menor com flexibilidade na relação arginina: lisina a ser utilizada (variando de 0,78 a 1,30), desde que atendidas as demais exigências nutricionais.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, I. (2017). Effects of dietary amino acid l-lysine on survival, growth and haemato-biochemical parameters in Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch, 1974), fingerlings. *Journal of Applied Ichthyology*, 33(5), 1027–1033. <https://doi.org/10.1111/jai.13355>

Alam, M. S., Teshima, S. I., Koshio, S., & Ishikawa, M. (2002). Arginine requirement of juvenile Japanese flounder *paralichthys olivaceus* estimated by growth and biochemical parameters. *Aquaculture*, 205(1–2), 127–140. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00670-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00670-6)

Babaei, S., Sáez, A., Caballero-solares, A., Fernández, F., Baanante, I. V., & Metón, I. (2016). leptin , ghrelin and neuropeptide Y in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *General and Comparative Endocrinology*. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2016.10.003>

Bendschneider, K. & Robinson, R. J. . (1952). A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*, 8, 1–18.

Berge, G.E., Sveier, H., Lied, E., 2002. Effects of feeding Atlantic salmon (*Salmo salar*) imbalanced levels of lysine and arginine. *Aquaculture nutrition* 8, 239-248. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00211.x>

Berge, G. E., Bakke-McKellep, A. M., & Lied, E. (1999). In vitro uptake and interaction between arginine and lysine in the intestine of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 179(1–4), 181–193. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00161-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00161-1)

Bezerra B.M.O., de Oliveira A.M.A., Silva C.V.O., Andrade T.S., Guedes R.F. de M., Lemos J.C., Evangelista J.N.B. & Nunes-Pinheiro D.C.S (2016). Fatores inerentes às fases de creche, crescimento e terminação influenciam marcadores da atividade muscular, do metabolismo proteico e do estresse oxidativo em suínos*. *Rev. Bras. Med. Vet*, 38(4), 372.

Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Quadros, M., Ribeiro, F. B., & de Sousa, M. P. (2010). Lysine levels, based on the ideal protein concept, in diets for Nile tilapia fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(1), 1–8. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010000100001>

Bureau, D. P., & Encarnação, P. M. (2006). Adequately Defining the Amino Acid Requirements of Fish : The Case Example of Lysine. *International De Nutricional Acuicola; Avances En Nutricional Acuicola*, 29–54. http://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/VIII/archivos/3Bureau.pdf

Burkhardt, C.A., Cherry, J.A., Krey, H.P. Van, Siegep, P.B., 1983. Genetic Selection for Growth Rate Alters Hypothalamic Satiety Mechanisms in Chickens 13, 295–300.

Cai, W. C., Liu, W. Bin, Jiang, G. Z., Wang, K. Z., Sun, C. X., & Li, X. F. (2018). Lysine supplement benefits the growth performance, protein synthesis, and muscle development of *Megalobrama amblycephala* fed diets with fish meal replaced by rice protein concentrate. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(4), 1159–1174. <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0503-3>

Cánovas, R., Cuartero, M., & Crespo, G. A. (2019). Biosensors and Bioelectronics Modern creatinine (Bio) sensing : Challenges of point-of-care platforms. *Biosensors and Bioelectronic*, 130(November 2018), 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.01.048>

Chen, Q., Zhao, H., Huang, Y., Cao, J., Wang, G., Sun, Y., & Li, Y. (2016). Effects of dietary arginine levels on growth performance, body composition, serum biochemical indices and resistance ability against ammonia-nitrogen stress in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Animal Nutrition*, 2(3), 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.07.001>

Cyrino, J. E. P., Bicudo, Á. J., Sado, R. Y., Borghesi, R., & Dairiki, J. K. (2010). A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(SUPPL. 1), 68–87. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009>

EL Sayed, A.-F. M. (2006). Tilapia culture. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 2005, Issue 46).

Fauzi, I. A., Haga, Y., Kondo, H., Hirono, I., & Satoh, S. (2019). Effects of arginine supplementation on growth performance and plasma arginine, ornithine and citrulline dynamics of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Research*, 50(4), 1277–1290. <https://doi.org/10.1111/are.14004>

Fracalossi, D. M., & Cyrino, J. E. P. (2012). Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aqüicultura brasileira.

Furuya, W. M. (2010). Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. In *Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias*, GFM, Toledo. (Vol. 53, Issue 9).

Furuya, W. M., Michelato, M., Graciano, T. S., Vidal, L. V. O., Xavier, T. O., Furuya, V. R. B., & De Moura, L. B. (2013). Exigência de lisina digestível para a tilápia-do-Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina:lisina. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(4), 1945–1954. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1945>

Gatrell, S. K., Silverstein, J. T., Barrows, F. T., Grimmett, J. G., Cleveland, B. M., & Blemings, K. P. (2017). Effect of dietary lysine and genetics on growth and indices of lysine catabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 23(5), 917–925. <https://doi.org/10.1111/anu.12459>

Hoseini, S. M., Vatnikov, Y. A., Kulikov, E. V., Petrov, A. K., Hoseinifar, S. H., & Van Doan, H. (2019). Effects of dietary arginine supplementation on ureagenesis and amino acid metabolism in common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to ambient ammonia. *Aquaculture*, 511(June), 734209. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734209>

Khaw, H. L., Ponzoni, R. W., & Danting, M. J. C. (2008). Estimation of genetic change in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by comparing contemporary progeny produced by males born in 1991 or in 2003. *Aquaculture*, 275(1–4), 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.022>

Kim, K. Il, Kayes, T. B., & Amundson, C. H. (1992). Requirements for lysine and arginine by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 106(3–4), 333–344. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90265-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90265-M)

Kitagima, R. E., & Fracalossi, D. M. (2010). Validation of a methodology for measuring nutrient digestibility and evaluation of commercial feeds for channel catfish. *Scientia Agricola*, 67(5), 611–615. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162010000500016>

Kloke, J. D., & McKean, J. W. (2012). Rfit: Rank-based estimation for linear models. *R Journal*, 4(2), 57–64. <https://doi.org/10.32614/rj-2012-014>

Lee, S., Small, B. C., Patro, B., Overturf, K., & Hardy, R. W. (2020). The dietary lysine requirement for optimum protein retention differs with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*

Walbaum) strain. *Aquaculture*, 514(September 2019), 734483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734483>

Leite, N. R., Campideli, T. S., Rodriguez-Rodriguez, M. D. P., Pereira, B. M., Ferreira, T. A., Abreu, L. R. A., Fernandes, A. F. A., Turra, E. M., Silva, M. A., & Bonafé, C. M. (2019). Genotype x environmental interaction of growth traits to different levels of dietetic lysine for GIFT tilapia. *Aquaculture*, 499, 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.058>

Michelato, M., de Oliveira Vidal, L. V., Xavier, T. O., de Moura, L. B., de Almeida, F. L. A., Pedrosa, V. B., Furuya, V. R. B., & Furuya, W. M. (2016). Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>

Monteiro, M. I. C., Ferreira, F. N., De Oliveira, N. M. M., & Ávila, A. K. (2003). Simplified version of the sodium salicylate method for analysis of nitrate in drinking waters. *Analytica Chimica Acta*, 477(1), 125–129. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)01395-8](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)01395-8)

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2014). *Princípios de bioquímica de Lehninger* (Artmed (ed.); 6th ed.).

Ng, W. K., & Hanim, R. (2007). Performance of genetically improved Nile tilapia compared with red hybrid tilapia fed diets containing two protein levels. *Aquaculture Research*, 38(9), 965–972. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01758.x>

NRC, N. R. C. (2011). *Nutrient requirements of fish and shrimp*.

Paula, L.B. (2017). *Bioquímica*.

Sanchez, M. P., Chevassus, B., Labbé, L., Quillet, E., & Mambrini, M. (2001). Selection for growth of brown trout (*Salmo trutta*) affects feed intake but not feed efficiency. *Aquatic Living Resources*, 14(1), 41–48. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(00\)01103-7](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(00)01103-7)

Santos, A. I., Nguyen, N. H., Ponzoni, R. W., Yee, H. Y., Hamzah, A., & Ribeiro, R. P. (2014). Growth and survival rate of three genetic groups fed 28% and 34% protein diets. *Aquaculture Research*, 45(2), 353–361. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03233.x>

Siessegger, J.G., Focken, U., Becker, K. (2006). Effect of dietary protein / carbohydrate ratio on activities of hepatic enzymes involved in the amino acid metabolism of Nile tilapia , *Oreochromis niloticus* (L .). 275–282. <https://doi.org/10.1007/s10695-006-9000-1>

Tallentire, C. W., Leinonen, I., & Kyriazakis, I. (2016). Breeding for efficiency in the broiler chicken: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0398-2>

Turra, E. M., Toral, F. L., Toral, Alvarenga, E. R., Raidan, F. S.S., Francisco, A. F., D. A., Alves, G. F.O., Sales, Teixeira, E. A., Manduca, L.G., Brito, T. S., Silva, M. A., Junior, A. F., ... Almeida, M. (2016). Genotype × environment interaction for growth traits of Nile tilapia in bio fl oc technology , recirculating water and Cage systems. *Aquaculture*, 460, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.020>

UNESCO. (1983). *Chemical Methods for use in Marine Environmental Monitoring* (Intergovernmental Oceanographic Commission (ed.)).

Van Nguyen, M., Rønnestad, I., Buttle, L., Van Lai, H., & Espe, M. (2014). Imbalanced lysine to arginine ratios reduced performance in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) fed high plant protein diets. *Aquaculture Nutrition*, 20(1), 25–35. <https://doi.org/10.1111/anu.12043>

Wolters, W. R., Barrows, F. T., Burr, G. S., & Hardy, R. W. (2009). Growth parameters of wild and selected strains of Atlantic salmon, *Salmo salar*, on two experimental diets. *Aquaculture*, 297(1–4), 136–140. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.021>

Wu, Z., Hou, Y., Hu, S., Bazer, F. W., Meininger, C. J., McNeal, C. J., & Wu, G. (2016). Catabolism and safety of supplemental l-arginine in animals. *Amino Acids*, 48(7), 1541–1552. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2245-9>

Zhou, F., Shao, Q. J., Xiao, J. X., Peng, X., Ngandzali, B. O., Sun, Z., & Ng, W. K. (2011). Effects of dietary arginine and lysine levels on growth performance, nutrient utilization and

tissue biochemical profile of black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii*, fingerlings. *Aquaculture*, 319(1–2), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.06.001>