



**Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho
Centro de Aquicultura da Unesp**



**Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção,
eficiência de utilização de lisina e composição química
tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

Manuel Rosa da Silva Neto

CAUNESP/JABOTICABAL-SP

MARÇO – 2023



**Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho
Centro de Aquicultura da Unesp**



**Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção,
eficiência de utilização de lisina e composição química
tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

Manuel Rosa da Silva Neto

Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes

**Tese apresentada ao programa
de Pós-Graduação em
Aquicultura do Centro de
Aquicultura da UNESP –
CAUNESP, como parte dos
requisitos para obtenção do
título de Doutor**

CAUNESP/JABOTICABAL-SP

MARÇO – 2023

S586e Silva Neto, Manuel Rosa da
Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção, eficiência de utilização de lisina e composição química tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) / Manuel Rosa da Silva Neto. -- Jaboticabal, 2023
iii, 71 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2023
Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes
Banca examinadora: Alda Lucia de Lima Amancio, José Jordão Filho, José Humberto Vilar da Silva, Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein

Bibliografia

1. Lisina na nutrição animal 2. Eficiência alimentar 3. Peixes tropicais 4. Peixe nativo 5. Nutrição de pacu. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.043

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: **Lisina dietética no desempenho, manutenção, eficiência de utilização e composição química tecidual do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887)**

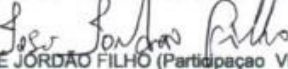
AUTOR: MANUEL ROSA DA SILVA NETO

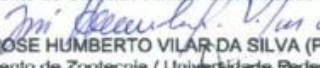
ORIENTADOR: JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES

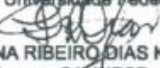
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES (Participação Virtual)
Laboratório de Peixes Ornamentais / Centro de Aquicultura da UNESP, CAUNESP, Jaboticabal-SP


Profa. Dra. ALDA LUCIA DE LIMA AMANCIO (Participação Virtual)
Departamento de Ciência Animal do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias / Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. JOSE JORDÃO FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciência Animal / Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa-PB


Prof. Dr. JOSE HUMBERTO VILAR DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal da Paraíba, UFPB


Profa. Dra. TERESA CRISTINA RIBEIRO DIAS KOBERSTEIN (Participação Virtual)
/ Centro de Aquicultura da Unesp - CAUNESP

Jaboticabal, 17 de março de 2023

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
Introdução	7
REVISÃO DE LITERATURA	9
Conceito de proteína ideal	10
Exigência de aminoácidos para manutenção.....	12
Eficiência de utilização dos aminoácidos	13
REFERÊNCIAS.....	15
MATERIAIS E MÉTODOS	26
Local do experimento e Comitê de Ética.....	26
Instalações e Análise da Água.....	26
Aquisição dos peixes e Delineamento	26
Dietas experimentais.....	27
Coleta de amostras e análises químicas.....	30
Índices de Desempenho	31
Requisitos basais e eficiência da utilização de lisina	31
ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
RESULTADOS.....	33
Desempenho nas fases de crescimento e terminação.....	33
Composição química corporal.....	40
Requisitos basais e eficiência da utilização de lisina	44
DISCUSSÃO	46
CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS.....	57
ANEXO	65
Fórmulas utilizadas:.....	65

Salmos 133

Oh! quão bom e quão suave é que os irmãos vivam em união.
É como o óleo precioso sobre a cabeça, que desce sobre a barba, a barba de
Arão, e que desce à orla das suas vestes.
Como o orvalho de Hermom, e como o que desce sobre os montes de Sião,
porque ali o Senhor ordena a bênção e a vida para sempre.

Salmos 23

O SENHOR é o meu pastor, nada me faltará.
Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas.
Refrigera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu
nome.
Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum,
porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.
Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a
minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda.
Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha
vida; e habitarei na casa do Senhor por longos dias.

Romanos 8:18

Porque para mim tenho por certo que as aflições deste tempo presente não são
comparáveis com a glória que em nós há de ser revelada.

Tiago 1:5

Se alguém de vós tem falta de sabedoria, peça-a a Deus, que a todos dá
livremente, e não lhe será imputada; e ser-lhe-á dada.

DEDICATÓRIA

Com imenso carinho e gratidão, dedico esta tese a Deus, que tem me guiado e me dado forças em todos os momentos da minha vida, especialmente durante o percurso de aprendizado que culminou neste trabalho. Agradeço por cada desafio superado e por cada conquista alcançada.

Ao Colégio Agrícola Vidal de Negreiros (Meu Colégio, Meu Orgulho) CAVN/CCHSA/UFPB na cidade de Bananeiras/PB, instituição de ensino com excelentes professores que despertaram meu amor e afinidade pela Aquicultura e onde tive a oportunidade de aprender e crescer como pessoa. Agradeço por ter sido a base de minha formação e por ter proporcionado momentos inesquecíveis e importantes para minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, Marcos Antônio Fidelis da Silva e Paula Francinete Gomes Fidelis e irmão Marcos Antônio Fidelis da Silva Júnior que sempre acreditaram em mim e me apoiaram incondicionalmente, quero expressar meu imenso amor e gratidão. Vocês são meu exemplo de dedicação e amor à família e à vida.

A Ediana da Silva Ramos que tem sido minha amiga, companheira e esposa que pacientemente acompanhou todo este processo. Sua resiliência é minha inspiração.

À minha querida tia Maria das Graças Mendes Gomes, que desde cedo incentivou me apoiou incondicionalmente. Você foi mais do que uma tia, foi uma segunda mãe que sempre esteve presente em minha vida e contribuiu para que eu chegasse até aqui.

Por fim, homenageio meus avós, Geralda Moisés e Manoel Rosa da Silva, mesmo que não estejam mais aqui fisicamente, seus ensinamentos e amor sempre estarão presentes em minha memória. Agradeço por terem sido fontes de sabedoria e amor incondicional durante toda a minha vida.

Que Deus abençoe a todos nós e nos guie em nossos caminhos, agora e sempre.
Assim seja!!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração ao meu orientador Professor Doutor João Batista Kochenborger Fernandes, por sua abordagem única e confiante de orientação. Desde o início, você acreditou em mim, incluindo a confiança de me deixar liderar o laboratório de peixes ornamentais. Esse papel me permitiu não apenas encontrar minhas próprias respostas, mas também ajudar outras pessoas a conduzir suas pesquisas, aprender por conta própria, solucionar problemas e desenvolver minha liderança. As atividades de extensão e apresentações ao público no Centro de Aquicultura também enriqueceram minha formação. Estou eternamente grato por sua orientação e sem os quais este marco importante na minha carreira acadêmica não teria sido possível. Muito obrigado.

Quero expressar minha profunda gratidão aos membros da banca de qualificação e defesa. Agradeço o tempo e dedicação que vocês dispensaram para avaliar e guiar o meu trabalho. A sua expertise e conhecimento irá lapidar ainda mais este trabalho. Estou muito grato pela oportunidade de aprender com vocês e pelas valiosas contribuições. Agradeço de coração a cada um de vocês por sua colaboração nesta jornada acadêmica.

Expresso minha profunda gratidão aos meus colegas de laboratório de peixes ornamentais, Kifayat, Monique, Jayne e estagiários que por lá passaram. Aproveito também para deixar um agradecimento em especial para a Thais Oliveira pela paciência e dedicação em ensinar e compartilhar seus conhecimentos de outros ensaios com peixes. Sua habilidade de transmitir informações de maneira clara e eficiente foi fundamental para meu crescimento. No geral, vocês foram incansáveis parceiros ao longo desta jornada acadêmica. Além de compartilhar conhecimentos e experiências, vocês me ensinaram a entrar no ritmo do Centro de Aquicultura e a lidar com as diferentes situações que surgiram, contribuindo para o meu crescimento profissional e pessoal. A nossa parceria foi fundamental para o meu sucesso e estou eternamente grato.

Minha sincera gratidão ao Laboratório de Avicultura do FCAV/UNESP e ao grupo de estudos do Lavinesp, sob a orientação da Professora Doutora Nilva Kazue Sakomura. A disponibilidade de insumos, o conhecimento teórico e o laboratório para as análises físico-químicas, além da boa vontade em ajudar-me, especialmente com os maquinários da fábrica de ração, foram fundamentais para

o meu sucesso na realização desta tese. Quero também agradecer a Professora Nilva por sua disponibilidade em corrigir minha proposta ainda enquanto era um projeto, e por sua contribuição para o meu desenvolvimento acadêmico. Além disso, agradeço a comodidade proporcionada no ambiente do laboratório, que foi fundamental para o meu bem-estar e desempenho.

Gostaria de agradecer a todos os alunos e funcionários do CAUNESP e FCAV - Jaboticabal pelo convívio durante todo o meu percurso acadêmico. Em especial, gostaria de destacar aos funcionários Márcio Reche, Luiz da tilapicultura, Valdecir Fernandes, Roberto da Carcinicultura, Jamil Eletricista e David Lorente da secretaria da pós, que tiveram um convívio ainda mais próximo e proporcionaram uma experiência ainda mais agradável durante a minha estadia em Jaboticabal.

A academia Espaço Insano pelas aulas de Jiu-Jitsu, que foram essenciais durante a minha jornada acadêmica. Aprendi muito com o Professor Orlando Figueiredo e o instrutor Marcelino, que sempre me ajudaram a alcançar meus objetivos na prática desse esporte. A atividade física foi fundamental para equilibrar minha mente e corpo durante esse período desafiador, e sem dúvida, contribuiu para o meu sucesso na realização desta tese. Muito obrigado a todos da academia Espaço Insano por me proporcionarem essa incrível oportunidade de praticar Jiu-Jitsu “soltinho”.

Gostaria de agradecer imensamente ao Luiz Eduardo, dono do prédio onde morei por quatro anos. Durante todo esse tempo, você sempre foi extremamente proativo ao atender às necessidades dos moradores, tornando nossa vida mais confortável e agradável. A sua dedicação em resolver qualquer problema ou questão imediatamente e sempre com um sorriso no rosto foi uma verdadeira marca registrada da sua personalidade e é algo que nunca será esquecido.

Ao Renato Bedim, proprietário da Loja Nutrivita de produtos veterinários e rações de pets em Jaboticabal. A sua aceitação de minha assistência técnica e sugestões de melhorias aos peixes ornamentais em seu estabelecimento foi uma grande oportunidade para eu aplicar meus conhecimentos e ajudar a melhorar a qualidade de vida dos animais em seu estabelecimento. Além disso, sua indicação para prestar assistência técnica no município de Pitangueiras foi uma grande honra e excelente experiência.

À Professora Rose Vidotti pelos valiosos conhecimentos compartilhados sobre compostagem dos resíduos da aquicultura. Sua dedicação e paixão pela preservação do meio ambiente e pela sustentabilidade da aquicultura foi uma grande inspiração para mim e tenho certeza de que estes conhecimentos serão de grande valia em minha carreira.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho, que apesar de todas as dificuldades, adversidades e atrasos causados pela pandemia, juntos conseguimos superar todos os obstáculos e chegar até aqui.

APOIO FINANCEIRO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP), processo Nº 2020/16791-0, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

Efeito da lisina dietética no desempenho, manutenção, eficiência de utilização de lisina e composição química tecidual do pacu (*P. mesopotamicus*)

Foram realizados dois experimentos com o objetivo de avaliar o desempenho e estimar a manutenção e a eficiência de utilização da lisina, em duas fases de vida do pacu, na fase de crescimento foram utilizados 120 peixes com peso inicial médio de $184,24 \pm 0,40$ g e na fase de terminação 120 peixes com peso inicial médio $854,68 \pm 17,38$ g, distribuídos em 20 unidades experimentais de 1.000 litros, cada unidade, uma contendo seis peixes. Nas duas fases os peixes foram alimentados com dietas contendo os níveis totais de (0,70; 1,32; 1,74; 2,17 e 2,59%). As dietas foram isoenergéticas e os ensaios ocorreram em 80 e 91 dias respectivamente. O delineamento foi inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos (níveis de lisina) e quatro réplicas. Cada ensaio teve foi adicionado uma dieta contraprova contendo o nível de lisina (0,95%) com quatro réplicas, para validar a limitante da lisina. Nos dois ensaios, os peixes que ingeriram os maiores níveis de lisina, apresentaram melhor desempenho, eficiência alimentar, deposição de proteína e redução de gordura corporal. Para atender às necessidades nutricionais dos pacus, foi estimado em média de 1,96% de lisina digestível durante o crescimento, considerando uma conversão alimentar de 1,99 e uma taxa de eficiência proteica de 1,93, e 1,97% de lisina digestível na fase de terminação, levando em conta uma conversão alimentar de 1,91 e uma taxa de eficiência proteica de 2,03. Essas quantidades otimizam o crescimento e o desempenho dos pacus em diferentes estágios. Também foi constatado variações de acordo com a idade para a exigência na manutenção $53,05 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$ na fase de crescimento e $19,38 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$ na terminação.

Palavras chaves: Lisina na nutrição animal, Eficiência alimentar, Peixes tropicais, Peixe nativo, Nutrição de Pacu

ABSTRACT

Effect of dietary lysine on performance, maintenance, lysine utilization efficiency, and tissue chemical composition of pacu (*P. mesopotamicus*)

Two experiments were conducted to evaluate performance and estimate lysine maintenance and utilization efficiency in two life stages of pacu. In the growth phase, 120 fish with an average initial weight of 184.24 ± 0.40 g were used, and in the finishing phase, 120 fish with an average initial weight of 854.68 ± 17.38 g were used, distributed in 20 experimental units of 1,000 liters, each containing six fish. In both phases, fish were fed diets containing total lysine levels of (0.70; 1.32; 1.74; 2.17; and 2.59%). The diets were isoenergetic, and the trials lasted for 80 and 91 days, respectively. The design was completely randomized, with five treatments (lysine levels) and four replicates. For each trial, a control diet containing the lysine level (0.95%) with four replicates was added to validate lysine limitation. In both trials, fish ingesting higher lysine levels showed better performance, feed efficiency, protein deposition, and reduced body fat. To meet the nutritional needs of pacu, the average estimated digestible lysine was 1.96% during growth, considering a feed conversion ratio of 1.99 and a protein efficiency ratio of 1.93, and 1.97% digestible lysine in the finishing phase, considering a feed conversion ratio of 1.91 and a protein efficiency ratio of 2.03. These quantities optimize the growth and performance of pacu at different stages. Age-related variations were also observed for maintenance requirement, $53.05 \text{ mg/kg}^{-0.8}/\text{day}^{-1}$ in the growth phase and $19.38 \text{ mg/kg}^{-0.8}/\text{day}^{-1}$ in the finishing phase.

Keywords: Lysine in animal nutrition, Feed efficiency, Tropical fish, Native fish, Pacu nutrition

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução

A piscicultura desempenha um papel de grande importância na economia mundial, uma vez que é um dos setores de produção que mais tem crescido nos últimos anos, tornando-se cada vez mais moderna e eficiente. O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é uma espécie nativa das bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai, conhecida por suas excelentes características zootécnicas, sua rusticidade e a qualidade de sua carne. Originário da Bacia do Prata, o pacu é mais tolerante às temperaturas frias em comparação com outros peixes de água doce, o que o torna adequado para produção em determinadas regiões do Brasil, onde as temperaturas podem ser mais baixas. Além disso, o pacu apresenta um bom desempenho em sistemas de piscicultura intensiva, com índices de produção excelentes, incluindo ganho de peso, conversão alimentar, crescimento e resistência. Essa espécie é amplamente cultivada em países da América do Sul (Embrapa, 2017; IBGE, 2018).

Para alcançar o máximo desempenho, os peixes exigem dietas que atendam às suas necessidades de manutenção e crescimento, visando a otimização do desempenho produtivo. Nesse contexto, a proteína desempenha um papel fundamental e é um dos nutrientes mais dispendiosos nas dietas. Entretanto, é importante ressaltar que níveis elevados de proteína não garantem um melhor aproveitamento, pois os peixes apresentam melhor bem-estar, saúde e desempenho quando os níveis de aminoácidos estão adequadamente balanceados, o que contribui para o máximo desempenho zootécnico (Wilson, 2002; Webster, 2002; Boscolo, 2003; Barros, 2010).

A lisina é o primeiro aminoácido limitante em dietas formuladas com base em milho e farelo de soja para peixes (Abimorad et al., 2010). É também o aminoácido encontrado em maior concentração na composição corporal do pacu (Abimorad et al., 2010; Khan et al., 2019a). Dietas isentas em lisina resultam na redução do crescimento e da eficiência alimentar, podendo favorecer a erosão das nadadeiras dorsais e caudais, como foi constatado em truta arco-íris e carpa comum (NRC, 2011), em pacus (Dairiki et al., 2013) e em tilápias (Ovie & Eze, 2013). Outra consequência da deficiência de lisina é a menor retenção de

nitrogênio corporal em alevinos e juvenis de pacu (Abimorad et al., 2017). Nesse contexto, a lisina é o aminoácido chave para alcançar a proporção ideal de proteína em dietas para diversas espécies de peixes produzidos em sistemas intensivos (Wilson, 2002; NRC, 2011).

Diante da carência de informações sobre eficiência de utilização para cada aminoácido em diferentes fases de vida dos peixes e sua importância para elaboração de futuros modelos de predição das exigências dos aminoácidos, no presente estudo são abordados a técnica de diluição, desempenho de crescimento, estimativa de exigência para manutenção e eficiência de utilização de lisina para deposição de proteína corporal na fase de crescimento 184 g e terminação de pacus 854 g.

REVISÃO DE LITERATURA

Qualidade da proteína na alimentação de peixes

Nos últimos anos a aquicultura vem investigando a nutrição de peixes com foco em práticas sustentáveis que aumentem a rentabilidade do produtor, melhorem o bem-estar e mitiguem a poluição do meio ambiente. Esta abordagem tem como principal objetivo aumentar a escala de produção e oferta de peixes. A redução do custo com a alimentação, também, afeta o consumo da carne de peixes por influenciar os preços do peixe no varejo.

Uma das estratégias para otimizar o custo de alimentação de peixes é a oferta de dietas formuladas pelo conceito de nutrição de precisão que estimula a eficiência do aproveitamento dos nutrientes pelos animais e reduz a presença de compostos nitrogenados nos efluentes, devido melhor aproveitamento dos aminoácidos da dieta para atender as demandas dos animais nas diferentes fases da vida (Lellis et al., 2004; Aliu et al., 2017; Khan et al., 2019b).

Dietas que contenham proporções nutricionais adequadas somado as boas práticas de manejo como frequência alimentar e gerenciamento do arraçamento, são necessárias para o crescimento normal de um peixe saudável. Caso contrário, o desbalanço alto dos nutrientes e energia da dieta afeta negativamente a síntese proteica e metabolismo de lipídios e carboidratos (NRC, 2011), compromete a qualidade da água, prejudica a sanidade dos peixes (Ip, 2010; NRC, 2011), e reflete em prejuízos financeiros para o produtor.

De acordo com Lovell (1998), Furlaneto et al. (2008) e Hossian et al. (2020b) os custos para produzir dietas na piscicultura podem chegar em até 70% da produção, porém estabelecendo um bom balanceamento entre o perfil de aminoácidos, é possível diminuir o teor de proteína nas dietas e consequentemente o custo da produção (El-Saidy & Gaber, 2005; Khan et al., 2019b; Ragnar et al., 2012).

Os pesquisadores têm realizado estudos para adquirir informações que contribuam na determinação de níveis de energia e proteína adequados para cada fase de vida dos organismos aquáticos. Porém, dietas formuladas apenas para atender energia e proteína não assegurem lucratividade e adequado crescimento dos peixes em sistemas intensivos de produção, sendo necessário entender

melhor o balanceamento entre os aminoácidos essenciais (AAE) e não essenciais (ANE) (Ketola, 1982; Furuya et al., 2000; Usydus et al., 2009; NCR, 2011; Khan et al., 2019b; Romaneli et al., 2021; Yanniss et al., 2021). A necessidade da atenção aos AAE deve-se ao fato de não serem sintetizados completamente ou apenas em quantidades reduzidas para atender que não atendem as necessidades de exigências tanto para a manutenção quanto crescimento satisfatório, devendo ser fornecidos através da dieta (NRC, 2011; Sakomura & Rostagno, 2007). Outro fator importante que deve ser levado em consideração é a qualidade da proteína dietética, pois proteínas de baixa digestibilidade interferem na determinação da proteína ideal em dietas práticas (Furuya et al., 2010; Ragnar et al., 2012; Gous et al., 2018).

Para resolver este problema é preciso conhecer quais ingredientes possuem melhor biodisponibilidade de aminoácidos (El Saidy & Gaber, 2005; Furuya, 2010; Ragnar et al., 2012). O desbalanceamento entre os aminoácidos essenciais, em especial os principais limitantes em ingredientes utilizados em dietas comerciais, influencia na partição de nitrogênio destinada à síntese proteica, que por sua vez pode alterar a composição química corporal, o rendimento de filé, redução no desempenho zootécnico, aumento nos custos de alimentação e aumento de resíduos nitrogenados nos efluentes (Furuya et al., 2005, 2010; Ip, 2010; NRC, 2011). Deste modo, é importante determinar a necessidade de cada aminoácido, principalmente os essenciais, e entender melhor os limitantes, os quais são utilizados nas formulações de dietas buscando atender as exigências dos peixes (Bomfim et al., 2010; Furuya, 2010; Marcouli et al., 2016).

Conceito de proteína ideal

O conceito de proteína ideal tem sido adotado como uma estratégia eficiente durante a formulação de dietas buscando alcançar as exigências de manutenção e produção dos peixes devido permitir um balanceamento de aminoácidos (Takishita, 2009). Este conceito permite aos nutricionistas, balancear e ajustar adequadamente as dietas com base no fornecimento de aminoácidos, possibilitando reduzir o teor de proteína com melhor disponibilidade de aminoácidos nas dietas, aumentando o desempenho produtivo e redução nos

custos com a alimentação (NRC, 2011), além de favorecer a qualidade da água, pela redução de compostos nitrogenados e fosfatados nos efluentes, garantindo assim uma criação de peixes mais saudáveis (NRC, 2011; Nogueira et al., 2022). As formulações de dietas que atendem o conceito de balancear os aminoácidos melhora a qualidade da digestibilidade da dieta (Gous e Morris, 1985; Furuya, 2015).

Contudo, para a formulação de dietas com base no conceito de proteína ideal, é necessário o conhecimento dos níveis e a relação dos aminoácidos essenciais que os peixes requerem. A forma mais rápida de se encontrar esses níveis é pela análise do perfil de aminoácido corporal (Khan et al., 2019), partindo do princípio de que a composição química corporal do animal varia de acordo com o conteúdo nutricional ingerido (Andriguetto et al., 2006). Porém, este método apresenta apenas valores aproximados, uma vez que não são considerados todos os gastos metabólicos do animal, somente a deposição dos AA nos tecidos corporais (Green e Hardy, 2002; Rollin et al., 2003; Peres e Oliva-Teles, 2009; Furuya, 2010; Diógenes et al., 2015). A forma mais correta de determinar as exigências totais dos aminoácidos é através de ensaios de dose-resposta, assim tanto a exigência para manutenção quanto para crescimento é considerada (Sakomura & Rostagno, 2007). Entretanto, a análise do perfil aminoácido do corpo apresenta grande importância por ser rápido e servir como base para iniciar estudos de exigências nutricionais (Portz & Furuya, 2012).

Neste conceito, para a formulação de dietas, realiza-se o balanceamento dos AAE assumindo a lisina como o aminoácido referência (relação aminoácido essencial:lisina), de acordo com o perfil proteico ideal. Apesar das exigências quantitativas dos aminoácidos possam alterar, a proporção de lisina e demais aminoácidos são praticamente constantes (Chung et al., 1992; Emmert & Backer, 1997; Pezzato et al., 2004; Furuya et al., 2005). A preferência da lisina como aminoácido referência baseia-se por possuir maior número de informações sobre suas exigências, ser de fácil acesso na forma sintética, pela rapidez e precisão de sua análise, ser um dos aminoácidos mais limitantes nos ingredientes utilizados na formulação de dietas e tem relação direta e abundante na biossíntese da proteína corporal. (Ketola, 1982; Wilson, 2002; Guillaume et al., 2004; Abimorad et al., 2010; NRC, 2011; Dairiki et al., 2013; Ovie & Eze, 2013; Abimorad et al., 2017; Khan et al., 2019b; Yanniss et al., 2021; Costa Sousa et al., 2021).

Exigência de aminoácidos para manutenção

A precisão na determinação das necessidades de aminoácidos em peixes é de suma importância na formulação de dietas que visam otimizar a saúde e o crescimento em sistemas de aquacultura. O método do "abate comparativo" é uma excelente alternativa, permitindo comparar matematicamente as respostas de composição química. Inicialmente, os peixes passam por um período de adaptação, seguido de um regime alimentar onde é incorporado nas um aminoácido específico, enquanto todas as outras necessidades nutricionais são minuciosamente atendidas (controladas).

Após o período experimental, os peixes são sacrificados forma humanitária, então as amostras da carcaça após serem analisadas, é estimado a quantidade do aminoácido de interesse nos tecidos, tanto antes quanto após o experimento. A diferença entre esses iniciais e finais nos permite estimar quantidade empregada na manutenção das funções vitais dos peixes, a interpretação desses resultados em termos de exigência de aminoácidos para manutenção é o ponto central da formulação das dietas balanceadas mais precisas, que sempre priorizam as necessidades nutricionais fundamentais, antes de contemplar o crescimento e outras nuances fisiológicas.

A manutenção de um aminoácido limitante pode ser considerada como o equilíbrio do nitrogênio (N), onde a ingestão de N é igual ao N exigido para manter o metabolismo em funcionamento, de tal forma que o N corporal mantenha-se em constância (Figura 1, Sakomura & Coon, 2003; Sakomura & Rostagno, 2007). Geralmente a manutenção tem sido investigada em animais adultos ou indivíduos cujo a utilização de proteína para crescimento corporal e para reprodução não esteja como prioridade, mas requerem aminoácidos dietéticos para as funções de manutenção (Owens & Pettigrew, 1989). Além disso, o uso de animais adultos tem sido feito em diversas pesquisas (Fisher, 1970; Siqueira et al., 2011; De Lima et al., 2016; Khan et al., 2019b; Romaneli et al., 2021). Para Emmans (1995), ajustar uma equação para cálculo da necessidade do nutriente para manutenção deve ser aplicada durante todo o período de crescimento dos animais.

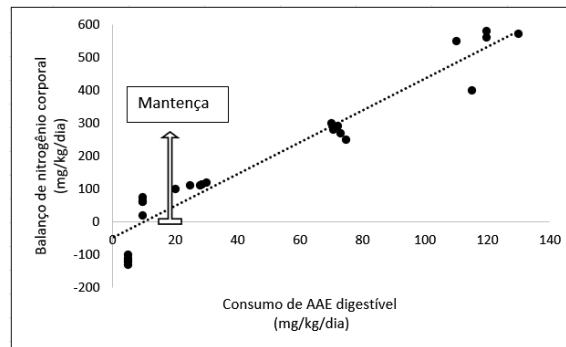


Figura 1. Relação entre balanço de nitrogênio e ingestão de aminoácidos essenciais digestíveis (AAED) mg/kg/dia

Geralmente as exigências de aminoácidos para manutenção são expressas com base no peso metabólico ou em função do peso proteico (Sakomura & Rostagno, 2016). Avaliando a manutenção e eficiência de utilização da proteína e energia em três espécies de peixes de diferentes hábitos alimentares, Lupatsh et al., (2003) determinaram o coeficiente de peso metabólico de 0,79; 0,80 e 0,82, chegando à conclusão do valor médio de 0,80, valor similar descrito por Trung et al., (2011) determinando a manutenção e eficiência da proteína e energia em tilápias. Contudo, Emmans e Fisher (1986) afirmam que a exigência de proteína e aminoácidos para manutenção tem relação mais próxima com o conteúdo proteico corporal, sendo uma maneira mais correta de expressar essas exigências em peso proteico, uma vez que o teor de lipídeo corporal possa variar mesmo entre os animais com pesos corporais semelhantes.

Eficiência de utilização dos aminoácidos

A eficiência de utilização dos aminoácidos baseia-se na relação entre a quantidade ingerida de um aminoácido, descontado da manutenção, e a deposição efetiva deste aminoácido para crescimento muscular, assim torna possível entender como o aminoácido é depositado (Sakomura & Rostagno, 2016). Um fator importante que deve ser mencionado é que a eficiência de utilização de um aminoácido pode variar frente a fatores como o aminoácido em questão, sua quantidade na dieta, o sexo e o melhoramento genético do animal (D'Mello, 2003; NRC 2011). De acordo com Kielanowski (1965) e Emmans (1981) a regressão linear é utilizada para determinar a eficiência de utilização em animais em crescimento, através da relação da deposição do aminoácido no corpo de acordo

com a ingestão do aminoácido para ganho, onde a deposição será a variável dependente, a ingestão seja a variável independente e o coeficiente de inclinação da reta (*slope*) representará a eficiência de utilização do aminoácido em estudo.

Diante da carência de informações sobre eficiência de utilização para cada aminoácido em diferentes fases de vida dos peixes e sua importância para elaboração de futuros modelos de predição das exigências dos aminoácidos, no presente estudo são abordados a técnica de diluição, desempenho de crescimento, estimativa de exigência para manutenção e eficiência de utilização de lisina na deposição de proteína corporal fase de crescimento e terminação de pacus.

REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E.; SQUASSONI, G.; CARNEIRO, D. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 14, p. 374-380, 2008. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x>.

ABIMORAD, E. G., FAVERO, G. C., SQUASSONI, G. H.; CARNEIRO, D. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu, *Piaractus mesopotamicus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 16, p. 370-377, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x>.

ABIMORAD, E. G.; DUCATTI, C.; CASTELLANI, D.; JOMORI, R. K.; PORTELLA, M. C.; SARTORI, M. P.; CARNEIRO, D. J. Dietary lysine deficiency increases the incorporation rate of nitrogen-free compounds in muscle of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture**, v. 479, p.522-527, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.033>.

ABBOUDI, T; OOGHE, W.; LARONDELLE, Y.& ROLLIN, X. Determination of the threonine requirement of maintenance in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry with the diet dilution procedure. **Aquaculture Nutrition**, v.13, p. 281-290, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00475.x>

Aliu, B.S., Afolabi, J.O., Egwenomhe, M., Esume, A.C., 2017. Survey on Nutrition and Feeding Practices of Fish by Farmers in Ondo State, Nigeria. *Asian J Biol.* 2(1), 1-9. <https://doi.org/10.9734/AJOB/2017/31605>

ANDRIGUETTO, J. M., PERLY, L., MINARDI, I., GEMAEL, A., FLEMMING, J.S., SOUZA, G.A., & BONA FILHO, A. (2006). Os alimentos e os princípios nutritivos. In: ANDRIGUETTO, J. M., PERLY, L., MINARDI, I., GEMAEL, A., FLEMMING, J. S., SOUZA, G. A., BONA FILHO, A., editors. *Nutrição Animal*. São Paulo: Nobel, pp. 17–40.

Associação Brasileira da Piscicultura (Peixe - BR). (2022). Anuário 2022 Peixe BR da Piscicultura [anuário digital da associação brasileira de piscicultura] (vol. 1, pp. 1–136). Associação Brasileira de Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>

BARROS, A. F. Análise socioeconômica e zootécnica da piscicultura na microrregião da baixada Cuiabana – MT. 2010. 129f. Tese (Doutorado em Aquicultura) Centro de Aquicultura da UNESP – CAUNESP, Jaboticabal, SP.

BENNETT, A., PATIL, P., KLEISNER, K., RADER, D., VIRDIN, J., BASURTO, X., 2018. Contribution of Fisheries to Food and Nutrition Security: Current Knowledge, Policy, and Research. NI Report 18-02. Durham, NC: Duke University, <http://nicholasinstitute.duke.edu/publication>.

Bicudo, Á. J. A., Sado, R. Y., & Cyrino, J. E. P. (2009). Dietary lysine requirement of juvenile pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Aquaculture*, 297(1–4), 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.031>

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELLE, J.L.; QUADROS, M. RIBEIRO, F.B.; SOUSA, M.P. 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. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>

BOSCOLO, W.R. Farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápia na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2003. 83p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, 2003.

DAIRIKI, J. K.; BORGHESI, R.; DIAS, C. T. S.; CYRINO, J. E. P. Lysine and arginine requirements of *Salminus brasiliensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 8, p. 1012-1020, 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800029>

DE LIMA, M.B., SAKOMURA, N.K., DORIGAM, J.C.P., DA SILVA, E.P., FERREIRA, N.T., FERNANDES, J.B.K., 2016. Maintenance valine, isoleucine, and tryptophan requirements for poultry. *Poultry Science* 95, 842–850. <https://doi.org/10.3382/ps/pev380>

DIÓGENES, A. F., FERNANDES, J. B. K., DORIGAM, J. C. P., SAKOMURA, N. K., RODRIGUES, F. H. F., LIMA, B. T. M., & GONÇALVES, F. H. (2016). Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. *Aquaculture Nutrition*, 22, 435–443. <https://doi.org/10.1111/anu.12262>.

D'MELLO, J. P. F. A comparison of two empirical methods of determining amino acid requirements. *World's Poultry Science Journal*, v. 138, p. 114-119, 1982. <https://doi.org/10.1017/WPS19820010>.

D'MELLO, J.P.F. 2003. Amino acid in animal nutrition. Edinburgh, UK: CABI Publishing.

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

EBENEEZAR, S., VIJAYAGOPALA, P., SRIVASTAVAB, P. P., GUPTAB, S., VARGHESE, S. T., PRABUA, D. L., CHANDRASEKARA, S., ELDHO VARGHESEA, E., SAYOOJA, P., TEJPALC, C. S., & WILSONA, L. (2019). Dietary lysine requirement of juvenile Silver pompano, *Trachinotus blochii* (Lacepede, 1801). *Aquaculture*, 511, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.73>

JASON L. EMMERT, DAVID H. BAKER, Use of the Ideal Protein Concept for Precision Formulation of Amino Acid Levels in Broiler Diets¹, *Journal of Applied Poultry Research*, Volume 6, Issue 4, 1997, Pages 462-470, ISSN 1056-6171, <https://doi.org/10.1093/japr/6.4.462>.

EMMANS, G.C., 1981. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry, In: Hillyer, G. M., Whittemore, C.T., Gunn, R.G. (Eds.), *Computers Animal Production*. British Society of Animal Production, Edinburgh, pp. 106–110 <https://doi.org/10.1017/S0263967X00003761>

EMMANS, G.C., FISHER, C., 1987. PROBLEMS IN NUTRITIONAL THEORY. REMOND, B., ROUEL, J., PINSON, N., JABET, S., 1997. An attempt toIn: Fisher, C., Boorman, K.N. (Eds.), Nutrient Requirements of omit the dry period over three consecutive lactations in dairy Poultry and Nutritional Research, Butterworths, London, pp. cows. Ann. Zootech. 46, 399–408.9–39

EUCLYDES, R. F.; ROSTAGNO, H. S. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Nutrição de Aves e Suínos. In: WORKSHOP LATINO-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 1., 2001, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu (PR), p. 77-88, 2001.

FAO: The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges. Rome, 2016. 243 p. <https://www.fao.org/3/i5555e/i5555e.pdf>

FAO: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Pensando no Futuro da Segurança Alimentar, um relatório prospectivo. 2022 <https://www.fao.org/3/cb8667en/cb8667en.pdf>

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

FURLANETO, F. de P.B.; AYROZA, D.M.M. de; AYROZA, I. M. S. Análise econômica da produção de tilápia em tanques-rede, ciclo de verão, Região do Médio Paranapanema, Estado de São Paulo, 2009. Informações Econômicas, SP, v. 40, n. 4, p. 5-11, abr. 2010.

FURUYA, W.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B.; SOARES, C.M. Exigências de proteína para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.29, p.1912-1917, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000400003>

FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; MACEDO, R. M. G.; SANTOS, V. G.; SILVA, L. C. R.; SILVA, T. C.; FURUYA, V. R. B.; SALES, P. J. P. Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-nilo (*Oreochromis*

niloticus). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1433-1441, 2005.
<https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000500002>.

FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. et al. Tabelas brasileiras para nutrição de tilápias. Toledo: GFM, 2010. 100p.

FURUYA, W.M., MICHELATO, M., SALARO, A.L., CRUZ1, T.P.D. BARRIVIERA-FURUYA, V.R., 2015. Estimation of the dietary essential amino acid requirements of colloraja *Astyanax fasciatus* by using the ideal protein concept. *Lat Am J Aquat Res.* 43(5), 888-894. DOI: [10.3856/vol43-issue5-fulltext-8](https://doi.org/10.3856/vol43-issue5-fulltext-8).

GREEN, J. A., & HARDY, R. W. (2002). The optimum dietary essential amino acid pattern for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), to maximize nitrogen retention and minimize nitrogen excretion. *Fish Physiology and Biochemistry*, 27, 97-108.
<https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000021878.81647.6e>.

GONÇALVES, A. C. S.; MURGAS, L. D. S.; ROSA, P.V.; NAVARRO, R.D., COSTA, D.V.; TEIXEIRA, E.A. Desempenho produtivo de tambacus alimentados com dietas suplementadas com vitamina E. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1005-1011, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900010>.

GOUS, R.M.; MORRIS, T.T. An improved method for measuring the response of broiler chickens to increasing dietary concentration of an amino acid. **Proceedings of the 6th European Poultry Conference**. Hamburg. Germany, p. 32-39, 1980.

GOUS, R.M.; MORRIS, T.R. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. *British Poultry Science*, v.26, p.147-161, 1985. <https://doi.org/10.1080/00071668508416799>.

GOUS, R.M., FAULKNER, A.S., SWATSON, H.K., 2018. The effect of dietary energy: protein ratio, protein quality and food allocation on the efficiency of utilization of protein by broiler chickens. *Br Poult Sci.* 59 (1): 100-109. DOI: [10.1080/00071668.2017.1390211](https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1390211)

GUILLAUME, J.; KAUSHIK, S.; BERGOT, P.; MÉTAILLER, R. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Madrid: Mundi-Prensa, 2004.

HENRY-SILVA, G. G. & CAMARGO, A. F. M. (2008). Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. Revista Brasileira de Zootecnia. 181-188. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000200002>

HOSSAIN.; M.; RAHMAN, H., ALI; L., KHAN, S.; HAQUE, M.; SHAHJAHAN, D.M. Development of a low cost polyculture system utilizing Hygroryza aristata floating grass in the coastal wetlands of Bangladesh, Aquaculture, Volume 527, 2020, 735430, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735430>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018. Pesquisa da Pecuária Municipal.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019). Pesquisa da pecuária municipal de 2019 [dados brutos de um anuário]. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#/n1/all/v/4146/p/2019/c654/0,32870/l/v,p%2Bc654,t/resultado>

IP, YUEN and CHEW, F. SHIT. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. Front. Physiol., 04 October 2010Sec. Aquatic Physiology. <https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00134>

KIELANOWSKI, 1965 J. KIELANOWSKI. Estimates of the energy cost of protein deposition in growing animals. In: Energy Metabolism of Farm Animals. K.L. BLAXTER (Ed.), EAAP Publ., 11 (1965), pp. 12-30

KHAN, K. U.; MANSANO C. F. M.; NASCIMENTO, T. M. T.; BOARATTI, A. Z.; RODRIGUES, A. T.; QUEIROZ, D. M. A.; ROMANELI, R. S.; SAKOMURA, N. K., FERNANDES, J. B. K. Whole-body amino acid pattern of juvenile, pre adult and adult pacu, *Piaractus mesopotamicus*, with na estimation of its dietary essential amino acid

requirements. **Journal World Aquaculture Society**, v 51, n. 1, p. 224-234, 2019a. <https://doi.org/10.1111/jwas.12600>.

LIEBERT, F. and BENKENDORFF, K. (2007), Modelling of threonine and methionine requirements of *Oreochromis niloticus* due to principles of the diet dilution technique. *Aquaculture Nutrition*, 13: 397-406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00490.x>

Liebert, F. 2015. Basics and applications of an exponential nitrogen utilization model (“Gottingen approach”) for assessing amino acid requirements in growing pigs and meat type chickens based on dietary amino acid efficiency. <https://doi.org/10.1080/00039420410001667520>

LELLIS, W.A.; BARROWS, F.T.; HARDY, R.W. Effects of phase-feeding dietary phosphorus on survival, growth, and processing characteristics of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, v.242, p.607-616, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.016>

LIN, Y.; GAO, Z.; ZHAN, A. Introduction, and use of non-native species for aquaculture in China: status, risks, and management solutions. **Reviews in Aquaculture**, v. 5, p. 1-31, 2013. <https://doi.org/10.1111/raq.12052>.

LOVELL, R.T. Nutrition and feeding of fish. 2.ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4909-3>

LUPATSCH, INGRID; KISSIL, GEORGE WM; SKLAN, DAVID. Comparison of energy and protein efficiency among three fish species gilthead sea bream (*Sparus aurata*), European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and white grouper (*Epinephelus aeneus*): energy expenditure for protein and lipid deposition, *Aquaculture*, Volume 225, Issues 1–4, 2003, Pages 175-189, ISSN 0044-8486, [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00288-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00288-6)

MARCOULI, P.A.; ALEXIS, M.N.; ANDRIOPOULOU, A. Dietary lysine requirement of juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* L. *Aquaculture Nutrition* v.12, p.25–33, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00378.x>

Mansano, Cleber F.M., Da Silva, Edney P., Khan, Kifayat U., Macente, Beatrice I., Nascimento, Thiago M.T., Sakomura, Nilva K., and Fernandes, João B.K. "Digestible protein requirements for maintenance, growth, and efficiency of protein utilization in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles: an exponential nitrogen utilization model." *Aquaculture Nutrition*, vol. 49, no. 4, pp. 1369-1378, 2021. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.01062.x>

MOUGHAN, P.J.; FULLER, M.F. Modelling amino acid metabolism and the estimation of amino acid requirements. In: D'Mello JPF (ed.). **Amino acid in animal nutrition**. Wallingford CABI Publishing, 2003. p.187-203.

Muñoz-Ramírez, A. P., & Carneiro, D. J. (2008). Suplementação de lisina e metionina em dietas com baixo nível protéico para o crescimento inicial do pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 24, 909-916. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v24i0.2343>

NRC 2011 - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13039>.

NOGUEIRA, GABRIELE DOS SANTOS; BEZERRA, GILDETE DE SOUZA; **Piana, Pitágoras Augusto**. Tratamento de efluente de aquicultura com macrófitas flutuantes: revisão sistêmica e metanálise. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 11, p. e36811426533, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.26533>

OVIE, S.O.; EZE, S.S. Lysine Requirement and its Effect on the Body Composition of *Oreochromis niloticus* Fingerlings. **Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 8, p. 94-100, 2013. <https://doi.org/10.3923/jfas.2013.94.100>

OWENS, F. N.; PETTIGREW, J. E., Subdividing amino acid requirements into portions for maintenance and growth. In: Absorption and Utilization of Amino Acids. Ed. Friedman, M., Boca Raton: CRC Press, p. 15-30, 1989 - Book. <https://doi.org/10.1201/9780429487514>

PERES, H., & OLIVA-TELES, A. (2009). The optimum dietary essential amino acid profile for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture*, 296, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.046>.

PESCA E AQUICULTURA. Palmas: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/>. Acesso em: setembro. 2022.

PEZZATO, L. E. et al. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo. Ed. Tecart, 2004. 79 p.

Pereira, MdM, Nagata, MM, Enes, P, Oliva-Teles, A, Urbinati, EC, Takahashi, LS. Growth performance and metabolic responses to dietary protein/carbohydrate ratios in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles. *Aquac Res.* 2020; 51: 5203– 5211. <https://doi.org/10.1111/are.14859>.

PORTZ, L., & FURUYA, W. M. (2012). Energia, Proteína e Aminoácidos. In: FRACALOSS, D. M., & CYRINO, J. E. P., editors. Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p. 65-77.

RAFAEL DE SOUZA ROMANELI, THIAGO MATIAS TORRES DO NASCIMENTO, ROBERT MERVYN GOUS, MATHEUS DE PAULA REIS, CLEBER FERNANDO MENEGASSO MANSANO, KIFAYAT ULLAH KHAN, NILVA KAZUE SAKOMURA, JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to lysine: Performance, body composition, maintenance and efficiency of utilization - *Aquaculture*, Volume 538, 2021, 736522, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736522>.

RAGNAR L. OLSEN, MOHAMMAD R. HASAN, A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 27, Issue 2, 2012, Pages 120-128, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>

ROLLIN, X., MAMBRINI, M., ABOUDI, T., LARONDELLE, Y., & KAUSHIK, S. J. (2003). The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic

salmon (*Salmo salar* L.) fry. British Journal of Nutrition, 90, 865-876.
<https://doi.org/10.1079/BJN2003973>.

SAKOMURA, N. K.; COON, C. Amino acid requirements for maintenance of broiler breeder pullets. In: European Symposium on Poultry Nutrition, Lillehammer, v. 14, p. 280-281, 2003.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, p. 283, 2007.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2016, 262 p.

SAGAR, AWLAD. (2016). Profitability Analysis of Fish Farming: A Study on Trishal Upazilla in Mymensingh District.

STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K. D.; BAEVERFJORD, G.; NIELSEN, B. G.; ÅSGÅRD, T.; SCOTT, T.; LAPORTE, A. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. **Aquaculture**, v. 184, n. 1–2, p. 115-132, 2000.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00316-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00316-6).

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, no.11, p.2099- 2105, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-3598200900110000>

THILSTED, SHAKUNTALA HARAKSINGH; THORNE-LYMAN, ANDREW; WEBB, PATRICK; BOGARD JESSICA ROSE; ROHANA, SUBASINGHE, PHILLIPS, MICHAEL JOHN; ALLISON, EDWARD HUGH. Sustaining healthy diets: The role of capture fisheries and aquaculture for improving nutrition in the post-2015 era, Food Policy, Volume 61, 2016, Pages 126-131, ISSN 0306-9192,
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.02.005>.

TRUNG, D.V.; DIU, N.T.; GLENCROSS, B. Development of a nutritional model to define the energy and protein requirements of tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 320, p. 69-75, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.029>

USYDUS ZYGMUNT, JOANNA SZLINDER-RICHERT, MARIA ADAMCZYK. Protein quality and amino acid profiles of fish products available in Poland, Food Chemistry, Volume 112, Issue 1, 2009, Pages 139-145, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.050>

Valenti, W.C., 2002. Aquicultura sustentável. In: Congresso de Zootecnia, 12º, Vila Real, Portugal, Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos. Disponível em: https://www.caunesp.unesp.br/Home/publicacoes/cpil_valenti_aquicultura-sustentavel.pdf

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

WILSON, R. P. Amino acids and proteins. (Ed.) Fish Nutrition. Academic Press. Amsterdam, AM, The Netherlands, 2002. p.143-179.

WILKIE, MICHAEL P. (2002). Ammonia excretion and urea handling by fish gills: Present understanding and future research challenges. The Journal of experimental zoology. 293. 284-301. 10.1002/jez.10123. <https://doi.org/10.1002/jez.10123>

KOTZAMANIS, YANNIS; FAWOLE, F. J., BREZAS, A., KUMAR, V., FONTANILLAS, R., ANTONOPOULOU, E., KOUROUPAKIS, E., & ILIA, E. V. (2021). Dietary lysine requirement of greater amberjack juvenile (*Seriola dumerili*, Risso, 1810). Aquaculture Nutrition, 27, 2107– 2118. <https://doi.org/10.1111/anu.13344>

MATERIAIS E MÉTODOS

Local do experimento e Comitê de Ética

Os experimentos foram realizados no Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista (CAUNESP), localizado na cidade de Jaboticabal, Brasil (coordenadas 21°15'17" S 48°19'20" W). Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética e Uso Animal (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (UNESP), de acordo com o protocolo nº 4940/20.

Instalações e Análise da Água

Para ambos os ensaios foi utilizado o mesmo sistema de recirculação fechado contendo 24 caixas com capacidade de 1.000 litros, equipado com filtro mecânico e biológico, trocador de calor programado para manter a temperatura em 28°C, aeração provida por compressor radial com monitoramento em tempo real.

Semanalmente foi realizada a análise dos parâmetros físico-químicos da água dos ensaios da fase de crescimento e terminação foram respectivamente, pH $8,27 \pm 0,33$; $8,13 \pm 0,12$, amônia total $0,0028 \pm 0,0010$; $0,0044 \pm 0,0027$ mg/L⁻¹ e nitrito $0,0035 \pm 0,0008$; $0,0061 \pm 0,0017$ mg/L⁻¹. O oxigênio dissolvido $6,12 \pm 1,8$; $5,75 \pm 1,22$ mg/L⁻¹ e temperatura $27,7 \pm 2,5$; $26,3 \pm 5,1$ °C, foram determinados diariamente. O pH e oxigênio dissolvido da água foram mensurados por intermédio de sondas, para a temperatura foi utilizado um termômetro de bulbo de mercúrio. As concentrações de amônia total e nitrito foram determinadas pelo método colorimétrico, de acordo com o método de GOLTERMAN et al. (1978).

Aquisição dos peixes e Delineamento

Os peixes utilizados na fase de crescimento foram obtidos no Centro de Aquicultura da Unesp - CAUNESP, enquanto os peixes da fase de terminação foram adquiridos de uma fazenda comercial. Depois de uma aclimação de 7 dias para a fase de crescimento e 30 dias para a fase de terminação, os peixes foram pesados individualmente para padronizar o peso e distribuí-los nas unidades

experimentais. Na fase de crescimento, foram utilizados 120 peixes com peso inicial médio de $184,24 \pm 0,40$ g, enquanto na fase de terminação, foram utilizados 120 peixes com peso médio de $854,68 \pm 17,38$ g. Em ambos os ensaios, a densidade foi de seis peixes por unidade experimental. A frequência de alimentação foi de quatro vezes ao dia (09:00, 12:00, 14:00 e 17:00) até que os peixes aparentassem estar saciados.

O estudo foi realizado em um delineamento experimental totalmente ao acaso, com cinco níveis de lisina, sendo 0,70; 1,32; 1,74; 2,17 e 2,59% de lisina dietética e quatro réplicas. O período de crescimento teve duração de 80 dias, enquanto o período de terminação foi de 91 dias.

Dietas experimentais

As dietas experimentais foram formuladas de acordo com as exigências nutricionais do pacu descritas por Fernandes et al. (2000, 2001), Abimorad & Carneiro (2004, 2007) e Abimorad et al. (2008), bem como por Khan et al. (2019a). Duas dietas foram preparadas: uma concentrada em lisina e outra isenta de lisina, que foi utilizada como diluente (Tabela 1). A dieta concentrada foi formulada de maneira a garantir que a quantidade de aminoácidos essenciais fosse superior a 1,5% das necessidades, exceto para a lisina, que foi de 1,2% das necessidades, resultando em uma deficiência relativa de lisina. As diluições sequenciais da dieta concentrada com a isenta foram realizadas de acordo com as proporções descritas na Tabela 2, conforme proposto por Fisher & Morris (1970) e adotadas por Romanelli et al. (2021). A composição nutricional dessas dietas é expressa na Tabela 2.

Após misturar os ingredientes, as dietas foram trituradas em um moinho laminado com malha de 0,5 mm, umedecidas com água até atingir 17% do seu peso, peletizadas em um moinho de carne e secas em estufa a 55°C por 24 horas. Em seguida, elas foram armazenadas em câmara fria (-20°C). Os ingredientes utilizados para confecção das dietas foram previamente analisados para determinação da composição química de acordo com os métodos descritos na AOAC (2019)

Tabela 1. Composição alimentar e química da dieta isenta e concentrada em lisina

Ingredientes	Dietas	
	Isenta em lisina	Concentrada em lisina
Farinha de peixe	0,00	23,00
Glúten de milho	0,00	4,25
Farelo de soja	0,00	13,00
Farelo de Milho	0,00	36,00
Quirera de Arroz	0,00	15,00
Amido de milho	64,75	0,26
Celulose purificada	3,15	0,00
Açúcar	10,56	0,00
Óleo de Soja	16,00	3,00
L-Arginina	0,00	0,58
L-Fenilalanina	0,00	0,07
L-Histidina	0,00	0,13
L-Isoleucina	0,00	0,39
L-Lisina•HCl	0,00	1,06
DL-Metionina	0,00	0,21
L-Treonina	0,00	0,43
L-Triptofano	0,00	0,00
L-Valina	0,00	0,32
Fosfato bicálcico	1,19	0,95
Calcário	3,00	0,00
Antifúngico	0,30	0,30
Antioxidante (BHT)	0,05	0,05
Sal comum	0,50	0,50
Suplemento vitamínico mineral ¹	0,50	0,50
TOTAL	100,00	100,00
Composição química		
Proteína Bruta (%)	0,03	29,44
Proteína Digestível (%)	0,02	26,28
Energia Bruta (kcal)	4.366	4.146
Energia Digestível (kcal)	3.400	3.400
Fibra Bruta (%)	2,46	2,46
Cálcio (%)	1,18	1,35
Fósforo Disponível (%)	0,22	0,70
Arginina digestível (%)	0,00	2,63
Fenilalanina digestível (%)	0,00	1,38
Histidina digestível (%)	0,00	0,69
Isoleucina digestível (%)	0,00	1,54
Leucina digestível (%)	0,00	2,29
Lisina digestível (%)	0,00	1,96
Metionina	0,00	0,73
Treonina digestível (%)	0,00	1,46
Triptofano digestível (%)	0,00	0,18
Valina digestível (%)	0,00	0,48

¹Premix vitamínico e mineral - Vitamina A: 860.000 UI/kg, Vitamina D3: 240.000 UI/kg, Vitamina E: 10.500 UI/kg, Vitamina K3: 1400 mg/kg, Vitamina B1: 2100 mg/kg, Vitamina B2: 2.150 mg/kg, Vitamina B6: 2100 mg/kg, Vitamina B12: 2200 mg/kg, Vitamina C: 25000 mg/kg, Biotina: 17mg/kg, Niacina: 10000 mg/kg, Pantotenato de cálcio 5600 mg/kg, Ácido fólico: 580 mg/kg, Cloreto de colina: 60000 mg/kg, Inositol: 3750 mg/kg, Cobre: 1800 mg/kg, Manganês: 5000 mg/kg, Zinco 8.000 mg/kg, Iôdo: 90 mg/kg, Selênio: 36 mg/kg, Cobalto: 55 mg/kg.

Para os dois experimentos, uma dieta de contraprova foi fornecida. Ela continha a mesma proporção e diluição aplicada ao primeiro nível da dieta mais isenta em lisina (0,70%) e incluía 0,31% de L-Lisina•HCl em sua formulação. Posteriormente, 0,41% de lisina HCl foi adicionado, resultando em uma inclusão total de 0,72% para que fornecesse o nível de lisina dietética de (0,95%). Esta dieta adicional não foi considerada como tratamento, servindo apenas para validar que a lisina foi o fator limitante para o crescimento dos peixes.

Tabela 2 – Percentual da proporção das diluições, composição química e aminograma total das dietas experimentais

		Diluição				
Níveis de lisina (%)	Isenta	0,70	1,32	1,74	2,17	2,59
Isenta em lisina	100,00	72,973	49,035	32,819	16,216	0,00
Concentrada em lisina	0,00	27,027	50,965	67,181	83,784	100,00
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
		Níveis de lisina (%)				
Composição química analisada	0,70	1,32	1,74	2,17	2,59	0,95*
Matéria seca (%)	88,03	87,17	86,72	87,55	89,44	86,48
Proteína bruta (%)	10,14	17,04	20,94	25,42	31,17	10,72
Energia bruta (kcal)	4253	4260	4221	4175	4295	4284
Relação EB:PB	42,24	25,00	20,15	16,42	13,77	39,67
Lípídeo (%)	12,19	10,87	9,54	8,22	6,90	12,19
Cinzas (%)	11,97	12,83	13,28	12,45	10,56	12,03
Aminoácidos essenciais e não essenciais						
Ácido Aspártico (%)	0,93	1,36	1,80	2,23	2,67	0,93
Ácido Glutâmico (%)	1,63	2,39	3,16	3,92	4,69	1,63
Alanina (%)	0,69	1,02	1,35	1,67	2,00	0,69
Arginina (%)	0,79	1,34	1,77	2,20	2,63	0,79
Cistina (%)	0,14	0,21	0,28	0,34	0,41	0,14
Fenilalanina (%)	0,25	0,70	0,93	1,15	1,38	0,25
Glicina (%)	0,87	1,29	1,70	2,11	2,52	0,87
Hidroxiprolina (%)	0,24	0,35	0,46	0,57	0,68	0,24
Histidina (%)	0,51	0,35	0,46	0,58	0,69	0,51
Isoleucina (%)	0,57	0,79	1,04	1,29	1,54	0,57
Leucina (%)	0,24	1,17	1,54	1,92	2,29	0,24
Lisina (%)	0,70	1,32	1,74	2,17	2,59	0,95
Metionina (%)	0,53	0,37	0,49	0,61	0,73	0,53
Prolina (%)	0,69	1,35	1,67	1,67	0,69	0,69
Serina (%)	0,46	0,68	0,90	1,11	1,33	0,46
Taurina (%)	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,03
Tirosina (%)	0,32	0,47	0,62	0,77	0,92	0,32
Treonina (%)	0,91	0,74	0,98	1,22	1,46	0,91
Triptofano (%)	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,06
Valina (%)	0,57	0,84	1,11	1,38	0,48	0,57
Triptofano (%)	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,06
Serina (%)	0,46	0,90	1,11	1,11	0,46	0,46

* Dieta contraprova (0,70%) + 0,31% de L Lisina HCl, 78,4%.

Coleta de amostras e análises químicas

No início de cada ensaio experimental, os peixes foram submetidos a um jejum de 24 horas e, em seguida, anestesiados com uma solução de benzocaína (éster etílico do ácido 4-aminobenzóico; Sigma-Aldrich, Brasil) a 60 mg/L. Eles foram pesados individualmente com cuidado para obter o peso médio inicial e, em seguida, seis peixes de mesmo peso médio inicial foram amostrados para análise da composição corporal.

Ao término de cada ensaio, os peixes passaram por um jejum de 24 horas e, em seguida, foram profundamente anestesiados com uma overdose de benzocaína de 200 mg/L, conforme descrito por Abimorad et al. (2010). Seis peixes por réplica foram pesados individualmente, sendo que três foram amostrados para determinar o rendimento de filé e, em seguida, dissecados para obter índices somáticos. Os outros três de cada unidade experimental foram coletados no final do experimento e armazenados a -20°C para processamento posterior. Em seguida, foram submetidos a uma serra fita de bancada para obter menores partículas e, assim, facilitar o uso de um moedor de carne industrial. As amostras foram homogeneizadas, pesadas e congeladas em um ultra freezer a -80°C para pré-secagem. As amostras foram pré-secas por liofilização durante 72 horas a -80°C e -10 ATM (Edwards Super Modulo, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA), em seguida, pesadas e moídas em um moinho de bola.

As análises químicas das dietas e corpo dos peixes foram determinadas de acordo com os métodos padrão da AOAC (2019). O lipídio corporal total foi determinado por extração com éter de petróleo em extrator de gordura (Ankon technology®, Macedon, NY) (método 920.39) e em dietas pela técnica de hidrólise ácida. O nitrogênio corporal foi determinado pelo método Kjeldahl (método 955.04) a partir das amostras desengorduradas. A umidade foi determinada por secagem em estufa das amostras a 105 °C por 16h ou até peso constante (método 920,39). As cinzas foram determinadas por combustão em forno mufla a 550°C (método 942.05). O perfil de aminoácidos das dietas e corpo inteiro dos peixes foi determinado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), e o teor de triptofano foi determinado após hidroxilação alcalina da amostra com hidróxido de lítio, por um Laboratório prestador de serviços de análises de controle de qualidade (CBO – Valinhos - SP, Brasil).

Índices de Desempenho

Foram mensurados peso inicial (g), peso final (g), ganho de peso (g), consumo de ração (g), conversão alimentar aparente (g:g), consumo de lisina digestível (g), ganho de proteína corporal (g), taxa de eficiência alimentar (%), taxa de eficiência proteica (%), taxa de crescimento específico (%), índice víscero somático (%), índice hepatossomático (%), índice gordurossomático (%), rendimento de filé (%) e sobrevivência (%) de todos os peixes de cada réplica experimental, de acordo com as fórmulas em anexo:

Requisitos basais e eficiência da utilização de lisina

A exigência basal de lisina foi estimada pelo modelo monomolecular (Kuhi et al., 2010), considerando o ganho de lisina em $\text{mg kg}^{-0,8} \cdot \text{dia}^{-1}$ (variável dependente) e consumo de lisina $\text{mg kg}^{-0,8} \cdot \text{dia}^{-1}$ (variável independente), como segue a equação:

$$L = L_{\max} * (1 - e^{-(k * (x - m))})$$

Onde, (L) é a deposição de lisina, ($L_{\max}$) é a deposição máxima de lisina no corpo ($\text{mg/kg}^{-0,8} \cdot \text{dia}^{-1}$), (k) é a eficiência de utilização, (x) é o consumo de lisina ($\text{mg kg}^{-0,8} \cdot \text{dia}^{-1}$) e (m) é a lisina basal ingerida.

A eficiência de utilização da lisina (EULis) foi determinada pelo modelo linear, utilizando a seguinte equação: $EULis = L + U \times (R - X_{adj})$. Sendo, L o ponto de interrupção do eixo y, o R como ponto de interrupção do eixo x, U representa a inclinação da reta ajustada, e X_{adj} é o valor ajustado de lisina digestível ingerida para atividade basais, calculado como $X_{adj} = (m - LI) \times \text{peso corporal}^{0,8}$. Desse modo a EULis foi obtida pela relação $klisina = (L/R) \times 100$.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados obtidos neste estudo foram analisados por One-Way ANOVA usando o procedimento GLM a 5% de probabilidade. Os níveis de lisina quando significativos foram submetidos a interpretação de equações polinomial para se obter a exigência e a comparação entre a dieta contraprova com a dieta de menor nível de lisina dietética foi realizada utilizando o teste de Dunnett. O ganho de peso corporal (g) e proteína (g) foram corrigidos com base na ingestão de lisina digestível (mg) usando o método NLMIXED. O teste de correlação de Pearson foi empregado com o propósito de avaliar a possível relação entre a deposição de material mineral e os níveis de lisina ingeridos. Um teste t foi realizado com base nos valores médios do parâmetro U (eficiência de utilização de lisina) para avaliar se a eficiência de utilização de lisina (hipótese nula) era igual entre as duas fases da vida do pacu. O mesmo método foi aplicado ao parâmetro 'm' (ingestão de lisina na manutenção) para comparar os coeficientes e as exigências basais estimadas entre as fases. Todos os parâmetros calculados foram realizados pelo programa estatístico em nuvem SAS OnDemand.

RESULTADOS

Desempenho nas fases de crescimento e terminação

A diluição entre as dietas isenta e concentrada em lisina proporcionou o aumento gradativo da lisina entre as dietas experimentais, tornando possível observar que em ambas as fases do estudo, os peixes responderam aos níveis de lisina. Também foi observado que os peixes que receberam a ração contraprova mostraram melhores resultados ($P < 0,05$) no desempenho de crescimento em comparação com aqueles alimentados com dietas contendo o menor nível de lisina. Isso sugere que a lisina desempenhou o papel de primeiro aminoácido limitante em algumas das dietas experimentais, como será abordado na seção de discussão deste estudo.

Na fase de crescimento, os peixes alimentados com as duas dietas com 0,70% e 1,32% de lisina reduziram o consumo em até 83% quando comparado com o maior nível (2,59%), enquanto os peixes na fase de terminação, ao menor nível 0,70% de lisina, reduziram 69%. Para as fases de crescimento e terminação, observaram-se diminuição da CAA conforme o aumento da inclusão de lisina nas dietas (Tabela 3 e 4), ou seja, os melhores resultados, na fase de crescimento, foi 1,32% e, na fase de terminação, foram os níveis 1,74, 2,17 e 2,59%

O peso final e ganho de peso (Tabela 3) foram significativos ($P < 0,05$) entre os níveis de lisina avaliados para as duas fases em estudo. Observou-se uma perda de peso para os peixes alimentados com o menor nível de lisina para as duas fases. Conforme o aumento da inclusão da lisina na dieta o ganho de peso aumentou em ambas as fases, apresentando os melhores ganhos ($P < 0,05$) para os peixes alimentados com 2,17% de lisina, onde apresentaram ganho de peso de 342,93g na fase de crescimento e 212,35g na fase de terminação, evidenciando um ganho de peso de 190,95% e 171,78%, respectivamente, maior em relação aos peixes que ingeriram a dieta com o menor nível de lisina (0,70%), onde o consumo diário de lisina foi de 9,45 mg/peixe na fase de crescimento e 6,91 mg/peixe na fase de terminação. Portanto, nos níveis mais baixos de lisina (0,70%), foi observado que a lisina foi insuficiente para atender às necessidades básicas, resultando em um impacto negativo no desempenho dos peixes.

Isto pode justificar a redução no ganho de proteína ($P<0,05$) para o menor nível de lisina, dietética ingerida pelos peixes em ambas as fases avaliadas. Esta perca proteica representa uma redução de 113,84% e 158,46%, em relação aos peixes que consumiram 204,67mg/peixe/dia e 64,01mg/peixe/dia de lisina, nas fases de crescimento e terminação respectivamente.

A taxa de eficiência alimentar (Tabela 4) e a taxa de eficiência proteica (Tabela 5) diminuiram ($P<0,05$) nos dois ensaios experimentais quando os peixes ingeriram a dieta com nível de 0,70% de lisina. Na fase de crescimento foi observado que os peixes que receberam dietas com o nível 1,74% de lisina apresentaram as maiores taxas de eficiência alimentar e eficiência proteica ($P<0,05$), enquanto na fase de terminação as melhores taxas foram observadas quando os peixes receberam a dieta com nível de 2,17% de lisina.

O consumo reduzido de lisina de 9,45mg/peixe/dia promovido pela dieta com nível de 0,70% de lisina, reduziu a taxa de crescimento específico ($P<0,05$). Entretanto, esta taxa aumentou conforme os níveis crescentes de lisina entre os tratamentos, sendo maior para os peixes que consumiram 204,67 mg/peixe de lisina ao dia na fase de crescimento e 59,92 mg/peixe ao dia na fase de terminação (tabela 4).

Não houve diferença significativa para o índice víscero somático, índice hepatossomático e a sobrevivência à medida que se elevou os níveis de lisina dietética nos dois ensaios experimentais. Com relação ao índice somático para a gordura visceral, este diferiu ($P<0,05$) entre os tratamentos apenas na fase de crescimento, onde nos níveis de 0,70; 1,32 e 1,74% houve maiores deposições de gordura visceral, e reduziu com a ingestão das dietas com níveis 2,17% e 2,59% de lisina (Tabela 6).

Os valores de rendimento de filé (Tabela 6), apresentaram diferenças apenas na fase de crescimento ($P<0,05$), onde observou-se que o consumo de 168,71mg e 204,67mg de lisina/peixe proporcionaram os maiores ganhos.

Tabela 3 - Desempenho de pacus alimentados com dietas contendo níveis crescente de lisina na fase de crescimento e terminação

Nível de lisina (%)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Ganho de peso (g)	Consumo de ração (g)
<i>Fase de Crescimento</i>				
0,70 ¹	184,11±0,33	153,08±2,94 ^E	-31,02±2,71 ^F	135,00±11,93 ^C
1,32	183,98±0,13	215,63±8,82 ^D	30,56±7,59 ^D	125,93±25,21 ^C
1,74	184,30±0,42	286,65±4,36 ^C	107,53±7,22 ^C	224,88±22,69 ^B
2,17	184,31±0,44	445,92±4,70 ^B	342,93±3,18 ^A	780,09±9,49 ^A
2,59	184,50±0,45	486,67±5,38 ^A	280,03±3,93 ^B	766,69±20,51 ^A
Dunnet ¹	---	---	<0,0042	---
Regressão	0,5817	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>Fase de Terminação</i>				
0,70 ¹	852,43±15,53	792,63±15,49 ^D	-59,81±25,04 ^D	101,61±8,87 ^C
1,32	854,50±11,04	912,78±20,65 ^C	52,20±15,25 ^C	327,05±16,68 ^B
1,74	859,08±9,34	973,74±11,13 ^B	114,65±15,49 ^B	376,96±26,44 ^A
2,17	858,61±11,67	1052,93±15,75 ^A	212,35±19,05 ^A	365,39±16,68 ^{AB}
2,59	846,16±8,73	1011,50±12,51 ^{AB}	165,34±10,42 ^{AB}	326,60±8,73 ^B
Dunnet ¹	---	---	<0,0001	---
Regressão	0,7597	<0,0001	<0,0001	<0,0001

¹ O teste de Dunnett foi aplicado apenas para comparar a Dieta Isenta (0,70%) com a dieta contraprova (0,95%);

Tabela 4 - Desempenho de pacus alimentados com dietas contendo níveis crescente de lisina na fase de crescimento e terminação

Nível de lisina (%)	Conversão alimentar (g:g)	Consumo de Lisina (g)	Ganho de proteína (g)	Taxa de eficiência alimentar (%)
<i>Fase de Crescimento</i>				
0,70 ¹	-4,12±0,32 ^C	9,45±0,84 ^D	-6,63±0,56 ^F	-0,24±0,02 ^D
1,32	4,08±0,37 ^B	16,62±3,33 ^D	3,35±0,98 ^D	0,25±0,02 ^C
1,74	2,10±0,24 ^A	39,23±3,96 ^C	13,13±1,48 ^C	0,48±0,05 ^A
2,17	2,56±0,15 ^A	168,71±12,97 ^B	37,52±0,80 ^B	0,39±0,02 ^B
2,59	2,52±0,24 ^A	204,67±11,52 ^A	47,89±0,56 ^A	0,40±0,04 ^B
Dunnet ¹	---	---	<0,0122	---
Regressão	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>Fase de Terminação</i>				
0,70 ¹	-1,93±0,61 ^D	6,91±0,60 ^E	-17,11±1,69 ^D	-0,58±0,20 ^C
1,32	3,20±0,88 ^C	32,71±1,67 ^C	7,22±4,16 ^{BC}	0,27±0,12 ^{AB}
1,74	3,34±0,49 ^B	49,76±3,49 ^B	16,05±1,22 ^B	0,31±0,04 ^{AB}
2,17	1,86±0,19 ^A	59,92±2,73 ^A	33,32±3,41 ^A	0,54±0,06 ^A
2,59	1,98±0,10 ^A	64,01±1,71 ^A	41,19±4,99 ^A	0,51±0,03 ^{AB}
Dunnet ¹	---	---	<0,0003	---
Regressão	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

¹ O teste de Dunnett foi aplicado apenas para comparar a Dieta Isenta (0,70%) com a dieta contraprova (0,95%);

Tabela 5 - Desempenho de pacus alimentados com dietas contendo níveis crescente de lisina na fase de crescimento e terminação

Nível de lisina (%)	Taxa de eficiência proteica (%)	Taxa de crescimento específico (%)	Índice viscerossomático (%)	Índice hepatossomático (%)
<i>Fase de Crescimento</i>				
0,70 ¹	-2,39±0,20 ^D	-0,23±0,02 ^F	15,03±0,80	1,92±0,12
1,32	1,64±0,15 ^B	0,20±0,05 ^D	14,57±0,60	1,75±0,10
1,74	2,43±0,26 ^A	0,55±0,02 ^C	15,15±0,44	1,87±0,06
2,17	1,59±0,10 ^B	1,11±0,02 ^B	14,70±0,78	1,84±0,15
2,59	1,36±0,13 ^B	1,22±0,05 ^A	15,24±0,53	1,66±0,17
Dunnet ¹	<0,0001	---	---	---
Regressão	<0,0001	<0,0001	0,5239	0,1179
<i>Fase de Terminação</i>				
0,70	-4,66±1,00 ^B	-0,08±0,03 ^D	9,27±0,50	1,21±0,15
0,95 ¹	2,04±0,62 ^C	0,04±0,03 ^{AB}	9,07±0,36	1,17±0,37
1,32	1,82±0,83 ^A	0,07±0,02 ^C	9,04±0,44	1,30±0,07
1,74	1,54±0,20 ^A	0,14±0,02 ^B	8,91±0,59	1,34±0,07
2,17	2,21±0,23 ^A	0,24±0,03 ^A	8,37±0,33	1,32±0,13
2,59	1,72±0,09 ^A	0,20±0,01 ^{AB}	8,40±0,71	1,22±0,26
Dunnet ¹	<0,0001	---	---	---
Regressão	<0,0001	<0,0001	0,2187	0,6831

¹ O teste de Dunnett foi aplicado ao ganho de peso, ganho de proteína e taxa de eficiência proteica, apenas para comparar a dieta Isenta (0,70%) com a dieta contraprova (0,95%).

Tabela 6 - Desempenho de pacus alimentados com dietas contendo níveis crescente de lisina na fase de crescimento e terminação

Nível de lisina (%)	Índice de gordura visceral (%)	Rendimento de filé (%)	Sobrevivência (%)
<i>Fase de Crescimento</i>			
0,70	4,34±0,31 ^C	45,90±0,64 ^B	100,00±0,00
0,95 ¹	4,43±0,33 ^C	44,99±0,88 ^{BC}	100,00±0,00
1,32	4,10±0,13 ^C	43,17±0,69 ^C	100,00±0,00
1,74	3,67±0,24 ^{BC}	45,40±0,51 ^D	100,00±0,00
2,17	2,97±0,46 ^{AB}	48,76±1,01 ^A	100,00±0,00
2,59	2,77±0,21 ^A	48,83±0,57 ^A	100,00±0,00
Dunnet	---	---	---
Regressão	<0,0001	<0,0001	1
<i>Fase de Terminação</i>			
0,70	3,46±0,82	46,23±1,59	100,00±0,00
0,95 ¹	4,60±0,12	46,62±0,65	100,00±0,00
1,32	5,16±0,95	46,55±0,50	100,00±0,00
1,74	4,89±1,73	47,14±1,11	100,00±0,00
2,17	4,30±0,43	45,94±1,94	100,00±0,00
2,59	4,19±1,26	43,68±1,74	100,00±0,00
Dunnet	---	---	---
Regressão	0,4705	0,0753	1

¹ Dieta Contraprova;

² O teste de Dunnett foi aplicado apenas para comparar a Dieta Isenta (0,70%) com a dieta contraprova (0,95%);

Tabela 7 - Equação de regressão da característica de desempenho em função dos níveis de lisina na ração de pacus em fase de crescimento e terminação

Variável	Equação	R ²	Estimado
<i>Fase de Crescimento</i>			
Peso final (g)	$y = -3,2923 + 186,22x$	0,92	-
Ganho de peso (g)	$y = -191,49 + 192,83x$	0,84	-
Consumo de ração (g peixe ⁻¹)	$y = -251,17 + 370,87x$	0,80	-
<i>Conversão alimentar aparente (g:g)</i>	$y = -13,589 + 17,676x - 4,5296x^2$	0,81	1,99
Consumo de Lisina (mg peixe ⁻¹ dia ⁻¹)	$y = -105,93 + 113,64x$	0,81	-
<i>Ganho de proteína corporal</i>	$y = -31,284 + 28,924x$	0,92	-
<i>Taxa de eficiência alimentar (%)</i>	$y = -1,1361 + 1,5403x - 0,3697x^2$	0,95	2,08
Taxa de eficiência proteica (%)	$y = -9,0371 + 11,887x - 3,0857x^2$	0,94	1,93
Taxa de crescimento específico (%)	$y = -0,8324 + 0,8195x$	0,97	-
Índice gordura visceral (%)	$y = 5,1184 - 0,9082x$	0,94	-
<i>Rendimento de filé (%)</i>	$y = 43,125 + 2,3653x$	0,77	-
<i>Fase de Terminação</i>			
Peso final (g)	$y = 563,72 + 372,98x - 75,501x^2$	0,93	2,47
Ganho de peso (g)	$y = -132,61 + 134,48x$	0,83	-
Consumo de ração(g peixe ⁻¹)	$y = -290,2 + 687,25x - 174,31x^2$	0,96	1,97
Conversão alimentar aparente	$y = -7,79 + 11,245x - 2,9481x^2$	0,85	1,91
Consumo de Lisina (mg peixe ⁻¹ dia ⁻¹)	$y = -10,375 + 30,959x$	0,94	-
Taxa de eficiência alimentar (%)	$y = -1,7397 + 2,0225x - 0,4487x^2$	0,89	2,25
Ganho de proteína corporal	$y = -36,979 + 31,158x$	0,96	-
Taxa de eficiência proteica (%)	$y = -11,882 + 14,23x - 3,5076x^2$	0,90	2,03
Taxa de crescimento específico (%)	$y = -0,3578 + 0,4487x - 0,088x^2$	0,92	2,55

Composição química corporal

Nos dois ensaios, observou-se um aumento ($P < 0,05$) nos valores da umidade, da proteína bruta e da matéria mineral sob o efeito de níveis crescentes de lisina. Isso indica que o aumento na umidade, na proteína bruta e na matéria mineral corporal foi uma resposta ao consumo crescente de lisina diário, a partir do momento em que o nível de lisina consumido ultrapassou o menor nível (0,70%).

O nível de lipídeo corporal aumentou ($P < 0,05$) de forma inversamente proporcional à deposição de umidade, proteína bruta e matéria mineral no corpo dos peixes que ingeriram dietas com menor nível de lisina. Isso indica que a lisina mínima necessária para manter o desempenho não foi atendida. Só a partir do nível de 1,32% de lisina dietética é que os valores começaram a diminuir (tabela 6).

A matéria mineral diminuiu ($P < 0,05$) com a ingestão da lisina entre as dietas apresentando uma correlação de Pearson negativa e forte ($R = -0,78$) em ambos os ensaios.

Tabela. 8 - Composição química do corpo inteiro de pacus alimentados com dietas contendo níveis crescente de lisina na fase de crescimento e terminação

Níveis de Lisina (%)	Umidade	Proteína Bruta	Lípido	Matéria mineral
<i>Fase de Crescimento</i>				
Amostra inicial	64,96±0,43	14,62±0,69	13,61±0,33	2,72±0,14
0,70	59,33±0,57 ^C	13,25±0,27 ^C	20,42±0,79 ^C	4,49±0,26 ^B
1,32	60,86±1,01 ^B	14,04±0,40 ^B	19,13±0,93 ^B	3,78±0,16 ^A
1,74	61,71±0,95 ^{AB}	14,22±0,38 ^{AB}	19,01±0,29 ^B	3,82±0,08 ^A
2,17	62,66±0,71 ^A	14,84±0,57 ^B	15,77±0,60 ^A	3,74±0,16 ^A
2,59	62,16±0,70 ^B	15,19±0,65 ^A	14,78±0,93 ^A	3,40±0,23 ^A
<i>Regressão</i>	<0,0005	<0,0003	<0,0001	<0,0003
<i>Fase de Terminação</i>				
Amostra inicial	63,59±0,01	14,4±0,69	15,32±0,33	3,67±0,14
0,70	57,93±0,83 ^E	13,33±0,58 ^C	20,51±0,96 ^B	5,26±0,35 ^C
1,32	60,64±0,55 ^{DC}	14,02±0,30 ^{BC}	19,09±0,38 ^B	4,22±0,29 ^{AB}
1,74	62,92±0,47 ^B	14,35±0,23 ^{BC}	16,81±0,33 ^A	3,42±0,50 ^{AB}
2,17	65,91±0,47 ^A	15,06±0,47 ^B	15,28±0,33 ^A	2,20±0,50 ^A
2,59	62,13±0,60 ^{BC}	16,24±0,47 ^A	15,65±0,28 ^A	3,08±0,49 ^{AB}
<i>Regressão</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Tabela 9 - Equação de regressão da composição química corporal analisada em função dos níveis de lisina na ração de pacus em fase de crescimento e terminação

Variável	Equação	R ²	Estimado
<i>Fase de Crescimento</i>			
Umidade (%)	$Y = -0,9867x^2 + 4,8855x + 56,309$	0,96	2,46
Proteína Bruta (%)	$Y = 1,0128x + 12,582$	0,98	-
Lípídeo (%)	$Y = -3,1132x + 23,129$	0,90	-
<i>Matéria Mineral (%)</i>	$Y = -0,5278x + 4,7334$	0,91	-
<i>Fase de Terminação</i>			
Umidade (%)	$Y = -3,0739x^2 + 13,051x + 49,842$	0,82	2,12
Proteína Bruta (%)	$Y = 1,4599x + 12,11$	0,94	-
Lípídeo (%)	$Y = -2,9293x + 22,461$	0,91	-
<i>Matéria Mineral (%)</i>	$Y = -1,3833x + 6,0395$	0,90	-

Tabela 10 – Correlação entre teores da matéria mineral corporal e lisina ingerida pelos pacus

Níveis de Lisina (%)	Peso Final (%)	Cinza Final (%)	Proteína final (%)	*Correlação de cinzas (%)
Fase de Crescimento				
0,70	153,08	4,49	13,25	0,34**
1,32	215,63	3,78	14,04	0,27**
1,74	286,65	3,82	14,22	0,27**
2,17	445,92	3,74	14,84	0,25**
2,59	486,67	3,40	15,19	0,22**

*Correlação obtida pela equação: (% cinza final x peso final) ÷ (% proteína final x peso final);

**A correlação entre os teores de matéria mineral corporal e lisina ingerida é significativamente negativa e forte (R = -0, 88; P < 0,05).

Níveis de Lisina (%)	Peso Final (%)	Cinza Final (%)	Proteína final (%)	*Correlação de cinzas (%)
Fase de Terminação				
0,70	792,63	5,26	13,33	0,39**
1,32	912,78	4,22	14,02	0,30**
1,74	973,74	3,42	14,35	0,24**
2,17	1052,93	2,20	15,06	0,15**
2,59	1011,50	3,08	16,24	0,19**

*Correlação obtida pela equação: (% cinza final x peso final) ÷ (% proteína final x peso final);

**A correlação entre os teores de matéria mineral corporal e lisina ingerida é significativamente negativa e forte (R = -0, 78; P < 0,05).

Requisitos basais e eficiência da utilização de lisina

Verificou-se que a necessidade para atender a necessidade basal na fase de crescimento foi de 53,06 mg kg^{-0,8} dia⁻¹ [(ganho de lisina = 156*(1*exp^{(-0,01*(Li-53,06))})], enquanto a fase de terminação foi de 19,38 mg kg^{-0,8} dia⁻¹ [(ganho de lisina = 45,6672(1*exp^{(-0,0156*(Li-19,38))})] Figuras 2 e 3. A diferença entre as exigências de manutenção foi estatisticamente significativa (P<0,0001) para as duas fases, o que significa que na fase de crescimento foi cerca de 2,7 vezes maior que a na fase de terminação.

Quanto à eficiência de utilização da lisina, o modelo linear se ajustou melhor aos dados na fase de crescimento, com uma eficiência de 33,46% [y= 0,33463x + 3,31631; R²=0,94] e na fase de terminação, a eficiência foi de 51,85% [y= 0,51848x - 1,53818; R²=0,94]. A diferença entre as eficiências de utilização da lisina foram estatisticamente significativa (P<0,0001), devido a eficiência de utilização da lisina ter sido cerca de 1,5 vezes maior na terminação do que na fase de crescimento ilustradas nas Figuras 4 e 5.

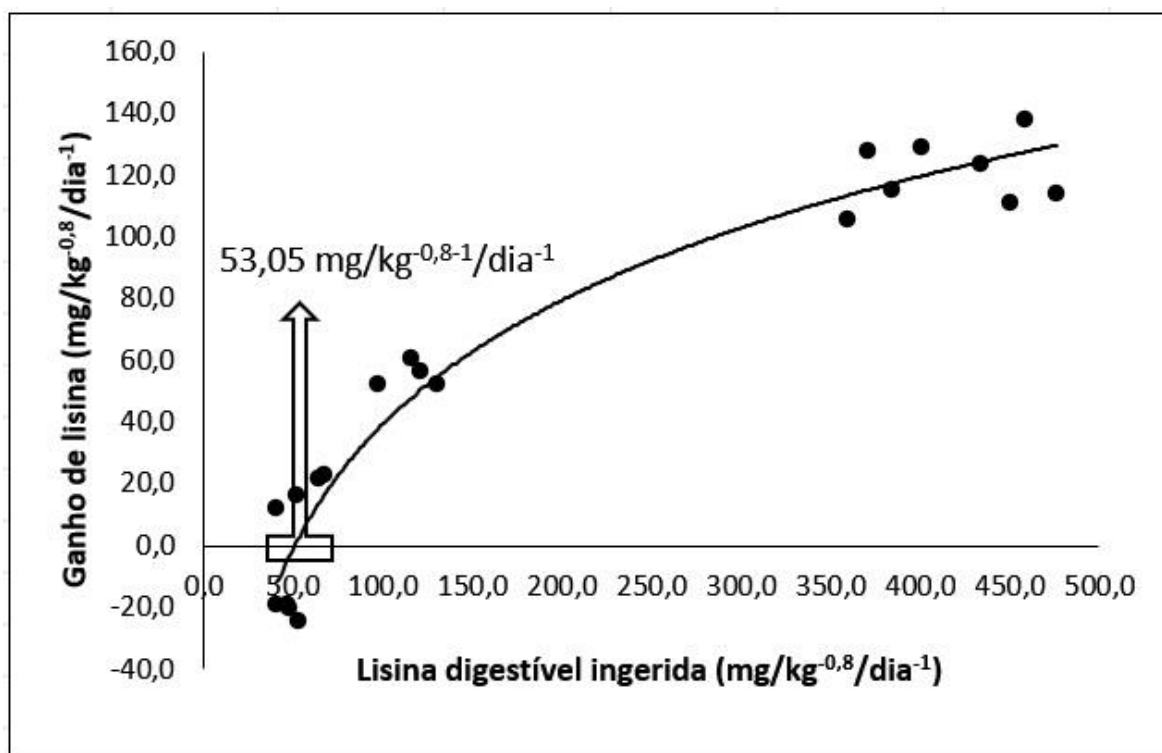


Fig. 2 - Equação exponencial da lisina retida em função da ingerida com estimativa de lisina para manutenção de 22,74 mg/kg-0,8 dia⁻¹ [(ganho de lisina = 156*(1*exp^{(-0,01*(Li-22,74))})] na fase de crescimento

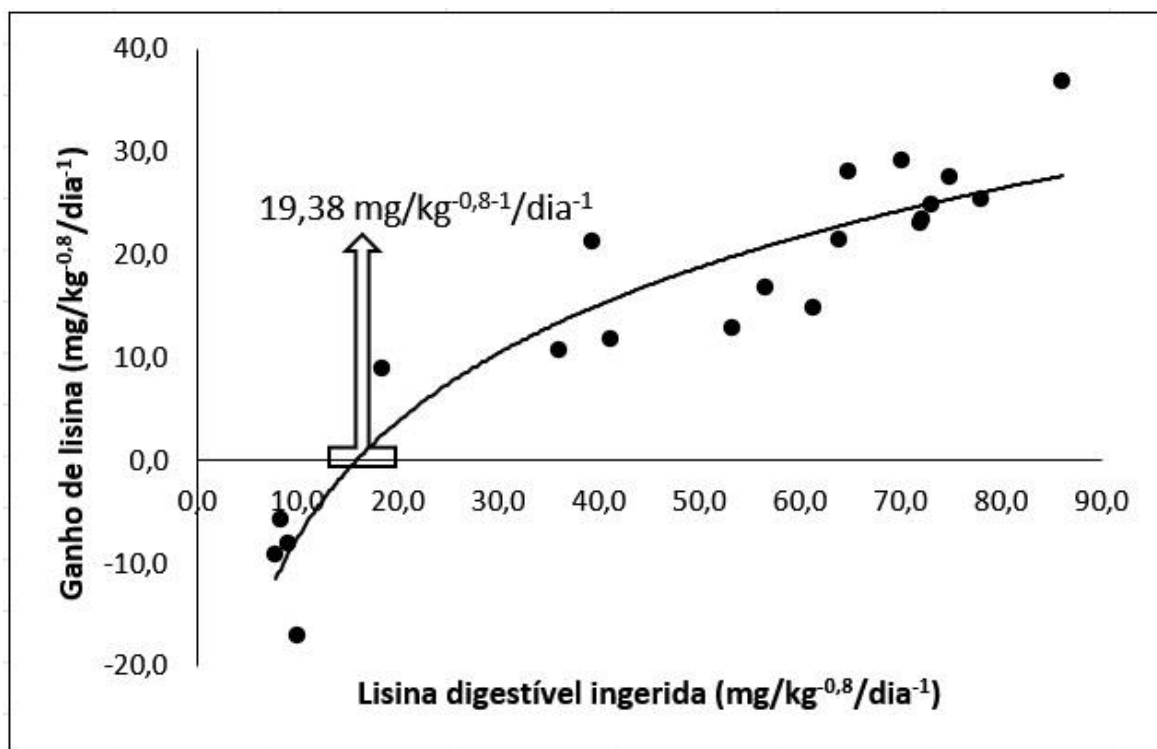


Fig. 3 Equação exponencial da lisina retida em função da ingerida com estimativa de lisina para manutenção de 19,38 mg kg^{-0,8} dia⁻¹ [(ganho de lisina = 45,6672(1*exp(-0,0156^{Li-19,38})))] na fase de terminação

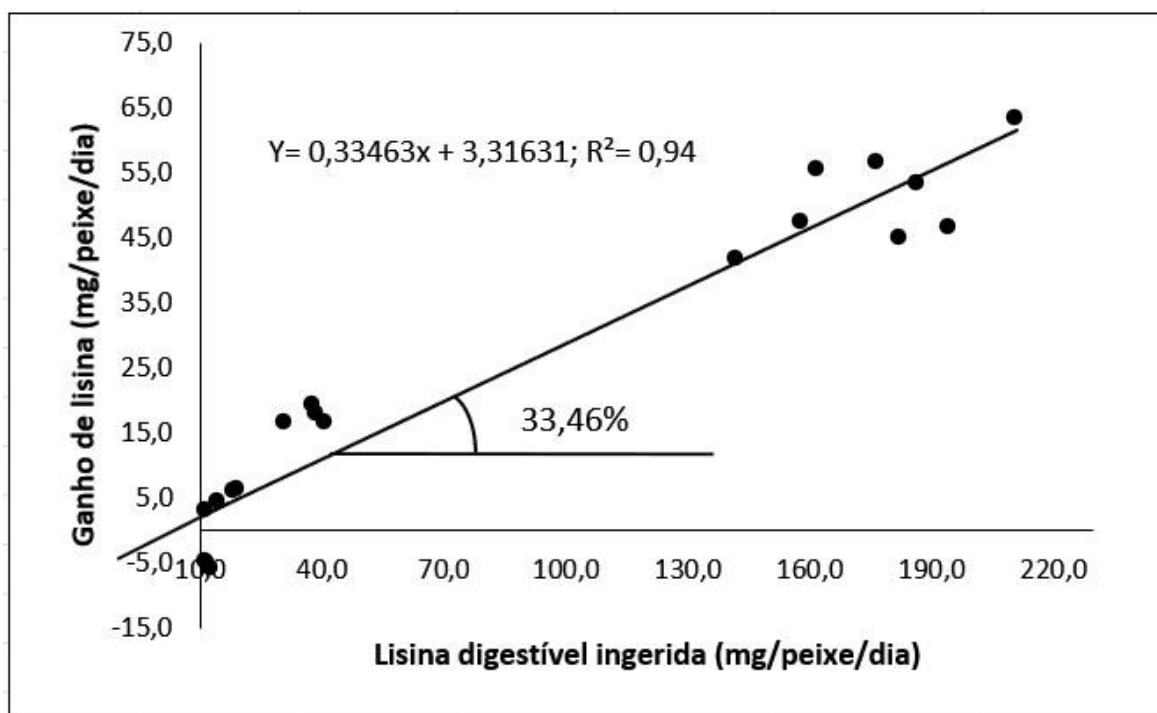


Fig. 4 Regressão linear da deposição de lisina em função do consumo com eficiência de utilização de 33,46%

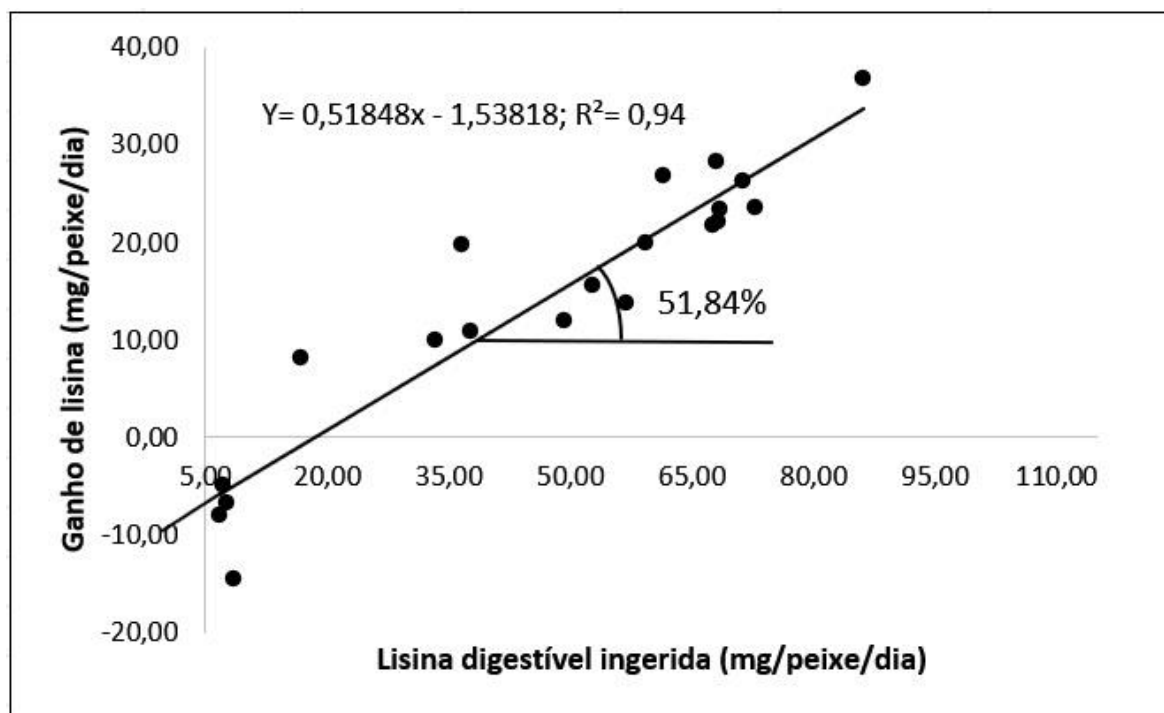


Fig. 5 Regressão linear da deposição de lisina em função do consumo com eficiência de utilização de 51,8%

DISCUSSÃO

Os resultados observados do tratamento contraprovam neste estudo (Tabela 4) confirmaram que a lisina foi limitante, demonstraram um aumento ($P < 0,05$) no ganho de peso, ganho proteína corporal e taxa de eficiência proteica em comparação com a dieta com o menor nível de lisina. Como todas as dietas foram obtidas a partir de diluições sequenciais entre os aminoácidos, possibilita observar que a lisina foi limitante.

As respostas obtidas demonstraram que quando os pacus são alimentados com baixos níveis de lisina ocorrem reduções no desempenho de crescimento. Isto está de acordo com Romaneli et al., (2021) em tilápias. Outros estudos com peixes de água doce que não utilizaram esse método de formulação, como Ahmed et al. (2004) em carpas (*Cirrhinus mrigala*); Abimorad et al. (2010) em juvenis de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) e Wang et al. (2020) em bagres (*Pseudobagrus ussuriensis*) mencionam a redução no ganho de peso, taxa de eficiência alimentar e taxa de crescimento específico, entretanto ocorre o oposto à medida que os níveis de lisina aumentam entre as dietas experimentais. Conforme o NRC (2011) também

é observado perdas no desempenho em diferentes espécies peixes de água salina quando a lisina é limitante em dietas.

O rendimento de filé aumentou durante o período experimental, entretanto apenas na fase de crescimento houve efeito para os níveis de lisina. O menor rendimento 43,17% foram detectados no segundo nível 1,32%, em comparação com o maior nível de lisina que foi 48,83%, este aumento representa 11,59% de ganho, sendo estes valores próximos dos 46,73% observados em pacus de 1,9kg por Faria et al. (2003); Boscolo et al. (2006) e 44,3% em pacus de 1,1kg por (SILVA & HONORATO, 2012).

Embora os pacus apresentem uma anatomia semelhante (corpo redondo), foram observadas variações no rendimento do filé. Essas variações podem ser atribuídas ao peso corporal, tamanho da cabeça, porcentagem de resíduos e/ou habilidade do filetador. De acordo com Michelato et al. (2016), o aumento no consumo de lisina promoveu os melhores ganhos de filé em tilápias com peso de 270 a 570g. Corroborando com Khan et al. (2019a), ao analisar a composição química do corpo inteiro do pacu, que a lisina foi o aminoácido presente em maior proporção. Portanto, podemos inferir que, neste estudo, o aumento do rendimento de filé foi devido à lisina ser metabolizada e destinada à síntese deste tecido.

Neste estudo, o pacu alimentado com baixos níveis de lisina dietética teve valores perda de peso (-31,02 g e -58,26) e perda de proteína corporal (-6,63 e -17,11) na fase de crescimento e terminação respectivamente demonstrando o quanto o consumo reduzido de lisina inviabilizou atender as suas necessidades basais (Tabela 4). A manutenção de um aminoácido limitante pode ser considerada como o equilíbrio do nitrogênio (N), onde a ingestão de N é igual ao N exigido para manter o metabolismo em funcionamento, de tal forma que o N corporal mantenha-se em constância (Sakomura & Coon, 2003; Sakomura & Rostagno, 2007).

Na fase de crescimento, o consumo de ração médio foi de 780,09g/peixe e 766g/peixe, quando os níveis de lisina dietética estavam próximos de 2,17% e 2,59%, apesar do último nível ter reduzido, a resposta ajustou melhor linearmente, enquanto na fase de terminação apesar dos peixes serem maiores o consumo máximo foi de 386,71g/peixe com 1,97% de lisina dietética. Observou-se que, quando houve redução nos níveis de lisina, houve diminuição progressiva no consumo de ração nos outros tratamentos. Este comportamento diverge do que Emmans (1987) mencionou, que os animais tentam aumentar o consumo de

alimentos até atender às suas necessidades de nutrientes limitantes. Além disso, concorda com Ahmed & Khan (2004), que observaram que a deficiência de lisina causou perda de apetite em carpa indiana (*Cirrhinus mrigala*).

O escore de toxicidade dos aminoácidos essenciais (AAE) é um fator que avalia o potencial de desequilíbrio na absorção e utilização de outros aminoácidos (Pires et al., 2006). Não foi avaliado o índice químico de toxicidade da lisina neste estudo, mas observou-se que quando os peixes foram alimentados com as dietas contendo o maior nível de lisina (2,59%), houve redução no desempenho em ambas as fases. Embora o excesso de lisina avaliado aparentemente não esteja em dosagens altamente prejudiciais, talvez o desequilíbrio deste aminoácido tenha potencializado algum efeito antagônico e, por consequência, induzido algum estresse osmótico nos tecidos, interferindo no equilíbrio iônico e na hidratação celular, levando o pacu a gastar mais energia em função do turnover celular.

No entanto, diferentes de outros animais vertebrados, os peixes possuem limitações físicas e ambientais (perdas de nutrientes das dietas por lixiviação no meio aquático) que podem comprometer a ingestão correta do nutriente limitante, outro fator que deve ser evidenciado é que neste trabalho objetivou-se limitar apenas a lisina em relação aos demais aminoácidos, este desequilíbrio pode ter induzido a redução do consumo, uma vez que dietas com baixa proteína geralmente apresentam baixa intensidade de metabolização de nitrogênio, o que reduz a capacidade de catabolizar a fonte desbalanceada de aminoácidos.

O consumo de lisina aumentou de forma linear, com a elevação dos níveis de lisina dietética na ração (Tabela 4). Consequentemente, os efeitos significativos observados nas demais variáveis dependentes em ambas as fases de vida do pacu foram causados em função do aumento de sua concentração de lisina na dieta. Esta variação no consumo de lisina pode estar associada ao fato das dietas terem sido limitantes, uma vez que o nível de proteína e energia da dieta pode limitar o consumo dos peixes (NRC, 2011). Sabendo que as dietas neste estudo foram isoenergéticas, podemos inferir que a lisina reduziu a deposição de nitrogênio para a manutenção e o ganho de peso.

Para a conversão alimentar a resposta foi quadrática em ambos os ensaios em função do percentual de lisina dietética das dietas experimentais, sendo estimado 1,99% para o crescimento e 1,91% na fase de terminação (Tabela 4). Os resultados observados na conversão alimentar foram devidos às variações no ganho de peso,

que não foi possível estimar um consumo máximo na fase de crescimento e terminação. O Valor de lisina estimado neste trabalho é maior do que foi observado em alevinos de tilápias com 5 g por Furuya et al. (2012) 1,64% para melhor conversão alimentar de tilápias, Abimorad et al. (2010) com juvenis de pacus com 8 g e 1,64% para melhor ganho de peso e observado por Marchão et al (2020) de 1,37% para conversão alimentar em alevinos de tambaqui de 22g. Mas ficou próximo dos 1,92% estimado por Sousa et al. (2021) usando a técnica de diluição das dietas para juvenis do híbrido tambatinga (♀*Colossoma macropomum* × ♂*Piaractus brachypomus*).

Muitos pesquisadores observaram melhoria linear na conversão alimentar em função do aumento nos valores de lisina digestível das dietas (Takishita et al., 2009; Gonçalves et al., 2009; Bomfim et al., 2010, Sousa et al. 2021), no entanto estes autores trabalharam com alevinos, sendo necessários mais trabalhos com peixes maiores, haja visto que, o consumo de peixes de categoria de peso abordada neste estudo é limitado, tornando-se crucial a investigação e o conhecimento para o desenvolvimento de dietas futuras mais eficazes.

O teor de lisina nas dietas resultou um comportamento quadrático para a taxas de eficiência alimentar e taxa de eficiência proteica na fase de crescimento e terminação, sendo 2,08%; 2,25% e 1,93%; 2,03% respectivamente. Estes valores são maiores que 1,64% estimado por Abimorad et al (2010) em juvenis de pacu e 1,31% em alevinos de tambaquis encontrado por Marchão et al. (2020).

Entretanto, foram próximos dos 1,92% para taxa de eficiência alimentar dos alevinos de tambatinga, mencionado por Sousa et al. (2021), aos 2,11% para juvenis de amberjack (*Seriola dumerili*) visto por Yannis et al. (2021) e 2,16 e 2,11% de lisina para alevinos de flounder japonês (*Paralichthys oliaceus*) e para o red sea bream (*Pagrus major*), respectivamente, para melhor taxa de eficiência proteica encontrados por Forster & Ogata (1998).

Apesar de ter sido possível determinar um ponto ótimo para eficiência alimentar e eficiência proteica, não foi possível determinar o máximo para ganho de proteína corporal na fase de crescimento e terminação, tendo em vista que o ganho proteico seguiu crescente ao consumo de lisina dietética.

A taxa de crescimento específico apresentou comportamento linear na fase de crescimento, mas na fase de terminação apresentou comportamento quadrático com um máximo de 2,55%. Esse valor é maior do que os 2,22% encontrados por

Ahmed et al. (2004) em carpa indiana e 1,74% observado por Abimorad et al. (2010) em juvenis de pacu. No entanto, foi próximo dos 2,65% estimados para trutas de crescimento lento (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*) por Lee et al. (2020).

A variação observada entre os valores estimados das diferentes espécies de peixes em comparação ao pacu deste estudo, pode estar associada a diferenças específicas da espécie, idade, fonte de proteína (proteína intacta), conteúdo da dieta, domesticação, genética, parâmetros de qualidade da água etc.

De acordo com Hua (2013), por meio de uma análise multivariada, o conteúdo de proteína dietética de uma dieta tem interação significativa na exigência de lisina dos peixes, enquanto Kotzamanis et al. (2018) identificou o papel notável do nível dietético de farinha de peixe como proteína intacta na determinação do ponto ótimo da lisina dietética dos peixes. Além disso, Lee et al. (2020) detectaram que a exigência de lisina da truta arco-íris difere significativamente por linhagem.

O índice viscerossomático foi significativamente afetado apenas na fase de crescimento, demonstrando uma redução linear com o nível de lisina na dieta. Essa redução é consistente com o observado em outras espécies de peixes, como bejupirá (*Rachycentron canadum*) por Zhou et al. (2007a), linguado (*Scophthalmus maximus*) por Peres & Oliva Teles (2008) e pacu por Bicudo et al. (2009). Na fase de crescimento, a resposta do percentual visceral do pacu é esperada, já que os peixes jovens priorizam a síntese de tecido muscular quando os nutrientes suprem as necessidades de manutenção. Por esse mesmo motivo, a conversão alimentar diminuiu nos peixes alimentados com níveis crescentes de lisina.

No entanto, os peixes na fase de terminação não apresentaram mudanças neste índice, pois os peixes maiores tendem a depositar proteína mais lentamente. Neste estudo, a composição química corporal do corpo inteiro do pacu foi similar entre as duas fases quanto aos níveis de lisina na dieta, a umidade mostrou comportamento quadrático com máxima de 2,47% para a fase de crescimento e 2,17% para terminação, a proteína bruta corporal aumentou linearmente, não sendo possível determinar um ponto ótimo, observou-se que deposição de proteína permaneceu relativamente constante conforme o consumo de lisina aumentou.

Esses resultados são semelhantes aos relatados para alevinos de pacu por Bicudo, (2009). O maior teor de lipídios corporal foi observado com peixes alimentados com 0,70% de lisina, posteriormente, a concentração de lipídios diminuiu de acordo com o aumento linear da ingestão de lisina. Outros estudos

mostraram que a suplementação de lisina resultou em diminuição dos lipídios corporais não só para peixes de água doce (Ahmed & Khan, 2004; Deng et al. 2010; Abimorad et al. 2010; Ebeneezar et al. 2019; Romaneli et al. 2021), mas também para marinhos (Peres & Olivia Teles, 2008; Lee et al. 2019; Kotzamanis et al. 2021).

De acordo com Grisdale-Helland et al. (2006), quando não há privação no consumo de lisina, há maior biossíntese de carnitina a partir da lisina, o que resulta em maior velocidade de transporte de ácidos graxos através da membrana mitocondrial e, conseqüentemente, em maior deposição de proteína.

No presente trabalho, a relação inversa entre lipídios e umidade no corpo do pacu ocorreu porque o lipídio foi substituído pela umidade depositada sob a forma de proteína no tecido muscular. Essa resposta inversa entre o teor de lipídios e umidade corporal de peixes também foi registrada por diversos autores (Abimorad et al., Carneiro et al., Urbinati et al. 2007, Bicudo et al. 2008, Abimorad et al., Deng et al. 2010, Romaneli et al., Kotzamanis et al. 2021) a partir do consumo gradativo de lisina.

O teor matéria mineral corporal do pacu apresentou semelhante entre os níveis de lisina da dieta, entretanto os indivíduos que ingeriram menor quantidade de lisina, demonstrou-se maior. De acordo com Arbeláez-Rojas et al. (2002) o teor de cinzas corporais dos peixes pode variar entre espécies e dentro da mesma espécie e é influenciada pela idade, forma de cultivo, condições de ambiente e dieta consumida.

Apesar de não encontrar na literatura uma relação direta da lisina sobre deposição de cinzas na carcaça, inferimos que a lisina dietética quando atende as necessidades de manutenção, a síntese de carnitina normaliza e ocorre a mobilidade dos ácidos graxos (redução do lipídeo) como fornecimento de energia, isto permitiu o pacu poupar a proteína como fonte de energia e destinou essa proteína para construção de tecido muscular (aumento de umidade), isto pode ter sido potencializado nos peixes que tiveram maior ingestão de lisina, entretanto os pacus que consumiram os menores níveis de lisina não conseguiram usar essa energia (aumento de lipídeo), desse modo o peso final e deposição de proteína reduzido comprometeu a relação da porcentagem de cinzas no conteúdo corporal da carcaça inteira em função dos níveis crescentes de lisina dietética.

As variações estimadas dos aminoácidos são causadas pela eficiência de utilização, tornando a compreensão de sua relação crucial, por isso é importante

determinar previamente a exigência basal e subtrair da ingestão total do aminoácido (Sakomura e Rostagno, 2016). Desse modo, o uso da equação exponencial é preferido para estimar a necessidade de aminoácidos para a manutenção, devido ao bom ajuste em comparação com outros modelos (Hau et al., 2013). Então, conforme descrito Kuhi et al. (2001), foi mensurado a quantidade necessária de lisina consumida para atividade basal e a destinada à deposição corporal dos pacus na fase de crescimento e terminação. Os valores obtidos foram de 53,06 mg/kg^{-0,8}/dia⁻¹ e 19,38 mg/kg^{-0,8}/dia⁻¹ respectivamente.

Neste trabalho, os valores foram distintos dos relatados por Romaneli et al. (2019), que reportaram (22,7; 45,1 e 56,3 mg/kg^{-0,8}/dia⁻¹) para a tilápia nas fases inicial, de crescimento e de terminação, respectivamente. Embora nossos resultados tenham apresentado uma manutenção maior (53,06 mg/kg^{-0,8}/dia⁻¹) em comparação aos dados de crescimento deste autor, ainda assim são inferiores aos (0,68 mg/kg^{-0,7}/dia⁻¹) encontrados por He et al. (2013) em tilápias com cerca de 300 gramas. Quanto aos pacus na fase de terminação, esta foi maior que os 16,9 mg/kg^{-0,7}/dia⁻¹ observados por He et al. (2013) em tilápias jovens, porém menor que os 20 mg/kg^{-0,75}/dia⁻¹ descritos por Abboudi et al. (2006) para juvenis de salmão do Atlântico.

Estas diferenças encontradas podem estar relacionadas ao expoente de peso metabólico utilizado à metodologia, às condições experimentais e/ou à dieta. Apesar de existir um expoente adotado para pacus descrito por Mansano et al. (2021) que utilizou (-0,67), este valor não foi obtido por ele, mas sim estimado por Liebert et al. (2015), aplicando com suínos em crescimento. Neste estudo, adotamos o expoente metabólico, baseado em Trung et al. (2011) que encontraram valores de (-0,854 e -0,849) como expoentes adequados para o metabolismo proteico e energético da tilápia do Nilo a 32°C, respectivamente. Porém, visando a consistência, foi utilizado nas análises deste estudo o expoente de (-0,8), o mesmo adotado por Romaneli et al. (2019), investigando o efeito da lisina sobre as diferentes fases de vida da tilápia do nilo.

Ainda como justificativa das variações vistas acima, segundo Rust, (2003) evidencia que peixes jovens apresentam metabolismo acelerado e ainda estão com o aparelho digestivo em desenvolvimento em relação a peixes adultos. Neste contexto, inferimos que os pacus em crescimento estavam em desenvolvimento, e seus sistemas digestivos e metabólicos ainda estavam se formando. Isso pode resultar em uma maior exigência de manutenção e possivelmente menor eficiência na

digestão e absorção de nutrientes, fazendo com que o peixe apresente menor aproveitamento de aminoácidos para o ganho. Enquanto o oposto pode ter ocorrido aos pacus na fase de terminação, que por terem o sistema digestivo e metabólico mais desenvolvido, em consequência disto, pode ser mais eficiente, permitindo na melhora da digestão e absorção de nutrientes, incluindo aminoácidos, quando comparado a outra fase. Somado a isto Pereira et al. (2020) menciona que os pacus apresentam níveis mais elevados de enzimas digestivas e uma maior capacidade de retenção de nutrientes à medida que crescem.

A necessidade basal pode variar com a idade dos peixes, de acordo com (Grisdale-Helland et al. 2011), descobriu que essa necessidade era menor em salmões do Atlântico quando mais velhos. As diferenças de manutenção e eficiência de utilização dos aminoácidos entre as espécies foram anteriormente identificadas por NRC (2011). Além disso, estudos com truta arco-íris (Fournier et al., 2003) e pregado (Kaushik e Seiliez, 2010), também mostraram diferenças significativas nas perdas endógenas de aminoácidos entre essas espécies em animais jovens, que peixes de idades maiores.

A eficiência de utilização dos aminoácidos pode variar durante as fases de vida dos peixes, também ser afetada pela fonte e disponibilidade da proteína (Nang et al, 2009), frequência alimentar e níveis da proteína digestível (Rodehutscord et al, 2000), e níveis da energia digestível (Encarnação et al., 2004; 2006). Portanto, sabendo das possíveis variações é recomendável ajustar a eficiência de utilização com base no peso corporal. Neste estudo, a eficiência de utilização da lisina dos pacus foi de 0,33 e 0,51 nas fases de crescimento e terminação respectivamente.

Alguns autores como (Nang et al. 2009) observaram a variações de 0,62 e 0,73 para a truta arco íris, já Romanelli et al. (2019), aplicando a técnica de diluição de dietas observaram o valor médio de (0,60) e concluiu que a eficiência tende a não mudar entre as fases (inicial, crescimento e terminação) da tilápia. Para Castillo et al. (2017), trabalhando com diferentes pesos (2,01; 14,26; 59,96 e 149,11 gramas) de tilápias do nilo e aplicando a técnica de diluição de dietas, obteve as eficiências de (0,52; 0,51; 0,51 e 0,50) respectivamente, também concluiu que a eficiência não muda em detrimento da fase de vida. Estes resultados são próximos dos valores observados de Hua et al. (2019), 0,68 e 0,68 nas fases iniciais e crescimento, mas para fase de terminação foi de 0,47, divergindo dos demais autores que a eficiência não muda entre as fases, e ficando próximo aos valores (0,51) da terminação dos

pacus, e concluiu que as tilápias em terminação demanda menor quantidade de lisina na manutenção, o que corrobora com os resultados deste trabalho.

De acordo com o NRC (2011), é conhecido que há variabilidades nas exigências de aminoácidos entre as espécies de peixes e dentro da mesma espécie, dependendo da fase de vida do peixe, também menciona que essas variabilidades são atribuídas ao tipo de disponibilidade de nutrientes das dietas, das condições experimentais e é crucial levar em conta esses fatores ao estabelecer recomendações nutricionais para diferentes espécies e fases de vida de peixes.

Neste contexto, é importante levar em consideração que este estudo seguiu os protocolos observados na literatura e não investigou separadamente o conteúdo corporal. Além disso, a falta de tabelas nutricionais e peso metabólico definidos para peixes redondos dificulta as comparações com outras espécies. Talvez, ajustando esses fatores, pudesse aumentar a precisão dos modelos desenvolvidos para prever a necessidade de aminoácidos.

Também é sabido que, predominantemente, as respostas de exigências são baseadas em estudos de dose-resposta, em que o desempenho é observado a níveis crescentes do aminoácido em estudo. Esses resultados são expressos como concentrações da dieta e usados para definir tabelas nutricionais para espécies específicas de peixes. Esse tipo de abordagem empírica acaba não levando em conta os fatores genéticos, mas sim exigências predefinidas baseadas por tabelas nutricionais. Quando se trata da espécie pacu, apesar de seu potencial zootécnico para a aquicultura, ainda não há programas de melhoramento genético ou planos nutricionais estabelecidos.

Isso pode causar uma variabilidade muito alta nas exigências nutricionais, quando comparado aos resultados obtidos com a tilápia, por exemplo, que já possui programas de melhoramento genético definidos e programas nutricionais estabelecidos, bem como modelos mecanicistas para estimar suas recomendações nutricionais.

Outro fator importante a ser mencionado é a maturidade sexual é uma fase importante porque, apesar do pacu ter um comportamento reprodutivo mais tardio, são peixes reofílicos. E o preparo nutricional pré migratório principalmente nas fases de terminação é conhecido, isto pode influenciar nas exigências nutricionais. De acordo com o NRC (2011), enquanto as fêmeas apresentam uma maior demanda de nutrientes devido ao desenvolvimento dos ovários, que representam cerca de 30%

da massa corporal total em algumas espécies, os machos têm uma demanda menor. Também é necessário ter em mente, que nos sistemas intensivos de produção com pacus ainda não utilizam o monosexo. Nossos resultados sugerem que a exigência de lisina para manutenção é elevada durante a fase de crescimento e tende a diminuir na fase de terminação.

Como resultado, a eficiência de utilização da lisina foi menor nos peixes jovens em comparação com os peixes adultos. Apesar da maturidade do pacu ser após o peso de abate é sabido que os peixes destinam parte da energia para manutenção e que pode variar em função do sexo. Esta informação pode nos conduzir a uma investigação aprofundada sobre a influência da maturidade sexual nas demandas de manutenção. Embora esses fatores sejam cruciais ao estabelecer recomendações nutricionais para diferentes espécies e fases de vida de peixes. Ainda é pouco discutido na literatura sobre a importância de considerá-los. A inclusão destes apontamentos em futuros trabalhos e discussões pode ajudar a aumentar a precisão das recomendações nutricionais do pacu e a maximizar o seu sucesso.

O objetivo deste estudo foi fornecer coeficientes de manutenção e crescimento para pacus nas fases de crescimento e terminação. Ao descrever o potencial de crescimento proteico através de uma função de crescimento, esses coeficientes podem ser aplicados ao peso corporal previsto para exigência basal e a eficiência de utilização para o ganho de proteína, fornecendo informações valiosas para a determinação da dieta e programa alimentar mais concisos para esta espécie.

CONCLUSÃO

Para atender às necessidades nutricionais dos pacus, estima-se a média de 1,96% de lisina digestível durante o crescimento, considerando uma conversão alimentar de 1,99 e uma taxa de eficiência proteica de 1,93, e 1,97% de lisina digestível na fase de terminação, levando em conta uma conversão alimentar de 1,91 e uma taxa de eficiência proteica de 2,03. Essas quantidades otimizam o crescimento e o desempenho dos peixes em diferentes estágios. Além disso, a manutenção requer $53,05 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$ durante o crescimento e $19,38 \text{ mg/kg}^{-0,8}/\text{dia}^{-1}$ na terminação, com variações de acordo com a idade e a eficiência da utilização da lisina para o crescimento da proteína corporal foi estimada em 33% e 51% respectivamente.

REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para o pacu, (*Piaractus mesopotamicus*) (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia, v. 33, n. 5, p. 1101-1109, 2004. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000500001>.

ABIMORAD, E; CARNEIRO, D. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles - fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. Aquaculture Nutrition, v. 13, p. 1-9, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00438.x>.

ABIMORAD, E.; SQUASSONI, G; CARNEIRO, D. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture Nutrition, v. 14, p. 374-380, 2008. Disponível em: <https://doi.dx.org/doi:10.1111/j.1365-2095.2007.00544.x>.

ABIMORAD, E. G.; FAVERO, G.C.; CASTELLANI, D.; GARCIA, F.; CARNEIRO, D.J. Dietary supplementation of lysine and/or methionine on performance, nitrogen retention and excretion in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) reared in cages. Aquaculture, v. 295, n. 3-4, p. 266-270, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.001>.

ABIMORAD, E. G., FAVERO, G. C., SQUASSONI, G. H.; CARNEIRO, D. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu, (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture Nutrition, v. 16, p. 370-377, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00674.x>.

ABIMORAD, E. G.; DUCATTI, C.; CASTELLANI, D.; JOMORI, R. K.; PORTELLA, M. C.; SARTORI, M. P.; CARNEIRO, D. J. Dietary lysine deficiency increases the incorporation rate of nitrogen-free compounds in muscle of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture, v. 479, p.522-527, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.033>.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International (21st ed.). Maryland: AOAC International, 2019.

Ahmed, Mukhtar A Khan. Dietary lysine requirement of fingerling Indian major carp, (*Cirrhinus mrigala*) - Hamilton). Aquaculture, Volume 235, Issues 1–4, 2004, Pages 499-511. ISSN 0044-8486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.009>.

ARBELÁEZ-ROJAS, GUSTAVO ALBERTO, FRACALOSS, DÉBORA MACHADO E FIM, JORGE DANIEL INDRUSIAK. Composição corporal de tambaqui, (*Colossoma macropomum*), e matrinxã, (*Brycon cephalus*), em sistemas de cultivo intensivo, em igarapé, e semi-intensivo, em viveiros. Revista Brasileira de Zootecnia [online], 2002, v. 31, n. 3, pp. 1059-1069. ISSN 1806-9290. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000500001>.

Bai, S. K., & Gatlin III, D. M. (2019). Dietary lysine requirement of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fingerlings. Aquaculture Nutrition, 25(4), 889-897.

BICUDO, Á. J. A., SADO, R. Y., & CYRINO, J. E. P. (2009). Dietary lysine requirement of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus* - Holmberg, 1887). Aquaculture, 297(1–4), 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.031>.

BOSCOLO, W.R.; REIDEL, A.; FEIDEN, A. et. al. Rendimento corporal do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) cultivados em tanques-rede no reservatório de Itaipu, alimentados com diferentes níveis de proteína bruta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 1., 2006, Toledo. Anais... Toledo, 2006.

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELLE, J.L.; QUADROS, M. RIBEIRO, F.B.; SOUSA, M.P. 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. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>.

Castillo, J. D. A., Nascimento, T. M. T., Mansano, C. F. M., Sakomura, N. K., Silva, E. P., & Fernandes, J. B. K. (2017). Determining the daily digestible protein intake for Nile tilapia at different growth stages. Boletim do Instituto de Pesca, 43, 54-63. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017.54.63>.

COSTA SOUSA, M., BOMFIM, M. A. D., RIBEIRO, F. B., DE SIQUEIRA, J. C., MARCHÃO, R. S., DE SOUSA, T. J. R., & TAKISHITA, S. S. (2021). Lysine requirements of tambatinga (♀ *Colossoma macropomum* × ♂ *Piaractus brachypomus*) fingerlings using different diet formulation techniques. *Aquaculture Nutrition*, 27, 1825– 1836. <https://doi.org/10.1111/anu.13320>

Chen, X., Yao, J., Zhang, Q., Chen, G., & Liu, Y. (2015). Effects of dietary lysine levels on growth performance and body composition of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture Research*, 46(9), 2207-2216.

DONG-FANG DENG, WARREN DOMINY, ZHI YONG JU, SHUNSUKE KOSHIO, RYAN MURASHIGE, ROBERT P. WILSON, Dietary lysine requirement of juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*), *Aquaculture*, Volume 308, Issues 1–2, 2010, Pages 44-48. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.07.041>.

EBENEEZAR, S., VIJAYAGOPALA, P., SRIVASTAVAB, P. P., GUPTAB, S., VARGHESE, S. T., PRABUA, D. L., CHANDRASEKARA, S., ELDHO VARGHESEA, E., SAYOOJA, P., TEJPALC, C. S., & WILSONA, L. (2019). Dietary lysine requirement of juvenile silver pompano, (*Trachinotus blochii* - Lacepede, 1801). *Aquaculture*, 511. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.73>

EMMANS, G.C., FISHER, C., 1986. PROBLEMS IN NUTRITIONAL THEORY.

FARIA, REGINA & SOUZA, MARIA & WAGNER, PETRA & POVH, JAYME & RIBEIRO, RICARDO. (2003). Rendimento do processamento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757) e do pacu (*Piaractus mesopotamicus* - Holmberg, 1887). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 25. [DOI: 10.4025/actascianimsci.v25i1.2068] DOI: 10.4025/actascianimsci.v25i1.2068.

FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, p. 646–653, 2000.

FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Juvenis de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Revista Brasileira de Zootecnia, v. 30, n. 3, p. 617-626, 2001.

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

Fournier, V., Gouillou-Coustans, M.F., Métailler, R., Vachot, C., Moriceau, J., Le Delliou, H., Huelvan, C., Desbruyères, E., Kaushik, S.J., 2003. Excess dietary arginine affects urea excretion but does not improve N utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). Aquaculture 217, 559–576. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00420-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00420-9).

FURUYA, WILSON & FURUYA, V.R.B. & NAGAE, M.Y. & GRACIANO, T.S. & MICHELATO, M. & XAVIER, TADEU & VIDAL, LUIZ. (2012). Nutrição de Tilápias no Brasil. Scientia Agraria Paranaensis. 11. 19-34. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v11n1p19-34.

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. Methods for physical and chemical analysis of freshwater. 2º ed. Oxford. Black well Sci. Publ. 214 p. 1978.

GONÇALVES, A. C. S.; MURGAS. L. D. S.; ROSA, P.V.; NAVARRO, R.D., COSTA, D.V.; TEIXEIRA, E.A. Desempenho produtivo de tambacus híbrido (♂*Piaractus mesopotamicus* x ♀*Colossoma macropomum*) alimentados com dietas suplementadas com vitamina E. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 9, p. 1005-1011, 2010. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900010>.

Grisdale-Helland, B., Gatlin III, D.M., Corrent, E., Helland, S.J., 2011. The minimum dietary lysine requirement, maintenance requirement and efficiency of lysine utilization for growth of Atlantic salmon smolts. Aquac. Res. 42, 1509–1529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02743.x>.

HUA, K. (2013). Investigating the appropriate mode of expressing lysine requirement of fish through non-linear mixed model analysis and multilevel analysis. *British Journal of Nutrition*, 109(6), 1013–1021. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002863>.

IAN FORSTER, HIROSHI Y. OGATA, Lysine requirement of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) and juvenile red sea bream *Pagrus major*, *Aquaculture*, Volume 161, Issues 1–4, 1998, Pages 131-142, ISSN 0044-8486, [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00263-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00263-9).

Kaushik, S.J., Seiliez, I., 2010. Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: current knowledge and future needs. *Aquac. Res.* 41, 322–332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02174.x>.

KHAN, K. U.; MANSANO C. F. M.; NASCIMENTO, T. M. T.; BOARATTI, A. Z.; RODRIGUES, A. T.; QUEIROZ, D. M. A.; ROMANELI, R. S.; SAKOMURA, N. K., FERNANDES, J. B. K. Whole-body amino acid pattern of juvenile, pre adult and adult pacu, (*Piaractus mesopotamicus*), with an estimation of its dietary essential amino acid requirements. *Journal World Aquaculture Society*, v 51, n. 1, p. 224-234, 2019a. <https://doi.org/10.1111/jwas.12600>.

KOTZAMANIS, Y., KOUROUPAKIS, E., ILIA, V., HARALABOUS, J., PAPAIOANNOU, N., PAPANNA, K., RICHARDS, R., & GISBERT, E. (2018). Effects of high-level fishmeal replacement by plant proteins supplemented with different levels of lysine on growth performance and incidence of systemic non-infectious granulomatosis in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture Nutrition*, 24, 1738–1751 <https://doi.org/10.1111/anu.12814>.

KOTZAMANIS, YANNIS; FAWOLE, F. J., BREZAS, A., KUMAR, V., FONTANILLAS, R., ANTONOPOULOU, E., KOUROUPAKIS, E., & ILIA, E. V. (2021). Dietary lysine requirement of greater amberjack juvenile (*Seriola dumerili*, Risso, 1810). *Aquaculture Nutrition*, 27, 2107– 2118. <https://doi.org/10.1111/anu.13344>.

KUHI, H. D.; PORTER, T.; LÓPEZ, S.; KEBREAB, E.; STRATHE, A. B.; DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. A review of mathematical functions for the analysis of growth

in poultry. World's Poultry Science Journal, v. 66, p. 227- 239, 2010.
<https://doi.org/10.1017/S0043933910000280>.

Markus Rodehutscord, Friedeman Borchert, Zoltan Gregus, Michael Pack, Ernst Pfeffer, Availability and utilization of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): 1. Effect of dietary crude protein level, Aquaculture, Volume 187, Issues 1–2, 2000, Pages 163-176, ISSN 0044-8486, [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00388-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00388-9)

MARIANA MICHELATO, LUIZ VÍTOR DE OLIVEIRA VIDAL, TADEU ORLANDI XAVIER, LORENA BATISTA DE MOURA, FERNANDA LOSI ALVES DE ALMEIDA, VICTOR BRENO PEDROSA, VALÉRIA ROSSETTO BARRIVIERA FURUYA, WILSON MASSAMITU FURUYA, Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia, Aquaculture, Volume 457, 2016, Pages 124-130, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>.

NRC 2011 - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13039>.

PERES, H., OLIVA-TELES, A., 2008. Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. Aquaculture 257, 283–290

Pires, C. V., Oliveira, M. G. de A., Rosa, J. C., & Costa, N. M. B.. (2006). Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. Food Science and Technology, 26(1), 179–187. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100029>

RAFAEL DE SOUZA ROMANELI, THIAGO MATIAS TORRES DO NASCIMENTO, ROBERT MERVYN GOUS, MATHEUS DE PAULA REIS, CLEBER FERNANDO MENEGASSO MANSANO, KIFAYAT ULLAH KHAN, NILVA KAZUE SAKOMURA, JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to lysine: Performance, body composition, maintenance and efficiency of utilization - Aquaculture, Volume 538, 2021, 736522, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736522>.

RAFAEL SILVA MARCHÃO, FELIPE BARBOSA RIBEIRO, JEFFERSON COSTA DE SIQUEIRA, MARCOS ANTONIO DELMONDES BOMFIM, JANAYRA CARDOSO SILVA, THALLES JOSÉ RÊGO DE SOUSA, DAPHINNE CARDOSO NAGIB DO NASCIMENTO, MARILENE DA COSTA SOUSA, Digestible lysine requirement for Tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles using the diet dilution technique, Aquaculture Reports, Volume 18, 2020, 100482, ISSN 2352-5134, <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100482>.

SAS Institute Inc. SAS OnDemand. Software, 2023. <https://welcome.oda.sas.com/>

SAKOMURA, N. K.; COON, C. Amino acid requirements for maintenance of broiler breeder pullets. In: European Symposium on Poultry Nutrition, Lillehammer, v. 14, p. 280-281, 2003.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, p. 283, 2007.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2016, 262 p.

Michael B. Rust,7 - Nutritional Physiology, Editor(s): John E. Halver, Ronald W. Hardy, Fish Nutrition (Third Edition), Academic Press, 2003, Pages 367-452, ISBN 9780123196521, <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50008-2>.

SEUNGHAN LEE, BRIAN C. SMALL, BISWAMITRA PATRO, KEN OVERTURE, RONALD W. HARDY, The dietary lysine requirement for optimum protein retention differs with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*) strain, Aquaculture, Volume 514, 2020, 734483, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734483>.

SILVA, E. F.; HONORATO, C. A. Tecnologia de processamento de salga úmida e salga seca de filé com e sem pele de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Nucleus Animalium, v. 5, n. 1, p. 47-53, 2013

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, no.11, p.2099-2105, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-3598200900110000>

Tian, L. X., Liu, Y. J., Yang, H. J., Liang, G. Y., & Liang, X. F. (2009). Optimal dietary lysine requirement for common carp (*Cyprinus carpio*) at the stage of rapid growth. Aquaculture, 294(3-4), 236-240.

WANG, Y, WANG, J, LIU, H, ET AL. Dietary lysine requirement of juvenile (*Pseudobagrus ussuriensis*). *Aquacult Nutr.* 2020; 26: 1266– 1274. <https://doi.org/10.1111/anu.13082>

ZHOU, QI-CUN, ZAO-HE WU, SHU-YAN CHI, QI-HUI YANG, Dietary lysine requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*), Aquaculture, Volume 273, Issue 4, 2007, Pages 634-640, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.056>.

ANEXO

Fórmulas utilizadas:

Ganho de peso (g) = peso médio final (g) – peso médio inicial (g);

Consumo de ração (g) = peso total da dieta consumida (g);

Conversão alimentar aparente (g) = dieta consumida (g) / ganho de peso (g);

Consumo de lisina digestível (mg) = [dieta consumida (mg) x teor de lisina digestível da ração (%)] / 100;

Ganho de proteína corporal (mg/dia) = [(proteína corporal final (mg)) – (proteína corporal inicial (mg))] / (período de observação experimental (dias));

Taxa de eficiência alimentar (g/g) = ganho de peso corporal (g) / dieta consumida (g);

Taxa de eficiência proteica (g/g) = ganho de peso (g) / consumo de proteína bruta (g);

Taxa de crescimento específico (%/dia) = [(ln (peso final (g)) – ln (peso inicial (g))) x 100] / período de observação experimental (dias);

Índice viscerossomático (%) = [(peso das vísceras (g) / peso corporal (g)) x 100];

Índice hepatossomático (%) = [(peso do fígado (g) / peso corporal (g)) x 100];

Índice gordurossomático (%) = [(peso da gordura visceral (g) / peso corporal (g)) x 100];

Rendimento do filé (%) = [(peso do filé (g) / peso corporal (g)) x 100];

Sobrevivência (%) = [(número de peixes finais / número de peixes iniciais) x 100].