

# REVISÃO DE LITERATURA SOBRE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS NA NUTRIÇÃO DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

*Data de aceite: 01/12/2023*

### **Denilson da Costa Bezerra**

Graduando em Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal do Maranhão –  
UFMA

### **Alécio Matos Pereira**

Universidade Federal do Maranhão

### **Gustavo Matheus da Lima Silva**

Graduando em Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal do Maranhão –  
UFMA

### **Kayron Batista Araujo**

Graduando em Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal do Maranhão –  
UFMA

### **Gilcyvan Costa de Sousa**

Pós-graduando em Ciências Ambientais  
pela Universidade Federal do Maranhão  
– UFMA

### **Aurora Monteiro Azevedo Pereira Neta**

Graduanda em Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal do Maranhão –  
UFMA

### **Carlos Thiago dos Santos Filgueira**

Graduando em Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal do Maranhão –  
UFMA

### **Germano Sousa da Silva**

Graduando em Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal do Maranhão –  
UFMA

### **Reinaldo Pontes da Rocha**

Graduando em Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal do Maranhão –  
UFMA

### **Cíntia Alves Pereira**

Graduada em Medicina Veterinária pela  
Universidade Federal do Tocantins - UFT

### **Matheus Machado de Sousa**

Graduado em Medicina Veterinária pela  
Universidade Federal do Tocantins- UFT

**RESUMO:** Os aminoácidos são peças fundamentais na nutrição do tambaqui (*Colossoma macropomum*), principalmente em virtude de suas influências no organismo, tais como: tamponamento do pH muscular, desintoxicação de espécies reativas de carbonila, regulação de nutrientes da síntese de proteínas, biossíntese e secreção de insulina, captação plasmática de glicose, síntese proteica, estimulação a secreção de hormonal etc. Nesse sentido, o principal propósito do presente trabalho

científico foi abordar, de forma descritiva, alguns dos principais aminoácidos necessários na alimentação do *C. macropomum*, inclusive destacando seus efeitos no organismo do peixe, bem como sua importância biológica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compostos biológicos; Nutrição de peixes; Influências fisiológicas.

**ABSTRACT:** Amino acids are fundamental in the nutrition of tambaqui (*Colossoma macropomum*), mainly because of their influence on the body, such as: buffering muscle pH, detoxification of reactive carbonyl species, regulation of nutrient protein synthesis, insulin biosynthesis and secretion, plasma glucose uptake, protein synthesis, stimulation of hormone secretion, etc. In this sense, the main purpose of this scientific paper was to address, in a descriptive way, some of the main amino acids needed in the diet of *C. macropomum*, including highlighting their effects on the fish's organism, as well as their biological importance.

**KEYWORDS:** Biological compounds; Fish nutrition; Physiological influences.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os aminoácidos são compostos biologicamente essenciais contendo frações carboxílicas e aminas como grupos funcionais e usados para sintetizar proteínas e moléculas bioativas com funções essenciais no metabolismo nutricional (Monirujjaman & Ferdouse, 2014; Nie et al., 2018). Estes na nutrição dos peixes, podem ser divididos dois grupos; aminoácidos essenciais (lisina, metionina, treonina, triptofano, valina, histidina, isoleucina, leucina, arginina e fenilalanina), que são aqueles que não são produzidos, ou apresentam uma síntese abaixo do mínimo necessário para o animal, e devem ser obrigatoriamente fornecidos através da alimentação segundo NETA (2023, .p.05).

Sendo os aminoácidos essenciais de extrema importância para a manutenção da vida do animal. E os aminoácidos não essenciais (cisteína, tirosina, alanina, ácido aspártico, glutamina, ácido glutâmico, glicina, prolina e serina) que são aqueles que podem ser sintetizados de forma endógena, através da proteína da dieta (WILSON, 2002; WU, 2009).

Nesse contexto, para o tambaqui (*Colossoma macropomum*) a segunda mais cultivada no Brasil e a primeira dentre as espécies nativas (44,56% em 2011) (MPA, 2013), são poucos os estudos sobre a exigência nutricional por aminoácidos (Costa, 2014).

O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é uma das principais espécies de peixes nativos cultivados no Brasil e em outros países da América do Sul e Central, sendo também uma das mais importantes, principalmente na região amazônica (FERNANDES et al., 2018). Este peixe pertence à ordem Characiformes e à família Serrasalmidae.

Ademais, esta espécie tem alto valor comercial, sendo apreciada pela A criação do tambaqui vem se expandindo com o passar dos anos, despertando o interesse de pesquisadores no estudo de exigências nutricionais para essa espécie (AROUCHA et al., 2022). Visto isso, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a exigência dos aminoácidos

essenciais na dieta do tambaqui (*Colossoma macropomum*).

## 2 | HISTIDINA

Caracterizado como o único aminoácido que contém uma cadeia lateral com pKa próximo da neutralidade (NUNES, 2007), a histidina pode encontrado na musculatura animal e, além disso, é caracterizado como um elemento de grandioso valor nutricional para os peixes (BATISTA et al., 2023). Além disso, ROMANELI et al. (2023) afirmam que a histidina, em trabalho coletivo com os imidazóis, atuam em processos bioquímicos importantes no organismo do ser vivo, tais como: osmorregulação, tamponamento do pH muscular e desintoxicação de espécies reativas de carbonila.

Contudo, evidências científicas já indicaram a histidina dietética reduz a gordura corporal em várias espécies de peixes, podendo estar relacionado ao ganho de proteína, especialmente quando a dieta encontra-se balanceada atendendo as exigências de aminoácidos. Ademais, quando suplementada, a histidina consegue favorecer até mesmo um melhor desempenho produtivo dos animais, incluindo aumentando processo hipertrófico dos peixes e maior expressão dos genes MyoD, miogenina e miostatina, além de promover uma adequada homeostase nos peixes (RICHTER et al., 2019).

A histidina é um exemplo de aminoácido presente no centro ativo de muitas enzimas e proteínas funcionalizadas, e que também é responsável por controlar o transporte de metais em bases biológicas. Ela está presente principalmente nos tecidos musculares e nervosos além de constituir peptídeos cerebrais (NAN et al, 1999).

No que diz a influências fisiológicas nos peixes, a histidina também atua como um elemento fundamental no bem-estar, pois funciona como uma reserva energética em momento de fome, além de atuar na proteção do organismo contra variações de pH (BERNARDINO, 2019).

Outrossim, é válido mencionar que o aminoácido histidina também se faz presente no centro ativo de muitas proteínas funcionalizadas e enzimas, atuando até mesmo em processos biológicos, inclusive no controle do transporte de metais pesados em bases biológicas (SILVA, 2020).

## 3 | ISOLEUCINA

A isoleucina (C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>NO<sub>2</sub>) é um aminoácido neutro da família alifática, possuindo cadeia hidrocarbonada, que contém cerca de 10,7% de nitrogênio (Kohlmeier, 2003). Esse aminoácido pertence aos aminoácidos essenciais, e é necessário para a síntese de proteínas, pois tem importância como combustível energético, especialmente no músculo-esquelético, e em menores concentrações no fígado, intestino e outros órgãos (Neu, 2013), atuando também como um nutriente regulador do metabolismo da glicose (Doi et al., 2005,

2007).

A isoleucina, juntamente com a leucina e a valina, fazem parte do grupo dos aminoácidos de cadeia ramificada (BCAAs). Os mesmos são EAA (Esteróides Anabólicos Androgênicos) com importantes funções estruturais, depositados principalmente no músculo. Por causa disso, grande parte da proteína corporal apresenta altos níveis de BCAA, representando 18–20% do total de aminoácidos presentes nas proteínas animais (Li et al., 2009). Entre os BCAAs, a isoleucina desempenha um papel significativo no aumento do consumo e utilização de glicose (Zhang, Yang, et al., 2017).

Nesse sentido, a isoleucina, juntamente com a leucina e a valina, atuam como regulador de nutrientes da síntese de proteínas e a degradação da proteína, envolvido também na biossíntese e secreção de insulina (KIMBALL e JEFFERSON, 2006), assim como, atua na captação plasmática de glicose, estimulando a captação muscular de glicose (Doi et al., 2005 ; Nishitani et al., 2005), reduzindo a produção hepática de glicose e a expressão e atividade de enzimas gliconeogênicas hepáticas (Doi et al., 2007).

Entretanto, é importante destacar que a maioria dos trabalhos avaliando a inclusão de isoleucina para peixes tem por objetivo determinar a exigência desse aminoácido, contudo, muitos fatores inerentes a esse nutriente ainda não são conhecidos ou totalmente esclarecidos (Neu, 2013).

## 4 | LISINA

A lisina faz parte do grupo de aminoácidos essenciais localizado em maior concentração na carcaça de peixes, com envolvimento direta na produção proteica, é utilizada como base para modelo de proteína ideal, além disso, na rações de peixes é considerado como primeiro restritivo, principalmente quando se utiliza fontes proteicas de origem vegetal, segundo BOMFIM et al. (2010) ; FURUYA et al.(2010). Por ser o aminoácido utilizado como parâmetro no cálculo de determinação da exigência para peixes, a lisina (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; ácido 2,6-diaminohexanóico) é o aminoácido com mais informações sobre o nível necessário para desempenho em muitas espécies (Liebl et al., 2019).

Este é considerado um aminoácido exclusivamente orientado para deposição de proteína corporal e sua limitação na dieta pode acarretar perdas de crescimento e de massa corporal, merecendo, portanto, atenção especial na formulação de rações para diferentes espécies (Hauler e Carter, 2001; Rollin et al., 2003; Furuya et al., 2006; Dairiki et al., 2013; Ovie e Eze, 2013).

Níveis adequados de lisina melhoram a sobrevivência e o aumento no tamanho dos peixes, além de prevenir possíveis doenças e lesões nas nadadeiras (Dairiki et al., 2007; Ovie e Eze, 2013). Partindo dessa ideia, Wilson, 2002; Peres e Olivia-Teles, 2008 mencionam as três razões para adicionar a lisina como referência de aminoácidos na alimentação dos peixes: (1) é um aminoácido estritamente essencial e não apresenta

síntese endógena; (2) possui metabolismo básico e único orientado para deposição de proteína no organismo, diferente dos aminoácidos sulfurosos e; (3) são precisas as análises laboratoriais para determinação dos seus níveis em ingredientes, rações e tecidos.

Por tanto, devido à lisina ser um aminoácido mais limitante e importante em dietas de peixes, e, devido sua importância na deposição corporal em peixes, é de grande interesse para a aquicultura, principalmente de espécies como o tambaqui (Costa, 2014). Ela é um aminoácido não sintetizado organicamente pelo peixe (exógeno), que possui características hidrofílicas, carga positiva, é especialmente direcionado para a deposição no tecido muscular dos peixes (Liebl et al., 2019).

Entretanto, estudos sobre a exigência proteica para o tambaqui, em geral, têm focado sua abordagem nos requisitos por proteína bruta, sem considerar o conteúdo de aminoácidos na dieta (Vidal Jr et al., 1998; Gutiérrez et al., 2010; Oishi et al., 2010; Santos et al., 2010b; Almeida et al., 2011). No entanto, é importante aprofundar os estudos em aminoácidos considerados como essenciais para criar-se uma alimentação adequada de acordo com as exigências fisiológicas nutricionais do peixe tambaqui (*Colossoma macropomum*).

## 5 | METIONINA

A metionina é um aminoácido proteínogênico único, que contém enxofre e um grupo tioéter ligeiramente apolar em sua cadeia lateral, sendo não ramificada, proporcionando ampla flexibilidade. Moléculas contendo enxofre apresentam funções importantes para as células, como glutatona, taurina, creatina e SAM (S-adenosil metionina), que altera o DNA e o RNA adicionando um grupo metil (ALEDO, 2019; NELSON; COX, 2022).

Além disso, é um aminoácido essencial para a sobrevivência, devendo assim ser consumido na dieta; e estudos demonstraram que limitar a metionina na dieta de animais ou em meios de cultura celular propicia benefícios metabólicos (WANDERS; HOBSON; JI, 2020), como diminuição da adiposidade, aumentando a sensibilidade à insulina, diminuindo a inflamação e o estresse oxidativo, assim prolongando a vida útil (WANDERS et al., 2018; BARCENA et al., 2018; SHARMA et al., 2019; YANG et al., 2019).

Segundo Aroucha et al. (2023) a metionina é considerada como um aminoácido sulfurado (SAA) imprescindível, posto que sua síntese endógena não ocorre em quantidades suficientes para manter o crescimento normal dos animais. Além disso, a metionina é o primeiro aminoácido limitante em demasiadas dietas de peixes, especialmente quando são empregados níveis elevados de proteína de origem vegetal na elaboração da dieta. (PORTO et al., 2020; SOUZA et al., 2019).

A metionina é frequentemente avaliada em ensaios experimentais em conjunto com a cistina devido à probabilidade de ser catabolizada em cistina, Além disso, os resultados derivados da eficiência de utilização de [Met + Cys] podem oferecer uma contribuição

valiosa para uma compreensão mais aprofundada da utilização desse aminoácido para o tambaqui ((PORTO et al., 2020; LIEBL et al., 2021).

## 5. FENILALANINA

Conforme apontado por Rodrigues, Bergamin e Santos (2021) a nutrição bem como a alimentação dos peixes necessitam de determinadas particularidades que precisam ser consideradas durante a sua produção. Assim, os autores explicam que existem diversidades de espécies de peixes com sua singularidade morfofisiológica e comportamental, no qual não permite generalizações, bem como há a diferença do meio habitado por eles.

O tambaqui, uma espécie nativa muito cultivada no país, detém uma série de características zootécnicas favoráveis que podem comprovar seu cultivo progressivo e essencialidade econômica para a piscicultura brasileira. O tambaqui varia sua dieta conforme a movimentação de chuvas no seu ambiente natural, assim ele apresenta adaptações morfofisiológicas no qual possibilitam explorar uma infinidade de itens alimentares (RODRIGUES, 2014).

Em relação as exigências em aminoácidos essenciais para o tambaqui, os estudos de Rodrigues (2014) apontaram que é comparável com as determinadas para o pacu. Assim, Fenilalanina + Tirosina representa 4,61% (AZEVEDO et al., 2012), 3,78% (BICUDO et al., 2009) e 4,58% (ABIMORAD et al., 2010). Observou-se que o tambaqui se utiliza com mais eficácia, o lipídio como fonte de energia do que os carboidratos (RODRIGUES, 2014).

Um estudo sobre a exigência de aminoácidos para peixes redondos promoveu a comprovação dos essenciais para o desenvolvimento eficaz dos peixes, dentre eles, o tambaqui, no qual Neta, Sousa, et al., (2023), apontaram que muitos estudos são realizados no intuito de determinar o requerimento de aminoácidos na dieta dos animais, no caso dos peixes, umas das metodologias aplicadas é por dose-resposta.

As metodologias empregadas basicamente formulam uma dieta balanceada procurando atender todas as relações aminoacídicas do animal, aplicando aminoácidos sintéticos, e assim, os dados mostraram que lacunas em relação as exigências nutricionais de alguns aminoácidos, para os peixes redondos, dentre eles o tambaqui, e não foram encontradas informações neste estudo sobre as exigências nutricionais da fenilalanina e outros aminoácidos. Assim, concluiu-se que as exigências de aminoácidos essenciais, usadas para formular dietas para espécies de peixes redondos, advém de outras espécies de peixes.

## 6 | TREONINA

Os estudos conduzidos por Bomfim et al. (2021) e Marchão et al. (2022) demonstraram a importância crítica da treonina na dieta do tambaqui para otimizar seu desempenho de crescimento e composição corporal. Ao investigar os níveis ideais de treonina, Bomfim et al. (2021) observaram que uma inclusão entre 1,20% e 1,40% desse aminoácido resultou

em maior deposição de proteína corporal e ganho de peso para alevinos de tambatinga.

Além disso, o estudo de Marchão et al. (2022) complementou essa perspectiva ao determinar que a inclusão de 10,40–10,80 g de treonina por kg de dieta melhorou significativamente o ganho de peso, a taxa de crescimento específico e a eficiência alimentar do tambaqui durante a fase de engorda. No entanto, ambos os estudos ressaltaram que níveis excessivos ou inadequados de treonina na dieta podem comprometer o crescimento saudável e eficiente da espécie, evidenciando a necessidade crítica de um equilíbrio preciso desse aminoácido para otimizar o desenvolvimento dos peixes.

Essas pesquisas destacaram a relação complexa entre os níveis de treonina na dieta e o desempenho fisiológico do tambaqui, ressaltando a importância crucial de um equilíbrio adequado desse aminoácido para promover um crescimento saudável e eficiente (Firmo et al., 2018; Ahmed et al., 2004; Yue et al., 2014). Ambos os estudos enfatizaram a importância da treonina na síntese proteica, no sistema imunológico (Bomfim et al., 2021; Marchão et al., 2022) e na eficiência de conversão de alimentos em proteína muscular magra (Firmo et al., 2018; Yue et al., 2014).

No entanto, salientaram que um excesso ou deficiência desse aminoácido pode comprometer a saúde e o desempenho dos peixes (Ahmed et al., 2004; Bomfim et al., 2021; Yue et al., 2014), realçando a necessidade de fornecer níveis ideais de treonina na dieta do tambaqui para promover um crescimento saudável e eficaz, impactando significativamente sua fisiologia e desempenho.

## 7 | TRIPTOFANO

O triptofano (Trp)  $C_{11}H_{12}N_2O_2$  é um aminoácido essencial, pertencente ao grupo dos aminoácidos R-aromáticos, com cadeias laterais aromáticas, apolar e hidrofóbico (LEHNINGER, 2007). Este é precursor da serotonina (neuritransmissor 5- hidroxitriptamina: 5-HT) da niacina (vitamina B3), sendo também responsável pela estimulação e secreção de insulina e do hormônio do crescimento, além de estar relacionado com o funcionamento de outras vias metabólicas importantes para os processos metabólicos do animal. Além disso, possui a importante função de potencial mediador do comportamento do organismo, necessário para que ocorra a diminuição do canibalismo e da agressividade do animal, na fase da larvicultura (KRÓL; ZAKÊ, 2016).

Ademais, auxilia no crescimento, síntese proteica e atua no metabolismo fisiológico dos peixes. Além disso, é precursor do neurotransmissor serotonina, da niacina (vitamina B3) e estimula a secreção de alguns hormônios, como a insulina e o hormônio de crescimento (LIMA, 2022.). Nesse sentido, a suplementação dietética de triptofano está também relacionada diretamente com a síntese de serotonina e melatonina que reduz parâmetros fisiológicos relativos ao estresse e diminuição da agressividade em peixes (LEPAGE, et al., (2005).

Na nutrição de peixes, a essencialidade do triptofano tem contribuído não só para a

incorporação das proteínas corporais, mas também com o seu envolvimento em outras vias de processos metabólicos importantes para o funcionamento do corpo dos animais (ROSSI; TIRAPEGUI, 2004). Dessa forma, a falta desse aminoácido pode acarretar em problemas de incorporação destas vias responsáveis pelo metabolismo do peixe. A deficiência deste aminoácido pode ocasionar alguns problemas, como escoliose, lordose e cataratas (COLOSO et al., 2004), sendo importante que este esteja na quantidade ideal na nutrição do tambaqui.

## 8 | VALINA

A busca incessante por estratégias nutricionais eficientes na aquicultura tem sido impulsionada pela necessidade de otimizar o crescimento e a saúde dos organismos aquáticos. Essa busca visa não apenas a sustentabilidade, mas também a maximização da produção aquícola, como evidenciado pelos dados do IBGE (PPM, 2019), que revelam que a produção aquícola brasileira alcançou 579 mil toneladas em 2018.

Com a consolidação da aquicultura, a valina, um dos aminoácidos essenciais de cadeia ramificada, emerge como um elemento crucial na formulação de dietas balanceadas para espécies de importância econômica. Entre as espécies nativas, *Colossoma macropomum* (Curvier, 1816), conhecida como Tambaqui, se destaca no cenário da produção aquífera no Brasil (Pedroza-Filho et al., 2020).

O tambaqui é uma espécie onívora de água doce dos rios Amazonas e Orinoco, que se alimenta de frutas, sementes e pequenos organismos (Dairiki, 2023). É conhecida por se adaptar facilmente às condições e sistemas de criação. No entanto, para maximizar sua produção em cativeiro são necessários alimentos com valor nutricional alto (Woynárovich; Van Anrooy, 2019).

A valina, juntamente com leucina e isoleucina, compõe a tríade de aminoácidos essenciais de cadeia ramificada (BCAA-branched-chain amino acids), desempenhando papéis fundamentais em processos metabólicos, síntese proteica e homeostase energética. Embora a valina tenha sido subestimada em comparação com seus homólogos, evidências científicas recentes destacam seu impacto singular sobre o crescimento e o desempenho fisiológico dos peixes. (Marchão et al., 2020).

Considerando que a valina não pode ser sintetizada endogenamente pelos peixes, sua inclusão adequada nas dietas torna-se crucial para atender às demandas fisiológicas e promover um desenvolvimento robusto (Marchão et al., 2020). No entanto, o entendimento abrangente dos requisitos específicos de valina para o tambaqui permanece um campo em evolução, exigindo uma análise crítica das pesquisas existentes.

Em um estudo recente realizado com espécies de tambaqui com diferentes pesos corporais (SILVA et al., 2022), foi demonstrando que para a ingestão de valina, o ganho de peso, a taxa de crescimento específico e a taxa de conversão alimentar foram



significativamente melhorados pela valina dietética. Proporcionando um crescimento ideal e aumento da proteína corporal de tambaqui, assim como o aumento da deposição de gordura corporal e na eficiência de retenção do nitrogênio. Esses dados, enfatizam a importância crítica da valina na formulação da dieta do tambaqui, especialmente considerando as nuances relacionadas ao peso do peixe.

## 9 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alimentação do peixe é fundamental para a manutenção da sua homeostase e o seu pleno crescimento, é nítido que a fonte de proteína que atenda as necessidades dos aminoácidos essenciais é fundamental. Com isso fica claro nessa revisão que uma dieta adequada é indispensável para sobrevivência e crescimento otimizado do Tambaqui.

Por isso, o produtor, tem que buscar alternativas alimentares que tenha viabilidade econômica, balanço adequado de aminoácidos essenciais, uma boa digestibilidade e palatabilidade. Dessa forma, a criação de Tambaqui será otimizada e alcançará alta performance na taxa de sobrevivência, conversão alimentar e na viabilidade financeira da produção.

## REFERÊNCIAS

ALEDO, Juan C. Methionine in proteins: **The Cinderella of the proteinogenic amino acids**. Protein Science, v. 28, n. 10, p. 1785-1796, 2019.

ALENCAR, Maria de Nasaré Bona de et al. **Relação treonina: lisina para alevinos de tambatinga (Colossoma macropomum x Piaractus brachipomum)**. Boletim do Instituto de Pesca, v. 37, n. 4, p. 393-400, 2011.

Almeida, L.C.; Avilez, I.M.; Honorato, C.A.; Hori, T.S.F.; Moraes, G. 2011. **Growth and metabolic responses of tambaqui (Colossoma macropomum) fed different levels of protein and lipid. Aquaculture nutrition**. 17: 253-262.

AROUCHA, Rômulo Jordão Neves et al. **Digestible methionine plus cystine requirement in tambaqui (Colossoma macropomum) diets: Growth performance and plasma biochemistry. Aquaculture Reports**, v. 32, p. 101725, 2023.

AROUCHA, Rômulo Jordão Neves et al. **Exigência de metionina mais cistina em dietas para tambaqui (Colossoma macropomum)** de 55 a 118 g. 2022.

Barcena, C.; Quiros, P.M.; Durand, S.; Mayoral, P.; Rodriguez, F.; Caravia, X.M.; BATISTA, Felipe Bressan et al. **Relatório de estágio supervisionado desenvolvido no labcal (laboratório de análises) da ufsc/florianópolis/sc**. 2023.

BERNARDINO, Inês da Nóbrega Pizarro. **Estudo do comportamento da farinha derivada de subprodutos animais de categoria 3 após embalagem**. 2019.

BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; DONZEELE, J. L.; QUADROS, M.; RIBEIRO, F. B.; SOUSA, M. P. D. **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.

BOMFIM, Marcos Antonio Delmondes et al. **Digestible threonine requirement in diets for tambatinga (□ Colossoma macropomum x□ Piaractus brachypomus) fingerlings.** Ciência e Agrotecnologia, v. 45, 2021.

Bonfim, M. A. D. et al. **Digestible threonine requirement in diets for tambatinga (□Colossoma macropomum x □Piaractus brachypomus) fingerlings.** Ciência e Agrotecnologia, 45:e023520, 2021.

CAMPELO, Daniel Abreu Vasconcelos et al. **Optimal dietary methionine+ cystine requirement for finishing lambari, Astyanax altiparanae (Garutti and Britski, 2000).** Aquaculture Research, v. 51, n. 1, p. 58-68, 2020.

COLOSO, R. M.; MURILLO-GUERREA, D. P.; BORLONGAN, I. G.; CATA CUTAN, M.R. **Tryptophan requirement of Asian juvenile sea bass Lates calcarifer.** British Journal of Nutrition, n. 51, p. 279-287, 2004.

Costa, Edimar Lopes da. **Exigência de lisina e estimativa dos aminoácidos essenciais para tambaqui, Colossoma macropomum (Cuvier, 1818) / Edimar Lopes da Costa.** --- Manaus: [s.n.], 2014. ix, 60 f.

DA SILVA LIEBL, Ariany Rabello et al. **EXIGÊNCIA DE AMINOÁCIDOS NAS DIETAS: UMA NECESSIDADE PARA PEIXES AMAZÔNICOS.**

Dairiki, J. K. **Estratégias de manejo alimentar e monitoramento da qualidade da água visando à redução dos custos de produção do tambaqui no Estado do Amazonas.** 2023.

Dairiki, J. K.; Dias, C T. S.; Cyrino, J. E. P. 2007. **Lysine Requirements of Largemouth Bass, Micropterus salmoides: A Comparison of Methods of Analysis of Dose-Response Trials Data.** Journal of Applied Aquaculture, 19(4): 1-27.

Dairiki, Jony K.; Borghesi, Ricardo; Dias, C. T. S.; Cyrino, José E. P. 2013b. **Lysine and arginine requirements of Salminus brasiliensis.** Pesq. agropec. bras. [online], 48(8): 1012-1020.

Doi, M. , Yamaoka, I. , Nakayama, M. , Mochizuki, S. , Sugahara, K. , & Yoshizawa, F. ( 2005 ). **A isoleucina, um aminoácido redutor de glicose no sangue, aumenta a captação de glicose no músculo esquelético de ratos na ausência de aumentos na atividade da proteína quinase ativada por AMP.** Jornal de Nutrição , 135 , 2103-2108 .

Doi, M. , Yamaoka, I. , Nakayama, M. , Sugahara, K. e Yoshizawa, F. ( 2007 ). **O efeito hipoglicêmico da isoleucina envolve aumento da captação muscular de glicose e oxidação da glicose em todo o corpo e diminuição da gliconeogênese hepática.** American Journal of Physiology - Endocrinologia e Metabolismo , 292 , E1683 – E1693.

**EXIGÊNCIA DE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS EM PEIXES REDONDOS.** In: NETA, Maria et al. Ciências veterinárias: patologias, saúde e produção animal 2. Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.p.1-15.

Feng, L. , Gan, L. , Jiang, WD , Wu, P. , Liu, Y. , Jiang, J. , Tang, L. , Kuang, SY , Tang, WN , Zhang, YA e Zhou, HQ ( 2017 ). "Alterações na integridade estrutural das guelras em peixes com deficiência ou excesso de isoleucina na dieta: Rumo à modulação da proteína de junção estreita, inflamação, apoptose e defesa antioxidante através das vias de sinalização NF-kB, TOR e Nrf2" . *Imunologia de Peixes e Mariscos* , 63 , 127-138 .

FERNANDES, E. M.; DE ALMEIDA, L. C. F.; HASHIMOTO, D. T.; LATTANZI, G. R.; GERVAZ, W. R.; LEONARDO, A. F.; NETO, R. V. R. **Survival of purebred and hybrid Serrasalminae under low water temperature conditions.** *Aquaculture*, v. 497, p. 97-102, 2018.

FIRMO, D. dos S. et al. **Threonine to lysine ratio in diets of tambaqui juveniles** (*Colossoma macropomum*). *Semina: Ciências Agrárias (Londrina)*, v. 39, n. 5, p. 2169-2180, 2018.

Froese R.; Pauly D. FishBase. 2009. World Wide Web electronic publication.

Furuya, W.M.; Botaro, D.; Santos, V.G. et al. 2006. **Exigências de lisina digestível para juvenis de tilápia-do-Nilo.** *R. Bras. Zootec.*, 35(3): 937-942 (supl.).

Gomes, L. C.; Simões, L. N.; Araújo-Lima, C. A. R. M.; Baldissero, B. In: **Tambaqui (Colossoma macropomum), Espécies nativas para piscicultura no Brasil.** 2ª. Ed. Editora UFSM, Santa Maria. 2010. p.175-204.

GRILO, Jéssica Filipa Prazeres. **Suplementos alimentares no desporto.** 2021. Tese de Doutorado.

Gutiérrez, F.W.; Quispe, M.; Valenzuela, L.; Contreras, G.; Zaldívar, J. 2010. **Utilización de la proteína dietaria por alevinos de la gamitana, Colossoma macropomum, alimentados con dietas isocalóricas.** *Rev. peru. biol.*, 17: 219-223.

Hilsdorf, AWS., Hallerman, E, Valladão, GMR, Zaminhan-Hassemer, M, Hashimoto, DT, Dairiki, JK, Takahashi, LS, Albergaria, FC, Gomes, MES, Venturieri, RLL, Moreira, RG, Cyrino, JEP, 2022. **The farming and husbandry of Colossoma macropomum: From Amazonian waters to sustainable production.**

KIMBALL, S. R., & JEFFERSON, L. S. *New functions for amino acids: effects on gene transcription and translation.* *The American journal of clinical nutrition*, v. 83, n. 2, p. 500S507S, 2006.

KOHLMEIER, M. **Amino acids and nitrogen compounds.** *Nutrient Metabolism*.

KRÓL, J.; ZAKĘŚ, Z. **Efeito do L-triptofano dietético sobre o canibalismo, sobrevivência e crescimento em pós-larvas de Sander lucioperca (L.).** *Aquaculture International*, v. 24, n. 2, p. 441-451, 2016.

LEHNINGER, A. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. In: NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger: Princípios de bioquímica.* 4. Ed. São Paulo: Salvier, Cap. 2, p. 74-111. 2007.

LEPAGE, O.; LARSON, E. T.; MAYER, I.; WINBERG, S. **Tryptophan affects both gastrointestinal melatonin production and interrenal activity in stressed and nonstressed rainbow trout.** *Journal of Pineal Research*, Copenhagen, v. 38, n. 4, p. 264-271, 2005.

LIEBL, Ariany Rabello da Silva et al. **Exigência de lisina para juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum Cuvier, 1818) com base no desempenho produtivo, morfohistológico e fisiológico.** 2019.

LIMA, Maylanne Sousa de. **Níveis de triptofano digestível da ração sobre o desempenho e eficiência alimentar de alevinos de tambatinga.** 2022.

London: Academic Press, 2003. p. 244-456.

Marchão, R. S.; RIBEIRO, F. B.; SIQUEIRA, J. C. D.; BOMFIM, M. A. D.; SILVA, J. C.; SOUSA, T. J. R. D.; NASCIMENTO, D. C. N. D.; SOUSA, M. D. C. **Digestible lysine requirement for tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles using the diet dilution technique.** *Aquaculture Reports*, v.18, p. 100482, 2020.

MARCHÃO, Rafael S. et al. **Digestible threonine requirement in tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets: Growth, body deposition, haematology and metabolic variables.** *Aquaculture Research*, v. 53, n. 16, p. 5697-5709, 2022.

Marino, G.; Garabaya, C.; Fernandez-Garcia, M.T.; Kroemer, G.; et al. **Methionine Restriction Extends Lifespan in Progeroid Mice and Alters Lipid and Bile Acid Metabolism.** *Cell Rep.* 2018, 24, 2392–2403.

Monirujjaman, M. e Ferdouse, A. ( 2014 ). **Papéis metabólicos e fisiológicos dos aminoácidos de cadeia ramificada** . *Avanços em Biologia Molecular* , 2014 , 1-6 .

NELSON, David L.; COX, Michael M. **Princípios de bioquímica de Lehninger.** Artmed Editora, 2022.

NETA, G. D. S. et al. **EXIGÊNCIA DE AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS PARA PEIXES REDONDOS.** In: \_\_\_\_\_ *Ciências veterinárias: Patologias, saúde e produção animal 2.* [S.l.]: [s.n.], 2023. p. 1-15.

NEU, Dacley Hertes. *Exigências dietéticas de arginina e isoleucina para tilápias do Nilo.* 2013.

Nie, C. , He, T. , Zhang, W. , Zhang, G. e Ma, X. ( 2018 ). **Aminoácidos de cadeia ramificada: além do metabolismo nutricional** . *Revista Internacional de Ciências Moleculares* , 19 , 954-969.

Nishitani, S. , Takehana, K. , Fujitani, S. e Sonaka, I. ( 2005 ). "Aminoácidos de cadeia ramificada melhoram o metabolismo da glicose em ratos com cirrose ]

NUNES, Lidiane Cristina. **Métodos quimiométricos aplicados na determinação espectrofotométrica de misturas de aminoácidos.** 2007.

Ovie, S.O.; Eze, S. S. 2013. **Lysine requirement and its effect on the body composition of *Oreochromis niloticus* fingerlings.** *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 8(1): 94- 100.

Pedroza-Filho, M. X. P., Flores, R. M. V., Ianella, P., Castilho-Barros, R., Oliveira, E. J., & Caetano, A. R. **Tambaqui: Benefícios econômicos com a adoção do Tambaplus Parentesco.** EMPRAPA, comunicado 04. 17 p.2020.

Piedras, S. R. N., Pouey, J. L. O. F., & Rutz, F. (2004). **Efeito da Suplementação de Metionina e/ou Lisina no Crescimento e na Sobrevivência de Alevinos de Peixe-rei (*Odontesthes bonariensis*).** *R. Bras. Zootec*, 33(6), 1366-1371. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000600002>.

Porto NG, Ribeiro FB, de Siqueira JC, Bomfim MAD, Marchão RS, Costa DC (2020) **Methionine plus cystine requirements for the maintenance and efficiency of utilization with tambaqui of different body weights.** *Ciênc Agrotecnol* 44:014920.

- RICHTER, Bianca Leticia et al. **Desempenho produtivo, parâmetros sanguíneos e qualidade da carne de tilápias do Nilo alimentadas com dietas suplementadas com histidina e lisina.** 2019.
- RODRIGUES, A. P. O. **NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO DO TAMBAQUI (Colossoma macropomum).** Bol. Inst. Pesca, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 135 – 145, 2014.
- RODRIGUES, P. O.; BERGAMIN, T.; SANTOS, R. V. D. **Nutrição e alimentação de peixes.** In: \_\_\_\_\_ **Piscicultura de água doce - Multiplicando conhecimentos.** [S.l.]: [s.n.], 2021. p. 171-213.
- Rollin, X.; Mambrini, M.; Abboudi, T. et al. 2003. **The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (Salmo salar L.) fry.** British Journal of Nutrition, 90: 865-876.
- ROMANELI, Rafael de Souza et al. **Nutrição aminoacídica em tilápia-do-nilo: balanço e elaboração de modelo de predição para aminoácidos essenciais.** 2023.
- ROSSI, L.; TIRAPGUI, J. **Implicações do Sistema Serotoninérgico no exercício físico.** Arq Bras Endocrinol. São Paulo, v.48, n.2, p.227-233, 2004.
- Sanderson SM, Gao X, Dai Z, Locasale JW (2019) **Methionine metabolism in health and cancer: S nexus of diet and precision medicine.** Nat Rev Cancer 19:625–637.
- Santos, F.; Pereira-Filho, M.; Sobreira, C.; Ituassú, D.; Fonseca, F. A. L. 2010b. **Exigência proteica de juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum) após privação alimentar.** Acta Amazonica, 40(3): 597-604.
- Sharma, S.; Dixon, T.; Jung, S.; Graff, E.C.; Forney, L.A.; Gettys, T.W.; Wanders, D. **Dietary Methionine Restriction Reduces Inflammation Independent of FGF21 Action.** Obesity 2019, 27, 1305–1313.
- Silva, Jakeline Veras da et al. **Exigência de valina dietética para tambaqui (Colossoma macropomum) com diferente peso corporal.** Ciência e Agrotecnologia, v. 46, 2022.
- SILVA, Jordan Kerven Patrício da. **Desenvolvimento de um quimiodosímetro para detecção de L-cisteína em meio aquoso a partir de 2, 3-dicloro-6, 7-dinitroquinoxalina.** 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SOUZA, F. O. et al. **Methionine plus cystine to lysine ratio in diets for tambaqui juveniles.** Revista Caatinga, 32(1):243- 250, 2019.
- Souza, F. O., Bomfim, M. A. D., Ribeiro, F. B., Lanna, E. A. T., Sousa, T. J. R. D., & Costa, D. D. C. **D Methionine plus cystine to lysine ratio in diets for tambaqui juveniles.** Revista Caatinga, 32(1):243-250, 2019.
- Vidal Júnior, M. V.; Donzele, J. L.; Santos, L. C.; Camargo, A. C. S.; Andrade, D. R.; 1998. **Níveis de proteína bruta para o tambaqui (Colossoma macropomum), na fase de 30 a 250 gramas.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 27, n. 3, p. 421-426.
- Wanders, D.; Forney, L.A.; Stone, K.P.; Hasek, B.E.; Johnson, W.D.; Gettys, T.W. **The Components of Age-Dependent Effects of Dietary Methionine Restriction on Energy Balance in Rats.** Obesity 2018, 26, 740–746.

WANDERS, Desiree; HOBSON, Katherine; Ji, Xiangming. **Methionine restriction and cancer biology. *Nutrients***, v. 12, n. 3, p. 684, 2020.

WILSON, R. P. **Amino acid requirements of finfish and crustaceans**. In: *Amino Acids in Animal Nutrition*, 2 ed, 2002. 427-447p.

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

WOYNÁROVICH, A.; VAN ANROOY, R. **Field guide to the culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816)**. Rome, Italy: FAO, 2019. 132p.

Yang, Y.; Wang, Y.; Sun, J.; Zhang, J.; Guo, H.; Shi, Y.; Cheng, X.; Tang, X.; Le, G. **Dietary methionine restriction reduces hepatic steatosis and oxidative stress in high-fat-fed mice by promoting H<sub>2</sub>S production. *Food Funct.*** 2019, 10, 61–77.

YUE, Yirong et al. **Dietary threonine requirement of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture international***, v. 22, p. 1457-1467, 2014.