



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL



METIONINA MAIS CISTINA DIGESTÍVEL EM RAÇÕES PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA

DAYANA DA CONCEIÇÃO DA COSTA

CHAPADINHA-MA

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL



DAYANA DA CONCEIÇÃO DA COSTA

METIONINA MAIS CISTINA DIGESTÍVEL EM RAÇÕES PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes
Bomfim

CHAPADINHA-MA

2020

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Costa, Dayana da Conceição da.
Metionina mais cistina digestível em rações para alevinos de tambatinga / Dayana da Conceição da Costa. - 2020.
60 f.

Orientador (a): Marcos Antonio Delmondes Bomfim.
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (25.06)/ccaa, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2020.

1. *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*. 2. Aminoácidos sulfurados. 3. Proteína ideal.
I. Bomfim, Marcos Antonio Delmondes. II. Título.

DAYANA DA CONCEIÇÃO DA COSTA

**METIONINA MAIS CISTINA DIGESTIVEL EM RAÇÕES
PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim (Orientador)

Doutor em Zootecnia
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Felipe Barbosa Ribeiro

Doutor em Zootecnia
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof^a. Dr^a. Jane Mello Lopes

Doutora em Ciências Fisiológicas
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

“Você é mais forte e mais capaz do que imagina, e a conquista dos seus objetivos depende apenas de você”!

Pedro Bial

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, por ter saúde, por me permitir levantar todos os dias para correr atrás dos meus objetivos e por possuir uma família maravilhosa que sempre está do meu lado.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim pelos ensinamentos, paciência, e pela confiança a mim dedicado nesta jornada. Ao Prof. Dr. Felipe Barbosa Ribeiro pela presteza e apoio em minha formação.

A minha querida mãe, Maria Francelice da Conceição da Costa, por estar sempre ao meu lado me incentivando a buscar e dar o meu melhor, e por todo o seu amor e amizade. Ao meu pai, José Maria Correia da Costa, e aos meus irmãos, Daniele e Danrley. E não poderia deixar de agradecer a minha avózinha, Francisca da Conceição, por acreditar sempre em mim e pelo seu exemplo de garra e coragem.

A Neliane Galvão, Hyanne Lima, Maykon Nunes, André Alves e Alynne Pereira, pela presteza, pelas conversas e, principalmente, pela amizade.

A todos do grupo de nutrição LANUMA: Dhulya Rodrigues, Marilene Costa, Maria Gomes, Larissa, Ada por sempre ajudarem em tudo o que precisei. E, em especial, Neliane Galvão, Rafael Marchão, Maylla Lima, Mayllane Lima e Thiago Silva, por irem além da presteza, pela amizade e os momentos de descontração. Enfim, agradeço a todos aqueles que contribuíram para a realização deste projeto.

Ao Ministério da Educação, aos funcionários dedicados da pós-graduação e aos professores pelos auxílios prestados.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, concessão da bolsa durante todo o período de mestrado e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pelo financiamento do projeto.

A todos dedico meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1.....	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVOS.....	4
2.2 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 O tambatinga: características e nutrição	5
3.2. Proteína ideal para peixes	6
3.3 Metionina mais cistina digestível para peixes	7
3.4. Métodos para determinar a exigência de aminoácidos e suas relações com a lisina para peixes	9
REFERÊNCIAS	10
CAPÍTULO 2.....	16
RELAÇÃO DA METIONINA MAIS CISTINA COM A LISINA DIGESTIVEL EM RAÇÕES PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA	16
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	19
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO 3.....	32
EXIGÊNCIA DE METIONINA MAIS CISTINA DIGESTÍVEL PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA.....	32
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	45
ANEXO ÚNICO	48

LISTA DE TABELAS

	Página
 CAPÍTULO 2	
Tabela 1. Composição percentual e química das rações experimentais, com base no conceito de proteína ideal, (matéria natural).....	21
Tabela 2. Composição em aminoácidos totais e digestíveis do milho e do farelo de soja utilizados nas rações experimentais.....	22
Tabela 3. Consumo de ração (CR), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA), eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função da relação de metionina mais cistina com a lisina digestível da ração.....	24
Tabela 4. Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA) e eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina com a lisina digestível.....	25
Tabela 5. Deposições de proteína (DPC), gordura (DGC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função da relação de metionina mais cistina com a lisina digestível da ração.....	27
Tabela 6. Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis deposições de proteína (DPC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina com a lisina digestível da ração.....	27

CAPÍTULO 3

Tabela 1.	Composição percentual e química da ração isenta de proteína e das rações experimentais (matéria natural).....	37
Tabela 2.	Composição em aminoácidos totais e digestíveis do farelo de soja utilizados nas rações experimentais.....	38
Tabela 3.	Consumo de ração (CR), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA), eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função do nível de metionina mais digestível da ração.....	40
Tabela 4.	Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA) e eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração.....	41
Tabela 5.	Deposições de proteína (DPC), gordura (DGC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração.....	43
Tabela 6.	Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis, deposição de proteínas (DPC), gordura (DGC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) de alevinos de tambatinga, em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Página
 CAPÍTULO 2	
Figura 1. Ganho de peso de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina:lisina digestível da ração.....	26
Figura 2. Deposição de proteína corporal de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina:lisina digestível da ração.....	27
 CAPÍTULO 3	
Figura 1. Ganho de peso de alevinos de tambatinga em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração.....	42
Figura 2. Deposição de proteína corporal de alevinos de tambatinga em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração.....	44

RESUMO

Foram realizados dois experimentos simultâneos com duração de 50 dias. No primeiro experimento, objetivou-se determinar a relação da metionina mais cistina com a lisina digestível em rações para alevinos de tambatinga. No segundo experimento, objetivou-se determinar a exigência de metionina mais cistina digestível em rações para alevinos de tambatinga. Em cada experimento foram utilizados 900 alevinos de tambatinga com peso médio inicial de $1,49 \pm 0,59$ a $4,14 \pm 1,73$ em delineamento de blocos casualizados, com seis repetições no tempo por tratamento (três repetições em dois blocos) e 25 peixes por unidade experimental. No primeiro experimento, os tratamentos consistiram em seis rações isolisínicas (1,45%) contendo diferentes relações da metionina mais cistina:lisina digestível (50, 55, 60, 65, 70 e 75%), formuladas pela técnica de suplementação de aminoácidos. No segundo experimento, os tratamentos consistiram em seis rações contendo diferentes níveis de metionina mais cistina digestível (0,60; 0,75; 0,90; 1,05; 1,20 e 1,35%), formuladas pela técnica de diluição. A relação da metionina mais cistina digestível com a lisina foi estimada utilizado como referência o nível de 1,80% de lisina digestível. Em cada experimento, foram avaliados os parâmetros de desempenho, eficiência alimentar, composição corporal e eficiência de retenção de nitrogênio. No primeiro experimento, a elevação da relação metionina mais cistina:lisina digestível aumentou de forma quadrática o consumo de ração, consumo de metionina mais cistina digestível, ganho de peso, taxa de crescimento específico, as deposições de proteína e cinzas corporais, e eficiência de retenção de nitrogênio dos peixes, até as relações de 57%, 73%, 58%, 58%, 59%, 58% e 60%, respectivamente. A conversão alimentar melhorou de forma quadrática até a relação estimada de 59% de metionina mais cistina:lisina digestível. A eficiência de utilização da metionina mais cistina para o ganho de peso dos peixes reduziu linearmente. A deposição de gordura corporal não foi influenciada pelos tratamentos. Concluiu-se que a relação da metionina mais cistina:lisina digestível é de 59%, com base na deposição de proteína corporal. No segundo experimento, a elevação dos níveis de metionina mais cistina reduziu de forma quadrática o consumo de ração e aumentou o ganho de peso e taxa de crescimento específico, melhorou a conversão alimentar, e aumentou as deposições de proteína e cinzas corporais até os níveis estimados de 0,89%; 1,11%; 1,14%, 1,01%, 1,07% e 1,02% de metionina mais cistina digestível, respectivamente. A eficiência de utilização da metionina mais cistina para o ganho de peso e a deposição de gordura corporal reduziu de forma linear com a elevação da concentração dietética dos aminoácidos sulfurados. A eficiência de retenção de nitrogênio reduziu de forma quadrática até o nível estimado de 0,65% de metionina mais cistina. Concluiu-se que a exigência dietética de metionina mais cistina total e digestível para alevinos de tambatinga é de 1,15% e 1,07%, respectivamente, correspondente a relação metionina mais cistina com a lisina digestível de 59%.

Palavras-Chave: *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachipomus*, aminoácidos sulfurados, proteína ideal.

ABSTRACT

Two simultaneous experiments lasting 50 days were carried out. In the first experiment, the objective was to determine the digestible methionine plus cystine to lysine ratio in rations for tambatinga fingerlings. In the second experiment, the objective was to determine the digestible methionine plus cystine requirements in rations for tambatinga fingerlings. In each experiment, 900 tambatinga fingerlings with an average initial weight of 1.49 ± 0.59 to 4.14 ± 1.73 were used in a randomized block design, with six repetitions in time per treatment (three repetitions in two blocks) and 25 fish per experimental unit. In the first experiment, the treatments consisted of six isolisinic rations (1.45%) containing different digestible methionine plus cystine: lysine ratios (50, 55, 60, 65, 70 and 75%), formulated by the amino acid supplementation technique. In the second experiment, the treatments consisted of six diets containing different levels of digestible methionine plus cystine (0.60; 0.75; 0.90; 1.05; 1.20 and 1.35%), formulated by the dilution technique. The methionine plus cystine to lysine ratio was estimated using the 1.80% level of digestible lysine. In each experiment, performance, feed efficiency, body composition and nitrogen retention efficiency parameters were evaluated. In the first experiment, the elevation of the digestible methionine plus cystine: lysine ratio increased quadratically feed intake, digestible methionine plus cystine intake, weight gain, specific growth rate, body deposition of protein and ash, and nitrogen retention efficiency of fishes, up to the ratios of 57%, 73%, 58%, 58%, 59%, 58% and 60%, respectively. The feed: gain ratio improved in a quadratic way until the estimated ratio of 59% of digestible methionine plus cystine: lysine. The efficiency of using methionine plus cystine for the weight gain of fishes decreased linearly. The body deposition of fat was not influenced by the treatments. It was concluded that the digestible methionine plus cystine: lysine ratio is 59%, based on the body deposition of protein. In the second experiment, the increase in methionine plus cystine levels reduced quadratically feed intake and increased weight gain and specific growth rate, improved the feed: gain ratio, and increased body deposition of protein and ash until to estimated digestible methionine plus cystine levels of 0.89%; 1.11%; 1.14%, 1.01%, 1.07% and 1.02%, respectively. The efficiency of using methionine plus cystine for weight gain and body deposition of fat decreased linearly with the increase in the dietary concentration of sulfur amino acids. The nitrogen retention efficiency reduced in a quadratic way until the estimated digestible methionine plus cystine level of 0.65%. It was concluded that the dietary requirement of digestible methionine plus cystine total and digestible for tambatinga fingerlings is 1.15% and 1.07%, respectively, corresponding to the digestible methionine plus cystine to lysine ratio of 59%.

Key-words: *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*, fingerlings, sulfur amino acids, ideal protein.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

O tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*) é um híbrido obtido do cruzamento da fêmea do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com o macho da pirapitinga (*Piaractus brachypomum*) que tem se destacado por chegar ao peso comercial de um quilograma em menos de um ano de cultivo, adaptação ao sistema de criação intensivo, além de ser um dos híbridos mais produzidos no país (cerca de 41 mil toneladas, junto com o tambacu) (SILVA-ACUÑA e GUEVARA, 2002; PAULA et al., 2009; HASHIMOTO et al., 2012; IBGE, 2018).

A proteína e os aminoácidos são os nutrientes que mais afetam o desempenho e a composição corporal do animal, pois participam da formação e renovação do tecido proteico, são utilizados como fonte de energia metabólica, formação de enzimas e hormônios, além de serem os componentes mais onerosos na formulação de rações (ALENCAR ARARIPE et al., 2011a; BOMFIM, 2013). Peixes, assim como outros animais não ruminantes, têm necessidade de proteína em sua dieta, entretanto, metabolicamente, estes animais têm exigência quantitativa de aminoácidos essenciais e não essenciais (FURUYA et al., 2010; BOMFIM, 2013; ABMORAD e CASTELLANI, 2011; SILVA et al., 2018). Neste sentido, e considerando a disponibilidade de aminoácidos industriais, determinar as exigências individuais dos aminoácidos, em especial os essenciais, é imprescindível para elaborar rações com proteína de maior valor biológico que proporcionem maior eficiência de retenção proteica, produtividade e capacidade de suporte dos sistemas de produção aquícolas (MARCOULI et al., 2006; SOUZA et al., 2019).

Na determinação das exigências de aminoácidos para peixes vem sendo utilizado ensaios de dose-resposta utilizando o conceito de proteína ideal na formulação das dietas (TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010; ABMORAD e CASTELLANI, 2011; ALENCAR ARARIPE et al., 2011b). O conceito de proteína ideal refere-se ao adequado balanceamento de aminoácidos para o atendimento dos processos de manutenção e crescimento dos animais, sem que haja deficiências nem excessos, sendo os aminoácidos essenciais expressos em porcentagem de um aminoácido referência, a lisina (MITCHELL, 1964).

Para se determinar a relação de um aminoácido essencial com a lisina, os níveis de lisina são fixados em valores considerados subótimos, para que seja o segundo aminoácido limitante da ração basal; e os demais aminoácidos essenciais em quantidades superiores aos valores de exigência reportados na literatura (BOISEN, 2003; SOUZA et al., 2019).

Dentre os aminoácidos essenciais, a metionina é um dos aminoácidos mais limitantes em rações à base de milho e farelo de soja para peixes (FURUYA et al., 2004; FURUYA et al., 2010; BOMFIM et al., 2008b; ROSTAGNO et al., 2017). Este aminoácido sulfurado atua na síntese proteica, é crucial para o crescimento normal dos peixes e sua principal função é doar grupos metil para reações diversas de metilação (TESHIMA et al., 2002; LEWIS, 2003; BOMFIM et al., 2008b; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2017).

A cistina, no entanto, é um aminoácido sulfurado que resulta da oxidação da cisteína (LEWIS, 2003). A cistina atua na estrutura de algumas proteínas e enzimas, formando pontes dissulfeto (NRC, 2011). Os níveis de metionina devem estar vinculados aos de cistina por ser precursor na síntese endógena deste aminoácido não essencial, o qual pode interferir na utilização da metionina para deposição de proteína corporal. Em função disso, a exigência de metionina deve estar vinculada ao de cistina, sendo expressa como metionina mais cistina (LEWIS, 2003; TANG et al., 2009).

Considerando a carência de informações sobre as exigências nutricionais do tambatinga, justifica-se a realização de pesquisas para determinar a exigência dietética de metionina mais cistina, bem como a relação destes aminoácidos com a lisina.

2. OBJETIVOS

2.2 Objetivo Geral

Determinar a exigência da metionina mais cistina digestível e relação da metionina mais cistina com a lisina em rações para alevinos de tambatinga.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos de diferentes relações dietéticas da metionina mais cistina com a lisina digestível no desempenho e eficiência alimentar de alevinos de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*);
- Avaliar os efeitos de diferentes relações dietéticas da metionina mais cistina com a lisina digestível na deposição diária de proteína, gordura e cinzas corporais, e eficiência de retenção de nitrogênio corporal de alevinos de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*);
- Avaliar os efeitos de diferentes níveis dietéticos da metionina mais cistina no desempenho e eficiência alimentar de alevinos de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*);
- Avaliar os efeitos de diferentes níveis dietéticos da metionina mais cistina na deposição diária de proteína, gordura e cinzas corporais, e eficiência de retenção de nitrogênio corporal de alevinos de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O tambatinga: características e nutrição

A hibridização em peixes tornou-se um método tradicional para a obtenção de espécies com características zootécnicas melhoradas (HASHIMOTO et al., 2012). Objetiva-se com este método explorar o vigor máximo de heterose pelo cruzamento entre duas espécies diferentes (PAULA et al., 2009; RESENDE et al., 2010; LIMA, 2014).

No Brasil, o sucesso dos cruzamentos entre peixes nativos como o do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e do tambaqui com a pirapitinga (*Piaractus brachypomum*) resultaram em híbridos com maior interesse para a exploração comercial (HASHIMOTO et al., 2012). Isso se deve a maior capacidade para ganho de peso, melhor conversão alimentar e rendimento de carcaça, além de poder reduzir o ciclo produtivo em relação aos seus progenitores (PAULA et al., 2009; RESENDE et al., 2010; HILSDORF e ÓRFÃO, 2011).

O tambatinga se destaca entre os híbridos mais produzidos no País, com produção de cerca de 41 mil toneladas junto com o tambacu (IBGE, 2018). Esta espécie, obtida pelo cruzamento da fêmea do tambaqui com o macho da pirapitinga, apresenta produção superior à pirapitinga e melhor crescimento e conversão alimentar em relação a seus progenitores (PAULA et al., 2009; HASHIMOTO et al., 2012). Possui o corpo alto, comprimido lateralmente, com coloração clara e a ponta das nadadeiras caudal e anal avermelhadas. Apresenta rastros branquiais mais desenvolvidos que a pirapitinga, o que possibilita maior eficiência no processo de filtragem de plâncton (PAULA et al., 2009).

Segundo Cruz et al. (2006), este híbrido pode chegar a 80 cm de comprimento e pesar até mais de 15 kg. Seu hábito alimentar é onívoro, em especial frugívoro-herbívoro assim como o de seus progenitores (CRUZ et al., 2006; ARARIPE, 2009; LIMA, 2014). O aparelho dentário é composto por seis dentes na área dentígera inferior, enquanto que a área dentígera superior é composta por oito dentes bem mais pronunciados com diversas projeções localizadas lateralmente (ARARIPE, 2009).

Há um número restrito de trabalhos sobre sua nutrição na literatura especializada, sendo que o enfoque foi mais direcionado a avaliação do nível de proteína bruta na ração que proporcionasse melhor desempenho produtivo.

Silva-Acuña e Guevara (2002), ao avaliarem o crescimento de tambatinga (com peso médio inicial de 0,124 kg e final de 1,3 kg) submetidos a duas dietas com diferentes níveis proteicos (24% e 28%) durante 105 dias, verificaram efeito similar das dietas no seu

desempenho. Os autores ressaltam que esta espécie pode chegar ao tamanho comercial de um kg em curto período de tempo com baixos níveis de proteína bruta em sua dieta e em sistema intensivo de criação.

Alencar Araripe et al. (2011a), ao avaliarem a redução de proteína bruta para esta espécie (40, 37, 34, 31 e 28%) com suplementação de aminoácidos industriais, recomendam o nível de 28% de proteína bruta para peixes com peso médio de 6,52 a 61,08 g, pois não compromete o seu desempenho produtivo.

Barros et al. (2017), ao avaliarem o desempenho zootécnico do tambatinga utilizando dois níveis de proteína bruta (28% e 32%) na ração, concluíram que os juvenis (36,31 a 112,82 g) alimentados com a ração com nível de 32% de proteína bruta tiveram maiores ganhos produtivos.

Com relação à exigência de aminoácidos desta espécie, Araripe (2009) e Alencar Araripe et al. (2011b) determinaram as relações da metionina mais cistina com a lisina digestível (peixes na faixa de peso de 5,52 a 40,53 g) e da treonina com a lisina digestível (peixes na faixa de peso de 5,31 a 31,41 g), correspondentes a 38,04% (0,78% de metionina mais cistina digestível) e 48,97% (1,00% de treonina digestível), respectivamente. Recentemente, Sousa (2019) determinou a exigência de lisina digestível de 1,80% para alevinos de tambatinga com peso médio de 0,81 a 13,23 g.

Diante da carência de informações a respeito da nutrição do tambatinga, há a necessidade de se realizar mais pesquisas com essa finalidade, principalmente sobre a exigência dos aminoácidos essenciais. Uma vez que utilizar valores nutricionais recomendados em rações para seus progenitores, em especial para o tambaqui, pode não assegurar desempenhos ou eficiência alimentar satisfatórios em função de suas diferentes taxas de crescimento, composição e rendimentos corporais, conforme demonstrado por Paula et al. (2009), indicando que as exigências nutricionais podem ser distintas.

3.2. Proteína ideal para peixes

A determinação das exigências nutricionais de proteína e aminoácidos para peixes tem sido prioritários (FURUYA et al., 2005; BOMFIM et al., 2008a; TAKISHITA et al., 2009). Esses nutrientes são os que mais afetam o desempenho e a composição corporal do animal, pois participam da formação e renovação do tecido proteico, são utilizados como fonte de energia metabólica, formação de enzimas e hormônios, além de serem os componentes mais onerosos na formulação de rações (ALENCAR ARARIPE et al., 2011a; BOMFIM, 2013).

Considerando que peixes, assim como os demais animais não ruminantes, necessitam de uma quantidade de aminoácidos essenciais e não essenciais para a formação de proteína corporal, ao se fornecer rações formuladas com base apenas no nível de proteína bruta para estes animais, pode não assegurar que todos os aminoácidos essenciais tenham suas necessidades atendidas, afetando a utilização da fração nitrogenada para a formação de tecido magro e o aumento na descarga de compostos nitrogenados ao ambiente (BOTARO et al., 2007; BOMFIM et al., 2008a; TAKISHITA et al., 2009). Baseado nesse pressuposto, tem se utilizado rações com redução de proteína bruta e suplementação de aminoácidos através da determinação das exigências aminoacídicas (LIMA et al., 2016).

Na determinação das exigências de aminoácidos tem se utilizado o conceito de proteína ideal na formulação de rações experimentais. O conceito de proteína ideal refere-se ao adequado balanceamento de aminoácidos para o atendimento dos processos de manutenção e crescimento dos animais, sem que haja deficiências nem excessos, sendo expressos em porcentagem de um aminoácido referência, a lisina (MITCHELL, 1964).

A escolha da lisina como aminoácido referência no conceito de proteína ideal se deve a sua disponibilidade na forma sintética, sua suplementação ser viável economicamente, sua análise ser simples e rápida, o grande número de informações sobre suas exigências e por ser utilizada em maior proporção para síntese de proteína corporal. Além disso, é o aminoácido mais limitante em algumas fontes proteicas de origem vegetal, como o glúten de milho (EMMERT e BAKER, 1997; FURUYA et al., 2005; BOMFIM et al., 2010; SILVA et al., 2018).

Outra vantagem do uso do conceito de proteína ideal na formulação de rações é sua importância econômica e ambiental, uma vez que possibilita reduzir o nível de proteína e o excesso de aminoácidos e a excreção de compostos nitrogenados pelos peixes, que é um dos nutrientes mais poluentes no meio aquático, principalmente nos cultivos intensivos (BOTARO et al., 2007; BOMFIM et al., 2008a; LEMME, 2010; BOMFIM, 2013).

3.3 Metionina mais cistina digestível para peixes

Os aminoácidos sulfurados metionina e cistina são assim denominados por possuírem em suas estruturas químicas um átomo de enxofre (LEWIS, 2003). A metionina é um aminoácido essencial para todas as espécies animais, enquanto que a cistina pode ser sintetizada endogenamente a partir da metionina, sendo considerado um aminoácido não essencial dietético (BOISEN et al., 2000; LEWIS, 2003; SAKOMURA et al., 2014).

A metionina pode ser metabolizada e convertida em cistina por uma rota irreversível. Ao contrário, a cistina não pode ser convertida a metionina (LEWIS, 2003; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2017). Para evitar que essa conversão interfira nos níveis de metionina para deposição de proteína corporal, a exigência de metionina deve estar vinculada ao de cistina, sendo expressa como metionina mais cistina (BOISEN et al., 2000; LEWIS, 2003; TANG et al., 2009; MICHELATO et al., 2013; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2017).

Além de atuar na síntese proteica, a metionina desempenha funções fisiológicas essenciais para o crescimento normal dos peixes. Sua principal função é doar grupos metil para reações de metilação, pela via S-adenosil metionina (SAM) (TESHIMA et al., 2002; LEWIS, 2003; BOMFIM et al., 2008b; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2017). Além disso, a metionina participa da formação de glutathione peroxidase, sistema antioxidativo corporal, da taurina e, junto com a lisina, atua na síntese de carnitina (LEWIS, 2003; SAKOMURA et al., 2014). A cistina, por outro lado, atua na estrutura de algumas proteínas como a insulina e imunoglobulinas e interliga cadeias polipeptídicas através das pontes dissulfeto (KIEFER et al., 2005).

Tanto a deficiência quanto o excesso de metionina pode reduzir o desempenho do animal e na eficiência alimentar, também pode provocar o aparecimento de catarata e maior susceptibilidade ao ataque por fungos (ESPE et al., 2008; ARARIPE, 2009; SAKOMURA et al., 2014).

A metionina é um dos aminoácidos mais limitantes em rações à base de milho e farelo de soja para peixes (FURUYA et al., 2004; FURUYA et al., 2010; BOMFIM et al., 2008b; MICHELATO et al., 2013; ROSTAGNO et al., 2017), e, devido a sua essencialidade, é produzido pela indústria na forma de DL-metionina (SAKOMURA et al., 2014).

Os valores reportados na literatura sobre a exigência de metionina mais cistina e sua relação com a lisina para tilápia do Nilo não tem variado significativamente (FURUYA et al., 2010; NRC, 2011). Contudo, são escassos os trabalhos avaliando a exigência destes aminoácidos para espécies nativas como o tambaqui e seus híbridos.

Para o tambaqui, Souza et al. (2019) determinou a relação da metionina mais cistina com a lisina digestível em 64,8%, correspondente a exigência de 0,94% dos aminoácidos sulfurados, semelhante ao valor de exigência determinada por Gonçalves Júnior et al. (2017).

Para o tambatinga, tanto a exigência quanto a relação da metionina mais cistina com a lisina recomendada por Araripe (2009) é bem inferior ao recomendado para seu progenitor. Como não houve efeito de tratamento sobre as variáveis avaliadas, a autora recomendou a menor relação da metionina mais cistina com a lisina digestível avaliada (38,04%),

correspondendo ao nível de 0,78% de aminoácidos sulfurosos. Considerando que a ausência de efeito pode estar relacionada à hipótese de que os aminoácidos sulfurosos não seriam os primeiros aminoácidos limitantes das rações experimentais, verifica-se, a necessidade de mais estudos para determinar a exigência e relação de metionina mais cistina com a lisina digestível para o tambatinga.

3.4. Métodos para determinar a exigência de aminoácidos e suas relações com a lisina para peixes

O método dose resposta tem sido tradicionalmente utilizado na determinação das exigências de aminoácidos para peixes e outros animais não ruminantes (ABIMORAD e CASTELLANI, 2011; BOMFIM, 2013; SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016). O princípio deste método é que a exigência seja resultado do aumento no desempenho ou na deposição proteica dos animais em resposta a elevação dos níveis de um determinado aminoácido na ração (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016).

Para determinação das exigências dos aminoácidos, as rações experimentais têm sido formuladas pela técnica de “suplementação de aminoácidos” (D’MELLO, 1982), que consiste na suplementação gradual do aminoácido avaliado à ração basal deficitária no aminoácido avaliado, utilizando-se aminoácidos industriais (NRC, 2011; LEMME, 2013; BOMFIM, 2013; SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016). Todavia, essa técnica recebe críticas em função da fixação dos níveis dos demais aminoácidos nas rações, uma vez que pode limitar a resposta nos níveis mais elevados do aminoácido avaliado, subestimando a exigência (TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010; BOMFIM, 2013).

Outra técnica que vem sendo muito utilizada em ensaios de dose resposta é a da “diluição de dietas” (FISHER e MORIS, 1970). Esta técnica consiste em diluir uma ração com elevada quantidade de proteína com outra isoenergética e isenta de proteína, obtendo assim, níveis intermediários do aminoácido a ser avaliado (SIQUEIRA et al., 2013). Nesta técnica, o balanceamento aminoacídico entre os tratamentos permanece constante, apesar do conteúdo de proteína variar, presumindo-se que a resposta seja consequência do aminoácido teste, já que é o primeiro limitante em todas as dietas obtidas da diluição (SIQUEIRA, 2009; NRC, 2011).

Estudos comparando o efeito da utilização das técnicas de suplementação de aminoácidos e da diluição das dietas para estimar a exigência de lisina para frangos de corte (SIQUEIRA et al., 2013) em diferentes fases de criação e para de alevinos de tambatinga (SOUSA, 2019) observaram equivalência entre elas na determinação das exigências

nutricionais. Contudo, de forma geral, a técnica da diluição das dietas favoreceu o potencial produtivo desses animais em relação à da suplementação. Isso deve estar relacionado ao fato de que na técnica da diluição, reduz-se a quantidade de aminoácidos industriais utilizados nas rações, que possuem maior velocidade de evacuação estomacal e absorção em relação aos oriundos da digestão proteica, reduzindo, desta forma, a eficiência de aproveitamento (BOMFIM et al., 2008a). Em ambas as técnicas a determinação das exigências aminoacídicas para peixes vem utilizando o conceito de proteína ideal na formulação das rações experimentais (TAKISHITA et al., 2009; BOMFIM et al., 2010; ABMORAD e CASTELLANI, 2011; ALENCAR ARARIPE et al., 2011b).

O método dose resposta é considerado empírico, pois se baseia na descrição de variáveis produtivas ou indicadores metabólicos em resposta a elevação dos níveis do aminoácido avaliado na ração (SIQUEIRA, 2009; NRC, 2011). Contudo, ainda é muito utilizado pela praticidade e simplicidade na realização dos experimentos, além de mostrar resultados similares aos observados pelas empresas produtoras de ração (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016). Outro método utilizado na determinação das exigências de aminoácidos para estes animais é o fatorial (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016). Este método consiste em particionar a exigência de aminoácidos dos animais, em que a exigência de um aminoácido é obtida pela soma da sua exigência para manutenção mais a sua exigência para o crescimento e/ou produção (SIQUEIRA et al., 2011a; SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016; MARCHÃO, 2018).

REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E. G.; CASTELLANI, D. Exigências nutricionais de aminoácidos para o lambari-do-rabo amarelo baseadas na composição da carcaça e do músculo. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 31–38, 2011.

ARARIPE, M.N.B.A. **Redução de proteína bruta e relações metionina + cistina e treonina com a lisina em rações para alevinos de tambatinga**. [manuscrito]. Tese (Doutorado em Ciência Animal), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.

ALENCAR ARARIPE, M.N.B.; ARARIPE, H.G.A.; LOPES, J.B.; CASTRO, P.L.; BRAGA, T.E.A.; FERREIRA, A.H.C.; ABREU, M.L.T. Redução da proteína bruta com suplementação de aminoácidos em rações para alevinos de tambatinga. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 9, p. 1845-1850, 2011a.

ALENCAR ARARIPE, M.N.B.; ARARIPE, H.G.A.; LOPES, J.B.; BRAGA, T.E.A.; ANDRADE, L.S.; MONTEIRO, A.B. Relação treonina:lisina para alevinos de tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachipomum*). **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 393–400, 2011b.

BARROS, C.A.; GODOI, D.S.; BOTINI, A.F.; JACYNTHO, L.A.; MACENO, J.F.S. Desenvolvimento de juvenis do híbrido tambatinga em tanques-rede com diferentes níveis de proteína na ração. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 14, n. 26, p. 235-246, 2017.

BOISEN, S.; HVELPLUND, T.; WEISBJERG, M.R. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. **Livestock Production Science**, Amsterdã, v. 64, p. 239-251, 2000.

BOISEN, S. Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: D'MELLO, J. P. D. (Ed.). **Amino acid in farm animal nutrition**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2003. cap. 9, p. 157-168.

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELLE, J.L.; ABREU, M.L.T.; RIBEIRO, F.B.; QUADROS, M. Redução de proteína bruta com suplementação de aminoácidos, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 10, p. 1713-1720, 2008a.

BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELLE, J.L.; FERREIRA, A.S.; RIBEIRO, F.B.; TAKISHITA, S.S. Exigência de metionina mais cistina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 783-790. 2008b.

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**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 1-8, 2010.

BOMFIM, M.A.D. Estratégias Nutricionais para Redução das Excreções de Nitrogênio e Fósforo nos Sistemas de Produção de Peixes no Nordeste: Sustentabilidade Ambiental e Aumento da Produtividade. **Revista Científica de Produção Animal**, Teresina, v. 12, n. 2, p. 122-140, 2013.

BOTARO, D.; FURUYA, W. M.; SILVA, L. C. R.; SANTOS, L. S.; SILVA, T. S. C.; SANTOS, V. G. Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques-rede. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 517-525, 2007.

CRUZ, A.G.; MELO, A.E.F.; SOBREIRA, C.B.; MAZETO, M.D.; NAOE, L.K. Densidade x Biomassa: Piscicultura. Palmas: SEAGRO – TO/ UNITINS. 13p. **SEAGRO Boletim Técnico**, 2, ISSN 1809 – 6581, Palmas, 2006.

D'MELLO, J.P.F. A comparison of two empirical methods of determining amino acid requirements. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 38, p.114–119, 1982.

EMMERT, J.L.; BAKER, D.H. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. **Journal of Applied Poultry Research**, Oxônia, v. 6, n. 4, p. 462-470, 1997.

ESPE, M.; HEVROY, E. M.; LIASET, B.; LEMME, A.; EL-MOWAFI, A. Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture**, Amsterdã, v. 274, n. 1, p. 132-141, 2008.

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

FURUYA, W.M.; BOTARO, D.; NEVES, P.R.; SILVA, L.C.R.; HAYASHI, C. Exigência de lisina pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na terminação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1571-1577, 2004.

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 tilapia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1433-1441, 2005.

FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; BOSCOLO, W.R.; CYRINO, J.E.P.; FURUYA, V.R.B.; FEIDEN, A. **Tabelas brasileiras para nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010. 100p.

GONÇALVES JÚNIOR, L.P.; SOUSA, J.G.S; SELVATICI, P.D.C.; MENDES, L.F.; VARGAS JÚNIOR, J.G.; MENDONÇA, P.P. Metionina + cistina digestível para juvenis de tambaqui. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 69, n. 3, p. 711-717, 2017.

HASHIMOTO, DT, SENHORINI, JA, FORESTI, F., E PORTO - FORESTI, F. Interspecific fish hybrids in Brazil: management of genetic resources for sustainable use. **Reviews in Aquaculture**, Amsterdã, v. 4, n. 2, p. 108-118, 2012.

HILSDORF, A.W.S.; ÓRFÃO, L.H. Aspectos gerais do melhoramento genético em peixes no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 317-324, 2011 (supl. Especial).

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. MPOG. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=3940&o=21>. Acesso em: 09 de março de 2019.

KIEFER, C.; FERREIRA, A.S.; OLIVEIRA, R.D.; DONZELE, J.L.; BRUSTOLINI, P.C.; SILVA, F.D.O. Exigência de metionina mais cistina digestíveis para suínos machos castrados mantidos em ambiente de alta temperatura dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 104-111, 2005.

LEMME, A. Availability and effectiveness of free amino acids in aquaculture. In: **Avances en Nutrición Acuicola X-Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuicola**. Monterrey, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2010. p. 8-10.

LEMME, A. Recomendaciones de aminoácidos para carpas comunes – Avances en métodos para modelar. **Amino News**, v. 17, n. 1, p. 15-27, 2013.

LEWIS, A.J. Methionine–Cystine Relationships in Pig Nutrition. In: D'MELLO, J. P. D. (Ed.). **Amino acid in farm animal nutrition**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2003. cap. 8, p. 143-155.

LIMA, M.C.C. **Desenvolvimento embrionário e larval de *Colossoma macropomum*, *Piaractus brachypomus* e do híbrido tambatinga**. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal de Goiás – Escola de Veterinária e Zootecnia, Goiânia, 2014.

LIMA, C.S.; BOMFIM, M.A.D.; SIQUEIRA, J.C.; RIBEIRO, F.B.; LANNA, E.A.T. Crude protein levels in the diets of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), fingerlings. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 183-190, jan.-mar., 2016.

MARCHÃO, R. S. **Exigências de lisina para manutenção de tambaqui**. 44f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2018.

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

MICHELATO, M.; FURUYA, W.M.; GRACIANO, T.S.; VIDAL, L.V.O.; XAVIER, T.O.; MOURA, L.B.; FURUYA, V.R.B. Digestible methionine + cystine requirement for Nile tilapia from 550 to 700 g. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 7–12, 2013.

MITCHELL, H.H. Comparative nutrition of man and domestic animals. **Academic**, New York, 1964.

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

PAULA, F. G.; SILVA, P. C.; OLIVEIRA, R. P. C.; ARAÚJO-SANTOS, J. G.; GOMIDE, P. F.; COSTA, P. H. M. Desempenho produtivo do tambaqui (*Colossoma macropomum*), da pirapitinga (*Piaractus brachypomum*) e do híbrido tambatinga (*C. macropomum* fêmea x *P. brachypomum* macho) mantidos em viveiros fertilizados. In: **46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia** - SBZ 2009, 2009, Maringá - PR. Inovação Científica e Tecnológica em Zootecnia. Maringá - PR: Universidade Estadual de Maringá, 2009.

RESENDE, E.K.; OLIVEIRA, C.A.L.; LEGAT, A.P.; RIBEIRO, R.P. Melhoramento animal no Brasil: uma visão crítica espécies aquáticas. In: **Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais**

de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 8., 2010, Maringá. Melhoramento animal no Brasil: uma visão crítica: palestras. Maringá: SBMA, 2010.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.L.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais.** 4. Ed. – Viçosa: Departamento de Zootecnia, UFV, 2017. 488p.

SAKOMURA, N.K.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P.; FERNANDES, J.B.K.; HAUSCHILD, L. Metabolismo e exigência de metionina. In: **Nutrição de Não Ruminantes.** Jaboticabal: Funep, 2014. p. 186 – 217.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. Método dose – resposta para determinar exigências nutricionais. In: **Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos.** 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2016. p. 132 – 159.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. Método fatorial para determinar exigências de proteína e aminoácidos. In: **Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos.** 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2016. p. 194 – 220.

SILVA-ACUÑA, A.; GUEVARA, M. Evaluación de dos dietas comerciales sobre el crecimiento del híbrido de Colossoma macropomum x Piaractus brachyomus. **Zootecnia Tropical**, Maracay, v.20, n.4, 2002.

SILVA, J. C.; BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; RIBEIRO, F. B.; SIQUEIRA, J. C.; SOUSA, T. J. R.; MARCHÃO, R. S.; NASCIMENTO, D. C. N. Lysine requirement for tambaqui juveniles. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2157-2168, 2018.

SIQUEIRA, J. C. **Estimativas das exigências de lisina de frangos de corte pelos métodos dose resposta e fatorial.** Jaboticabal, SP: UNESP. 154p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.

SIQUEIRA, J. C.; SAKOMURA, N. K.; GOUS, R. M., TEIXEIRA, I. A. M. A.; FERNANDES, J. B. K.; MALHEIROS, E. B. (2011). Model to estimate lysine requirements of broilers. In Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals. **Wageningen Academic Publishers**, Wageningen, p. 306-314, 2011a.

SIQUEIRA, J. C. D.; SAKOMURA, N. K.; DOURADO, L. R. B.; EZEQUIEL, J. M. B.; BARBOSA, N. A. A.; FERNANDES, J. B. K. Diet formulation techniques and lysine requirements of 1-to 22-day-old broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 123-134, 2013.

SOUSA, M.C. **Exigência de lisina para alevinos de tambatinga utilizando diferentes técnicas de formulação de rações.** 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2019.

SOUZA, F.O.; BOMFIM, M.A.D.; RIBEIRO, F.B.; LANNA, E.A.T.; SOUSA, T.J.R.; COSTA, D.C. Methionine plus cystine to lysine ratio in diets for tambaqui juveniles. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 243 – 250, jan. – mar., 2019.

TANG, L.; WANG, G.X.; JIANG, J.; FENG, L.; YANG, L.; LI, S.H.; KUANG, S.Y. Effect of methionine on intestinal enzymes activities, microflora and humoral immune of juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquaculture nutrition**, Oxford, v. 15, p. 477-483, 2009.

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

TESHIMA, S.; ALAM, M.S.; ISHIKAWA, M.; KANAZAWA, A. Assessment of requirement values for essential amino acids in the prawn, *Marsupenaeus japonicus* (Bate). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 33, p. 395-402, 2002.

CAPÍTULO 2

RELAÇÃO DA METIONINA MAIS CISTINA COM A LISINA DIGESTIVEL EM RAÇÕES PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA

Resumo - Objetivou-se determinar relação da metionina mais cistina com a lisina digestível em rações para alevinos de tambatinga. Foram utilizados 900 peixes com dois pesos médios iniciais de $1,49 \pm 0,59$ a $4,14 \pm 1,70$ em delineamento de blocos casualizados, com seis repetições no tempo por tratamento (três repetições em dois blocos) e vinte e cinco peixes por unidade experimental, durante 50 dias. Os tratamentos foram constituídos de uma ração basal suplementada com cinco níveis de DL-metionina, resultando em seis rações isoenergéticas, isocálcicas e isofosfóricas contendo diferentes relações da metionina mais cistina com a lisina digestível (50, 55, 60, 65, 70 e 75%). Foram avaliados os parâmetros de desempenho, eficiência alimentar e deposições corporais de proteína, gordura e cinzas, e eficiência de retenção de nitrogênio. A elevação da relação da metionina mais cistina com a lisina digestível aumentou de forma quadrática o consumo de ração, consumo de metionina mais cistina digestível, ganho de peso e taxa de crescimento específico até as relações estimadas de 57%, 73%, 58% e 58%, respectivamente. A conversão alimentar melhorou de forma quadrática até a relação estimada de 59% da metionina mais cistina com a lisina digestível. A eficiência de utilização da metionina mais cistina para o ganho de peso dos peixes reduziu de forma linear. As deposições de proteína e cinzas corporais e a eficiência de retenção de nitrogênio aumentaram de forma quadrática até as relações estimadas da metionina mais cistina com a lisina digestível de 59%, 58% e 60%, respectivamente. A deposição de gordura corporal não foi influenciada pelos tratamentos. Concluiu-se que a relação da metionina mais cistina com a lisina digestível em rações para alevinos de tambatinga é de 59% com base na deposição de proteína corporal.

Palavras-chave: *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*, aminoácidos sulfurados, proteína ideal.

Abstract – The objective of this study was to determine the digestible methionine plus cystine to lysine ratio in rations for tambatinga fingerlings. 900 fish with two average initial weights from 1.49 ± 0.59 to 4.14 ± 1.70 were used in a randomized block design, with six repetitions in time per treatment (three repetitions in two blocks) and twenty-five fish per experimental unit, for 50 days. The treatments consisted of a basal ration supplemented with five levels of DL-methionine, resulting in six isoenergetic, isocalcic and isophosphoric rations containing different digestible methionine plus cystine to lysine ratio (50, 55, 60, 65, 70 and 75%). Performance parameters, feed efficiency and body depositions of protein, fat and ash, and nitrogen retention efficiency were evaluated. The elevation of the digestible methionine plus cystine: lysine ratio increased quadratically feed intake, digestible methionine plus cystine intake, weight gain, specific growth rate, body deposition of protein and ash, and nitrogen retention efficiency of fishes, up to the ratios of 57%, 73%, 58%, 58%, respectively. The feed: gain ratio improved in a quadratic way until the estimated ratio of 59% of digestible methionine plus cystine: lysine. The efficiency of using methionine plus cystine for the weight gain of fishes decreased linearly. The body depositions of protein and ash, and the efficiency of nitrogen retention increased in a quadratic way until the estimated digestible methionine plus cystine to lysine ratio of 59%, 58% and 60%, respectively. The body deposition of fat was not influenced by the treatments. It was concluded that the digestible methionine plus cystine: lysine ratio is 59%, based on the body deposition of protein.

Keywords: *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*, sulfur amino acids, ideal protein.

INTRODUÇÃO

O tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*) é um híbrido do cruzamento da fêmea do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com o macho da pirapitinga (*Piaractus brachypomum*) que tem se destacado entre os mais produzidos no país por atingir o peso comercial de um quilograma em menos de um ano de cultivo e se adaptar com facilidade ao sistema intensivo (HASHIMOTO et al., 2012; IBGE, 2018).

Entre os nutrientes dietéticos, a prioridade das pesquisas tem sido dada a determinação das exigências de proteína e aminoácidos por afetarem o desempenho e a composição corporal do animal, além de serem os componentes mais onerosos na formulação de rações (ALENCAR ARARIPE et al., 2011a; BOMFIM, 2013). Peixes, assim como outros animais, têm necessidade de proteína em sua dieta, entretanto, metabolicamente, têm exigência por aminoácidos essenciais e não essenciais (BOMFIM, 2013; SILVA et al., 2018).

Na determinação das exigências de aminoácidos vem sendo utilizado o conceito de proteína ideal na formulação das dietas experimentais (BOMFIM et al., 2010; ABMORAD e CASTELLANI, 2011). O conceito de proteína ideal refere-se ao adequado balanceamento de aminoácidos para o atendimento dos processos de manutenção e crescimento dos animais, sem que haja deficiências nem excessos, sendo expressos em porcentagem de um aminoácido referência, a lisina (MITCHELL, 1964).

Para se determinar a relação de um aminoácido essencial com a lisina, os níveis de lisina são fixados em valores considerados subótimos, para que seja o segundo aminoácido limitante da ração basal; e os demais aminoácidos essenciais em quantidades superiores aos valores de exigência reportados na literatura (BOISEN, 2003; SOUZA et al., 2019).

A metionina se destaca como um dos aminoácidos mais limitantes em rações à base de milho e farelo de soja para peixes. Suas principais funções é atuar na síntese proteica e doar grupos metil para reações diversas de metilação (LEWIS, 2003; BOMFIM et al., 2008b). Seus níveis devem estar vinculados aos de cistina, por ser precursor na síntese deste aminoácido não essencial, o qual pode interferir na disponibilidade da metionina para deposição de proteína corporal (LEWIS, 2003; TANG et al., 2009).

Considerando a carência de informações sobre as exigências de metionina mais cistina para o tambatinga com base no conceito de proteína ideal, objetivou-se determinar a relação da metionina mais cistina com a lisina digestível em rações para alevinos desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, no município de Chapadinha, Maranhão, com duração de 50 dias. O estudo foi conduzido de acordo com as normas éticas estabelecidas para utilização de animais, após aprovação do Comitê de ética no uso animal da Universidade Federal do Maranhão (Protocolo N° 23115.002771/2016-15).

Foram utilizados 900 alevinos de tambatinga com dois pesos médios iniciais de $1,49 \pm 0,59$ a $4,14 \pm 1,70$ em delineamento de blocos casualizados, com seis repetições no tempo por tratamento (três repetições em dois blocos) e 25 peixes por unidade experimental.

Os tratamentos foram constituídos de uma ração basal suplementada com cinco níveis de DL-metionina, resultando em seis rações isoenergéticas, isocálcicas e isofosfóricas contendo diferentes relações da metionina mais cistina com a lisina digestível (50, 55, 60, 65, 70 e 75%) (Tabela 1). Para determinação da relação da metionina mais cistina com a lisina digestível, o teor de lisina digestível utilizado nas rações experimentais foi fixado em nível subótimo (1,45%), com base na exigência (1,80%) determinada por Sousa (2019), para que seja o segundo aminoácido limitante da ração basal, conforme procedimento metodológico preconizado por Boisen (2003). A relação dos demais aminoácidos essenciais com a lisina foram mantidas no mínimo três pontos acima daquelas estimadas com base no proposto por Furuya et al. (2010) para tilápia do Nilo.

Os teores de aminoácidos totais do milho e do farelo de soja foram obtidos por meio de aminogramas realizados no laboratório CBO (Valinhos – SP) (Tabela 2).

Foram utilizadas 36 caixas d'água com capacidade volumétrica de 500 litros dispostas em sistema fechado de circulação de água e dotadas de sistema de abastecimento, aeração suplementar e drenagem individuais.

A água de abastecimento das caixas foi proveniente de poço artesiano. A temperatura da água foi aferida diariamente, às 7:30 e 17:30 horas, com o auxílio de um termômetro de bulbo de mercúrio, graduado de 0 a 50 °C. Os controles do pH e do teor de oxigênio dissolvido e de amônia na água foram aferidos a cada sete dias, respectivamente, por intermédio de um pHmetro (Hanna), oxímetro (Hanna) e kit de amônia comercial, respectivamente.

Tabela 1 – Composição percentual e química das rações experimentais, com base no conceito de proteína ideal, (matéria natural)

Ingrediente (%)	Relação metionina mais cistina: lisina digestível (%)					
	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0
Farelo de soja	52,501	52,501	52,501	52,501	52,501	52,501
Milho	37,171	37,171	37,171	37,171	37,171	37,171
Amido de Milho	1,115	1,114	1,113	1,113	1,112	1,111
Óleo de Soja	4,492	4,461	4,431	4,401	4,370	4,340
DL-Metionina	0,000	0,074	0,148	0,221	0,295	0,369
L-Treonina	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239
L-Triptofano	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
L-Alanina	0,214	0,171	0,128	0,086	0,043	0,000
Fosfato Bicálcico	3,153	3,153	3,153	3,153	3,153	3,153
Premix Vitamínico e Mineral ¹	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Vitamina C ²	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Sal	0,509	0,509	0,509	0,509	0,509	0,509
Antioxidante (BHT)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Composição calculada ³						
Proteína Bruta (%)	27,11	27,11	27,11	27,11	27,11	27,11
Proteína Digestível (%) ⁴	24,69	24,69	24,69	24,69	24,69	24,69
Energia Digestível (kcal/kg) ⁴	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00
Fibra Bruta (%)	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43
Ca Total (%)	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
P Disp (%) ⁵	0,70	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70
Lisina Digestível (%) ⁵	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450
Met. + Cist Digestível (%) ⁵	0,725	0,798	0,870	0,943	1,015	1,088
Treonina Digestível (%) ⁵	1,189	1,189	1,189	1,189	1,189	1,189
Triptofano Digestível (%) ⁵	0,363	0,363	0,363	0,363	0,363	0,363
Relação Met. + Cist. Dig./ED (g/Mcal)	0,242	0,266	0,290	0,314	0,338	0,363
Relação Met+Cist /Lisina Dig.	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0
Relação Treonina./Lisina Dig.	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0
Relação Triptofano./Lisina Dig.	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0

¹ Suplemento vitamínico e mineral comercial (5 kg/t), com níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 1.200.000 UI; Vit. D3, 200.000 UI; Vit. E, 1.200 mg; Vit. K3, 2.400 mg; Vit. B1, 4.800 mg; Vit.B2, 4.800 mg; Vit.B6, 4.800 mg; Vit.B12, 4.800 mg; Vit.C, 48 g; ác. Fólico, 1.200 mg; pantotenato de Ca, 12.000 mg; Vit. C, 48.000 mg; biotina, 48 mg; cloreto de colina, 108 g; niacina, 24.000 mg; Fe, 50.000 mg; Cu, 3.000 mg; Mn, 20.000 mg; Zn, 30.000 mg; I, 100 mg; Co, 10 mg; Se, 100 m;

² Vit. C: sal cálcica 2-monofosfato de ácido ascórbico, 42% de princípio ativo;

³ Com base nos valores propostos por Rostagno et al. (2011);

⁴ Com base nos coeficientes de digestibilidade para o amido propostos por Furuya et al. (2010) para tilápia do Nilo; e do milho, farelo de soja e óleo de soja propostos por Vidal Júnior (2000);

⁵ Com base nos coeficientes de digestibilidade para os aminoácidos industriais propostos por Rostagno et al. (2011) para aves e para os aminoácidos e da disponibilidade para o fósforo do milho e do farelo de soja propostos por Furuya et al. (2010).

Tabela 2 – Composição em aminoácidos totais (AAT) e digestíveis (AAD) do milho e do farelo de soja utilizados nas rações experimentais

(%)	Milho (%)		Farelo de soja (%)	
	AAT ¹	AAD ²	AAT ¹	AAD ²
Lisina	0,30	0,27	2,94	2,75
Metionina	0,17	0,15	0,59	0,55
Metionina + cistina	0,30	0,27	1,27	1,16
Treonina	0,34	0,30	1,91	1,74
Triptofano	0,04	0,04	0,78	0,72
Arginina	0,44	0,41	3,48	3,32
Valina	0,40	0,35	2,27	2,02
Alanina	0,61	0,51	2,11	1,99
Isoleucina	0,30	0,26	2,27	2,09
Leucina	0,91	0,80	3,47	3,25
Histidina	0,25	0,22	1,28	1,21
Fenilalanina	0,38	0,35	2,44	2,29
Fenilalanina + tirosina	0,70	0,64	4,22	3,89
Proteína bruta	8,52		45,60	

¹Aminoácidos totais, determinados por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) pelo laboratório CBO – Valinhos, SP. ²Aminoácidos digestíveis, calculados com base nos coeficientes de digestibilidade apresentados na Tabela Brasileira para Tilápia (FURUYA et al., 2010).

As temperaturas máximas e mínimas da água mantiveram-se em torno de $26,71 \pm 0,37$ °C e $24,50 \pm 0,58$ °C, respectivamente. A concentração de oxigênio dissolvido na água ficou em torno de $8,20 \pm 0,72$ ppm, o pH $6,52 \pm 0,61$ e amônia total $< 1,00$ ppm. Os parâmetros de qualidade da água estão de acordo com a recomendação para a criação da espécie, conforme preconizado por Gomes et al. (2010) e Mendonça et al. (2012).

Os ingredientes das rações experimentais foram misturados, umedecidos em água aquecida a cerca de 50 °C e peletizados utilizando-se de um moinho de carne (C.A.F. Picadores de carne – modelo 98 STI). Em seguida, as rações foram secas em estufa com circulação forçada de ar durante 24 horas. Após a secagem foram trituradas e peneiradas para obtenção de péletes em diferentes diâmetros.

As rações foram oferecidas *ad libitum* diariamente, em seis refeições (8h, 10h, 12h, 14h, 16h e 18h) em pequenas quantidades, com repasses sucessivos até a saciedade aparente, evitando dessa forma, sobras ou subfornecimento. A limpeza das caixas foi realizada diariamente por sifonagem, sempre após a aferição da temperatura da água.

No início do experimento, uma amostra em torno de 50 gramas de peixes foi insensibilizada e eutanasiada com overdose de benzocaína (250 mg/L) e congelada para determinação da composição corporal inicial. No final do experimento, após jejum de 24 horas, os peixes foram pesados, insensibilizados e eutanasiados com overdose de benzocaína (250 mg/L) e congelados por unidade experimental para determinação das composições corporais finais.

Após o congelamento, as amostras de peixes (inicial e final) foram secas em estufa com circulação forçada de ar, pré-desengorduradas, moídas em moinho do tipo Willye (modelo TE – 650) e acondicionadas em recipientes para análises laboratoriais. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, conforme procedimentos descritos por Detmann et al. (2012).

Foram avaliados o consumo de ração (CR), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA), eficiência de metionina mais cistina para o ganho (EMCG). Com base na composição corporal (teores de proteína, gordura e cinzas corporais) foram avaliadas as taxas de deposição diária de proteína (DPC), gordura (DGC) e cinzas (DCZC) corporais, e a eficiência de retenção corporal de nitrogênio (ERN) dos peixes, de acordo com as equações abaixo:

- CR (g)=Ração consumida durante período experimental-eventuais sobras
- GP (g)=Peso médio final-peso médio inicial
- CMCD (mg)=
$$\frac{[\text{Consumo de ração (mg)} \times \text{teor de metionina mais cistina digestível (mg)}]}{100}$$
- TCE (%/dia)=
$$\frac{[(\text{Logaritmo natural do peso final (g)} - \text{logaritmo natural do peso inicial (g)}) \times 100]}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- CA (g/g)=
$$\frac{\text{Consumo de ração (g)}}{\text{Ganho de peso (g)}}$$
- EMCG (g/g)=
$$\frac{\text{Ganho de peso (g)}}{\text{Consumo de metionina mais cistina digestível (g)}}$$
- DPC (mg/dia)=
$$\frac{\{[(\% \text{ PC final} \times \text{peso final (mg)}) - (\% \text{ PC inicial} \times \text{peso inicial (mg)})]\}/100\}}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- DGC (mg/dia)=
$$\frac{\{[(\% \text{ GC final} \times \text{peso final (mg)}) - (\% \text{ GC inicial} \times \text{peso inicial (mg)})]\}/100\}}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- DCZC (mg dia)=
$$\frac{\{[(\% \text{ CZC final} \times \text{peso final (mg)}) - (\% \text{ CZC inicial} \times \text{peso inicial (mg)})]\}/100\}}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- ERN (%)=
$$\frac{[(\% \text{ N corporal final} \times \text{peso final (g)}) - (\% \text{ N corporal inicial} \times \text{peso inicial (g)})]}{(\text{Consumo de ração (g)} \times \text{teor de N da ração (\%)})/100}$$

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SAEG 9.1 (2007). Os dados foram interpretados por meio de análise de variância ao nível de cinco por cento de probabilidade. Para as variáveis que tiveram efeitos das relações metionina mais cistina:lisina digestível pela análise de variância, realizaram-se análises de regressão por meio de modelos linear e quadrático. Para a escolha do melhor modelo de ajuste levou-se em consideração o valor de P (significância) e o R^2 (SQ do modelo/ SQ do tratamento).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos influenciaram ($P<0,05$) todas as variáveis de desempenho e eficiência alimentar. A elevação da relação metionina mais cistina com a lisina digestível proporcionou elevação de forma quadrática no consumo de ração ($P<0,05$), consumo de metionina mais cistina digestível ($P<0,01$), ganho de peso ($P<0,05$), taxa de crescimento ($P<0,05$), aumentando essas variáveis até as relações de 57, 73, 58 e 58, respectivamente; melhorou a conversão alimentar ($P<0,05$) até a relação de 59%. Por outro lado, observou-se uma redução de forma linear ($P<0,01$) na eficiência de metionina mais cistina para o ganho de peso (Tabelas 3 e 4, Figura 1).

Os resultados demonstram que o melhor balanceamento aminoacídico proporcionado pela elevação da relação da metionina mais cistina com a lisina digestível resultou em maior consumo de ração (energia e demais nutrientes) e, conseqüentemente, maior ganho de peso e taxa de crescimento específico, aumentando a proporção do alimento destinado aos processos de produção em relação à manutenção (NRC, 2011) até, pelo menos, a relação de 58%.

Tabela 3 – Consumo de ração (CR), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA), eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função da relação de metionina mais cistina com a lisina digestível da ração

Relação metionina mais cistina:lisina digestível (%)	Variável					
	CR (g)	CMCD (mg)	GP (g)	TCE (% dia ⁻¹)	CA (g g ⁻¹)	EMCG (g g ⁻¹)
50	27,60	200,17	21,02	4,50	1,37	102,47
55	30,12	240,33	23,28	4,65	1,38	96,31
60	29,73	258,50	23,42	4,70	1,32	90,99
65	26,41	249,17	19,30	4,36	1,40	77,63
70	27,14	275,50	21,08	4,51	1,34	76,79
75	25,19	273,83	16,64	4,11	1,56	60,83
Valor de P linear	< 0,001	< 0,001	0,005	0,003	0,040	< 0,001
Valor de P quadrático	0,012	0,005	0,031	0,016	0,020	0,999
CV (%)	6,47	6,15	15,30	5,56	8,57	12,33

CV – Coeficiente de variação

Araripe (2009), avaliando relações (38,04; 42,72; 47,40; 52,08 e 56,76%) da metionina mais cistina com a lisina digestível para alevinos de tambatinga não verificou influência dos tratamentos no desempenho desses animais, concluindo na menor relação. A ausência de efeito no desempenho pode estar relacionada à hipótese de que os aminoácidos sulfurados não seriam os primeiros aminoácidos essenciais limitantes das rações experimentais, uma vez que as relações da treonina (58,2%) e do triptofano (16%) com a

lisina estão inferiores ao mínimo recomendado pelo NRC (2011) e Furuya et al. (2010) para tilápias do Nilo; e por Firmo et al. (2018) para juvenis de tambaqui.

Tabela 4 – Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA) e eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina com a lisina digestível da ração

Variável	Modelo	Equação	R ²	Relação (%)
CR (g)	Linear	$\hat{Y} = -0,138956x + 36,3814$	0,46	-----
CR (g)	Quadrático	$\hat{Y} = -0,0127791x^2 + 1,45843x - 12,605$	0,67	57
CMCD (mg)	Linear	$\hat{Y} = 2,65429x + 101,923$	0,80	-----
CMCD (mg)	Quadrático	$\hat{Y} = -0,126065x^2 + 18,4123x - 399,556$	0,89	73
GP (g)	Linear	$\hat{Y} = -0,186314x + 32,4321$	0,46	-----
GP (g)	Quadrático	$\hat{Y} = -0,0192343x^2 + 2,21798x - 41,2994$	0,73	58
TCE (% dia ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = -0,015781x + 1,0799$	0,46	-----
TCE (% dia ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = -0,00170821x^2 + 0,197745x - 1,08987$	0,75	58
CA (g g ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = 0,00500952x + 5,45825$	0,29	-----
CA (g g ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = 0,000785658x^2 - 0,0931977x + 4,09159$	0,68	59
EMCG (g g ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = -1,60072x + 184,212$	0,96	-----

Por outro lado, o valor obtido nesta pesquisa para a taxa de crescimento específico é inferior a relação de 64,4% estimado por Souza et al. (2019) para esta mesma variável, que avaliaram diferentes relações da metionina mais cistina com a lisina digestível (50, 55, 60, 65, 70 e 75%) para juvenis de tambaqui.

Pesquisas realizadas com alevinos de tilápia do Nilo apresentaram valores ligeiramente superiores em relação aos obtidos nesta pesquisa. Furuya et al. (2001) ao avaliarem a exigência de metionina mais cistina digestível e total para alevinos de tilápia do Nilo estimaram a relação de 61% de metionina mais cistina com a lisina digestível. Bomfim et al. (2008b) ao avaliarem diferentes relações (59,5; 63,5; 67,5; 71,5 e 75,5%) da metionina mais cistina com a lisina digestível para alevinos de tilápia do Nilo não verificaram influência dos aminoácidos sulfurados no desempenho e eficiência alimentar, concluindo pela menor relação avaliada. Já o NRC (2011) recomenda a relação de 62,5% da metionina mais cistina digestível para juvenis de tilápia do Nilo.

A conversão alimentar dos peixes melhorou ($P < 0,05$) de forma quadrática até a relação estimada de 59% de metionina mais cistina com a lisina digestível (Tabelas 3 e 4). Isto demonstra que o melhor balanceamento da ração ocasionado pelo aumento da relação metionina mais cistina com a lisina digestível também influenciou na eficiência de aproveitamento dos nutrientes, preferencialmente para a deposição proteica, já que a

deposição de tecido magro (proteína) é mais eficiente por unidade de ganho de peso que a deposição de gordura corporal por agregar maior quantidade de água (BOMFIM et al., 2010; SOUZA et al., 2019).

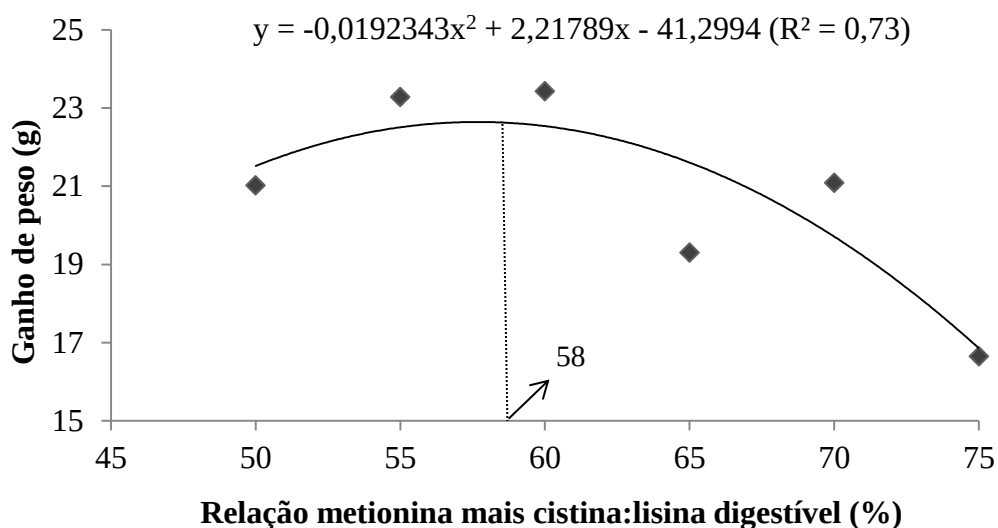


Figura 1 – Ganho de peso de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina com a lisina digestível da ração.

Para a conversão alimentar de juvenis de tambaqui, Souza et al. (2019) determinaram valor superior ao obtido nesta pesquisa. Os autores estimaram a relação de 64,8% da metionina mais cistina com a lisina digestível.

A eficiência de utilização da metionina mais cistina para o ganho de peso dos peixes reduziu ($P < 0,01$) linearmente (Tabelas 3 e 4). Este resultado pode estar relacionado a outras vias metabólicas dos aminoácidos sulfurados, além da deposição de proteína corporal, uma vez que a metionina atua como um importante doador de grupos metil para reações diversas de metilação (BOMFIM et al., 2008b; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2017). Apesar da metionina mais cistina em níveis dietéticos inferiores ser utilizada de forma mais eficiente para o ganho de peso, sua suplementação é necessária até a relação de 59% para assegurar a otimização do desempenho (BOMFIM et al., 2008b; SAKOMURA et al., 2014).

Para as deposições de proteína e cinzas corporais e eficiência de retenção de nitrogênio, houve comportamento quadrático ($P < 0,05$), aumentando essas variáveis até as relações de 59%, 58% e 60% de metionina mais cistina com a lisina digestível, respectivamente (Tabelas 5 e 6, Figura 2). A deposição de gordura corporal não foi influenciada pelos tratamentos ($P > 0,05$).

Tabela 5- Deposições de proteína (DPC), gordura (DGC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função da relação de metionina mais cistina com a lisina digestível da ração

Relação metionina mais cistina:lisina digestível (%)	Variável			
	DPC (mg dia ⁻¹)	DGC (mg dia ⁻¹)	DCZC (mg dia ⁻¹)	ERN (%)
50	43,19	36,47	11,18	28,49
55	57,07	29,42	14,70	34,66
60	58,12	25,49	15,23	36,40
65	39,89	32,33	10,23	28,04
70	43,11	35,07	10,69	29,61
75	34,25	27,03	8,70	25,17
Valor de P linear	0,019	0,999	0,004	0,082
Valor de P quadrático	0,030	0,999	0,011	0,036
CV (%)	26,80	29,43	23,14	21,45

CV – Coeficiente de variação.

Tabela 6– Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis deposições de proteína (DPC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina com a lisina digestível da ração

Variável	Modelo	Equação	R ²	Relação (%)
DPC (mg dia ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = -0,598905x + 83,3707$	0,34	-----
DPC (mg dia ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = -0,0749698x^2 + 8,77234x - 204,014$	0,62	59
DCZC (mg dia ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = -0,16799x + 22,2869$	0,36	-----
DCZC (mg dia ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = -0,01987x^2 + 2,31576x - 53,8814$	0,64	58
ERN (%)	Linear	$\hat{Y} = -15,8035x + 44,7217$	0,25	-----
ERN (%)	Quadrático	$\hat{Y} = -3,83806x^2 + 4,56847x - 102,41$	0,63	60

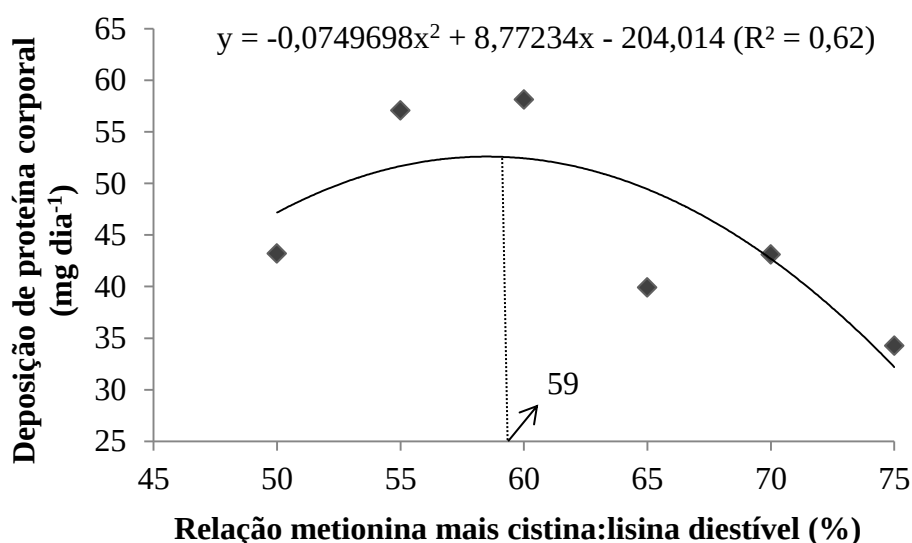


Figura 2 – Deposição de proteína corporal de alevinos de tambatinga em função da relação metionina mais cistina com a lisina digestível da ração.

O aumento diário da deposição de proteína corporal confirma os resultados observados das variáveis de desempenho e eficiência alimentar, e demonstra que o ajuste do balanceamento aminoacídico favorece a formação de tecido magro por aumentar a eficiência de utilização do alimento a ser convertido em proteína muscular (SILVA et al. 2018).

Estes resultados diferem dos relatados por Bomfim et al. (2008b) e Souza et al. (2019), que não verificaram influência das relações da metionina mais cistina com a lisina digestível avaliadas em suas pesquisas sobre as taxas de deposição diária de proteína e gordura, e eficiência de retenção de nitrogênio. A hipótese para que não houvesse variação dessas variáveis, em ambas as pesquisas, pode estar relacionada ao atendimento da exigência no menor nível avaliado (BOMFIM et al., 2008b) e o coeficiente de variação (SOUZA et al., 2019).

A ausência de variação na deposição de gordura corporal pode estar relacionada ao nível proteico utilizado nas rações experimentais (relação energia:proteína), uma vez que o gasto energético não variou significativamente em função de terem sido utilizadas rações com relações energia:proteína similares.

Por outro lado, o aumento na deposição de cinzas pode estar relacionado à formação do tecido ósseo que é importante para a sustentação do tecido muscular (SOUSA et al., 2019), uma vez que o animal ganha peso de quatro formas: deposição de gordura, proteína (tecido magro), deposição de água e de minerais (NEME et al., 2006; SILVA et al., 2018; SOUSA et al., 2018).

O aumento da eficiência de retenção de nitrogênio, em função da elevação da relação da metionina mais cistina com a lisina digestível, corrobora o resultado obtido para a deposição de proteína corporal, e demonstra que o balanceamento do perfil aminoacídico até a relação de 60% proporcionou melhor eficiência da proteína da dieta para depositar tecido magro (FIRMO et al., 2018).

A relação da metionina mais cistina com a lisina digestível varia entre os resultados encontrados na literatura, em que a maioria das pesquisas foi feita com a tilápia do Nilo. O NRC (2011) recomenda uma relação de 62,5% para juvenis de tilápia do Nilo, similar aos 60% e 61% recomendados nas Tabelas Brasileiras para Nutrição de Tilápias (2010) e por Furuya et al. (2001), respectivamente. Enquanto que Bomfim et al. (2008b) recomendam a relação de 59,5%. Já para o tambaqui, Souza et al. (2019) recomendam a relação de 64,8% para juvenis dessa espécie.

A divergência entre os diversos resultados pode estar atribuída ao critério para escolha da variável (desempenho ou deposição de tecidos). Para a determinação da exigência dos aminoácidos essenciais pelo método dose resposta o critério mais utilizado é o ganho de peso. Entretanto, a deposição de proteína corporal é um parâmetro mais objetivo porque considera apenas o acréscimo de tecido magro (BUREAL & ENCARNAÇÃO, 2006; SILVA, 2016).

Considerando os resultados obtidos, a relação da metionina mais cistina com a lisina digestível recomendada para alevinos de tambatinga é 59,0%, por melhorar a conversão alimentar e aumentar a deposição de proteína corporal para formação de tecido magro.

CONCLUSÃO

A relação da metionina mais cistina com a lisina digestível em rações para alevinos de tambatinga é de 59%.

REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E. G.; CASTELLANI, D. Exigências nutricionais de aminoácidos para o lambari-do-rabo amarelo baseadas na composição da carcaça e do músculo. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 31–38, 2011.
- ARARIPE, M.N.B.A. **Redução de proteína bruta e relações metionina + cistina e treonina com a lisina em rações para alevinos de tambatinga**. [manuscrito]. Tese (Doutorado em Ciência Animal), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.
- ALENCAR ARARIPE, M.N.B.; ARARIPE, H.G.A.; LOPES, J.B.; CASTRO, P.L.; BRAGA, T.E.A.; FERREIRA, A.H.C.; ABREU, M.L.T. Redução de proteína bruta com suplementação de aminoácidos em rações para alevinos de tambatinga. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 9, p. 188845–1850, 2011a.
- BOISEN, S. Ideal dietary amino acid profiles for pigs. In: D’MELLO, J. P. D. (Ed.). **Amino acid in farm animal nutrition**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2003. cap. 9, p. 157-168.
- BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELLE, J.L.; FERREIRA, A.S.; RIBEIRO, F.B.; TAKISHITA, S.S. Exigência de metionina mais cistina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 783-790. 2008b.
- 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**, Viçosa, v. 39, n. 1, p.1-8, 2010.
- BOMFIM, M.A.D. Estratégias Nutricionais para Redução das Excreções de Nitrogênio e Fósforo nos Sistemas de Produção de Peixes no Nordeste: Sustentabilidade Ambiental e

Aumento da Produtividade. **Revista Científica de Produção Animal**, Teresina, v. 12, n. 2, p. 122-140, 2013.

BUREAU, D.P.; ENCARNAÇÃO, P.M. Adequately defining the amino acid requirements of fish: the case example of lysine. In: **SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA**, 8., 2006, Monterrey, Anais eletrônicos...Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2006.

DETMANN, E.; SOUZA, M.D.; VALADARES FILHO, S.D.C.; QUEIROZ, A.D.; BERCHIELLI, T.T.; SALIBA, E.D.O.; AZEVEDO, J.A.G. **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

FIRMO, D.S.; BOMFIM, M.A.D.; RIBEIRO, F.B.; SIQUEIRA, J.C.; LANNA, E.A.T.; TAKISHITA, S.S.; SOUZA, T.J.R.; PORTO, N.G. Relação da treonina com a lisina em dietas para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2169 - 2180, 2018.

FURUYA, W.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B.; BOTARO, D.; SILVA, L.C.; NEVES, P.R. Exigências de metionina + cistina total e digestível para alevinos revertidos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.), baseadas no conceito de proteína ideal. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 885-889. 2001.

FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; BOSCOLO, W.R.; CYRINO, J.E.P.; FURUYA, V.R.B.; FEIDEN, A. **Tabelas brasileiras para nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010. 100p.

GOMES, L. C. **Espécies nativas para a piscicultura no Brasil**. 2ª. ed. Editora: UFSM, Santa Maria, 2010. p. 175-204.

GONÇALVES JÚNIOR, L.P.; SOUSA, J.G.S; SELVATICI, P.D.C.; MENDES, L.F.; VARGAS JÚNIOR, J.G.; MENDONÇA, P.P. Metionina + cistina digestível para juvenis de tambaqui. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 69, n. 3, p. 711-717, 2017.

HASHIMOTO, DT, SENHORINI, JA, FORESTI, F., E PORTO - FORESTI, F. Interspecific fish hybrids in Brazil: management of genetic resources for sustainable use. **Reviews in Aquaculture**, Amsterdã, v. 4, n. 2, p. 108-118, 2012.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. MPOG. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=3940&o=21>. Acesso em: 09 de março de 2019.

LEWIS, A.J. Methionine–Cystine Relationships in Pig Nutrition. In: D’MELLO, J. P. D. (Ed.). **Amino acid in farm animal nutrition**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2003. cap. 8, p. 143-155.

MENDONÇA, P. P., COSTA, P. C., POLESE, M. F., VIDAL JR, M. V., & ANDRADE, D. R. Efeito da suplementação de fitase na alimentação de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 61, n. 235, p. 437-448, 2012.

MITCHELL, H.H. Comparative nutrition of man and domestic animals. **Academic**, New York, 1964.

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

NEME, R.; SAKOMURA, N.K.; FUKAYAMA, E.H.; FREITAS, E.R.; FIALHO, F.B.; RESENDE, K.T.; FERNANDES, J.B.K. Curvas de crescimento e de deposição dos componentes corporais em aves de postura de diferentes linhagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 1091-1100, 2006 (suplemento).

ROSTAGNO, R.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SAKOMURA, N.K.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P.; FERNANDES, J.B.K.; HAUSCHILD, L. Metabolismo e exigência de metionina. In: **Nutrição de Não Ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2014. p. 186 – 217.

SILVA, J. C.; BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; RIBEIRO, F. B.; SIQUEIRA, J. C.; SOUSA, T. J. R.; MARCHÃO, R. S.; NASCIMENTO, D. C. N. Lysine requirement for tambaqui juveniles. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n.5, p. 2157-2168, 2018.

SOUSA, M.C. **Exigência de lisina para alevinos de tambatinga utilizando diferentes técnicas de formulação de rações**. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2019.

SOUSA, T.J.R.; BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; RIBEIRO, F.B.; SIQUEIRA, J.C.; SILVA, J.C.; MARCHÃO, R.S. Phosphorus requirements of tambaqui juveniles. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2145-2156, 2018.

SOUZA, F.O.; BOMFIM, M.A.D.; RIBEIRO, F.B.; LANNA, E.A.T.; SOUSA, T.J.R.; COSTA, D.C. Methionine plus cystine to lysine ratio in diets for tambaqui juveniles. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 243 – 250, jan. – mar., 2019.

TANG, L.; WANG, G.X.; JIANG, J.; FENG, L.; YANG, L.; LI, S.H.; KUANG, S.Y. Effect of methionine on intestinal enzymes activities, microflora and humoral immune of juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquaculture nutrition**, Oxford, v.15, p. 477-483, 2009.

VIDAL JUNIOR, M. V. **Técnicas de determinação de digestibilidade e determinação de digestibilidade de nutrientes de alimentos para tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. Viçosa, MG: UFV. 96p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, 2000.

CAPÍTULO 3

EXIGÊNCIA DE METIONINA MAIS CISTINA DIGESTÍVEL PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA

Resumo - Objetivou-se determinar a exigência da metionina mais cistina digestível para alevinos de tambatinga. Foram utilizados 900 peixes com dois pesos médios iniciais de $1,49 \pm 0,59$ a $4,14 \pm 1,73$ em delineamento de blocos casualizados, com seis repetições no tempo por tratamento (três repetições em dois blocos) e vinte e cinco peixes por unidade experimental, durante 50 dias. Os tratamentos foram constituídos por seis rações isoenergéticas, isocálcicas e isofosfóricas, contendo diferentes níveis de metionina mais cistina digestível (0,60; 0,75; 0,90; 1,05; 1,20 e 1,35%), formuladas com base na técnica de diluição das dietas. A relação da metionina mais cistina com a lisina digestível foi estimada utilizado como referência o nível de 1,80% de lisina digestível. Foram avaliados parâmetros de desempenho, eficiência alimentar e deposições corporais de proteína, gordura e cinzas, e a eficiência de retenção de nitrogênio. Os tratamentos influenciaram todas as variáveis de desempenho e eficiência alimentar. A elevação dos níveis de metionina mais cistina digestível reduziu de forma quadrática o consumo de ração e aumentou o ganho de peso e taxa de crescimento específico até os níveis estimados de 0,89%, 1,11% e 1,14% de metionina mais cistina digestível, respectivamente. O consumo de metionina mais cistina digestível aumentou de forma linear. A conversão alimentar melhorou de forma quadrática até o nível estimado de 1,01% de metionina mais cistina digestível. A eficiência de utilização da metionina mais cistina para o ganho de peso reduziu de forma linear. As deposições de proteína e cinzas corporais aumentaram de forma quadrática até os níveis estimados de 1,07% e 1,02% de metionina mais cistina digestível, respectivamente, e a deposição de gordura corporal reduziu de forma linear. A eficiência de retenção de nitrogênio reduziu de forma quadrática após o nível estimado de 0,65%. Concluiu-se que a exigência dietética de metionina mais cistina total e digestível para alevinos de tambatinga é de 1,14% e 1,07%, respectivamente, correspondente a uma relação metionina mais cistina com a lisina digestível de 59%.

Palavras-chave: *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*, aminoácidos sulfurados, proteína ideal.

Abstract - The objective of this study was to determine the digestible methionine plus cystine requirements in rations for tambatinga fingerlings. 900 fish with two average initial weights from 1.49 ± 0.59 to 4.14 ± 1.70 were used in a randomized block design, with six repetitions in time per treatment (three repetitions in two blocks) and twenty-five fish per experimental unit, for 50 days. The treatments consisted of six diets containing different levels of digestible methionine plus cystine (0.60; 0.75; 0.90; 1.05; 1.20 and 1.35%), formulated by the dilution technique. The methionine plus cystine to lysine ratio was estimated using the 1.80% level of digestible lysine. Performance, feed efficiency, body composition and nitrogen retention efficiency parameters were evaluated. The treatments influenced all variables of performance and feed efficiency. The increase in methionine plus cystine levels reduced quadratically feed intake and increased weight gain and specific growth rate until to estimated digestible methionine plus cystine levels of 0.89%, 1.11% e 1.14%, respectively. The methionine plus digestible cystine intake increased linearly. The feed: gain ratio improved in a quadratic way until the estimated digestible methionine plus cystine level of 1.01%. The efficiency of using methionine plus cystine for weight gain decreased linearly. The body depositions of protein and ash increased quadratically to the estimated digestible methionine plus cystine levels of 1.07% and 1.02%, respectively, and the body deposition of fat decreased in a linear manner. The nitrogen retention efficiency reduced in a quadratic way after the estimated level of 0.65%. It was concluded that the dietary requirement of digestible methionine plus cystine total and digestible for tambatinga fingerlings is 1.14% and 1.07%, respectively, corresponding to the digestible methionine plus cystine to lysine ratio of 59%.

Keywords: *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomum*, sulfur amino acids, ideal protein.

INTRODUÇÃO

O tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachipomum*) é um híbrido do cruzamento da fêmea do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com o macho da pirapitinga (*Piaractus brachipomum*) que tem se destacado entre os híbridos mais produzidos no país por atingir o peso comercial de um quilograma em menos de um ano de cultivo e se adaptar com facilidade ao sistema intensivo (HASHIMOTO et al., 2012; IBGE, 2018).

Considerando que a fração proteica é o componente mais oneroso no custo de uma ração, que seu valor nutricional é relacionado à sua composição/balanceamento dos aminoácidos, como também a disponibilidade de aminoácidos industriais, determinar as exigências individuais dos aminoácidos, em especial os essenciais em dietas práticas, é imprescindível para elaborar rações de menor custo que proporcionem maior eficiência de retenção proteica, produtividade e capacidade de suporte dos sistemas de produção aquícolas (MARCOULI et al., 2006; SOUZA et al., 2019).

Na determinação das exigências de aminoácidos para peixes vem sendo utilizado ensaios de dose-resposta utilizando o conceito de proteína ideal na formulação das dietas (BOMFIM et al., 2010; ABMORAD e CASTELLANI, 2011). O conceito de proteína ideal refere-se ao adequado balanceamento de aminoácidos para o atendimento dos processos de manutenção e crescimento dos animais, sem que haja deficiências nem excessos, sendo os aminoácidos essenciais expressos em porcentagem de um aminoácido referência, a lisina (MITCHELL, 1964).

A metionina se destaca como um dos aminoácidos mais limitantes em rações à base de milho e farelo de soja para peixes. Suas principais funções é atuar na síntese proteica e doar grupos metil para reações diversas de metilação (LEWIS, 2003; BOMFIM et al., 2008b). A cistina, no entanto, é um aminoácido sulfurado que resulta da oxidação da cisteína (LEWIS, 2003). A cistina atua na estrutura de algumas proteínas e enzimas, formando pontes dissulfeto (NRC, 2011). Os níveis de metionina devem estar vinculados aos de cistina por ser precursor na síntese endógena deste aminoácido não essencial, o qual pode interferir na utilização da metionina para deposição de proteína corporal, sendo expressos como metionina mais cistina (LEWIS, 2003; TANG et al., 2009).

Considerando a carência de informações sobre as exigências nutricionais do tambatinga, objetivou-se determinar a exigência da metionina mais cistina digestível para alevinos desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, no município de Chapadinha, Maranhão, com duração de 50 dias. O estudo foi conduzido de acordo com as normas éticas estabelecidas para utilização de animais, após aprovação do Comitê de ética no uso animal da Universidade Federal do Maranhão (Protocolo N° 23115.002771/2016-15).

Foram utilizados 900 alevinos de tambatinga com dois pesos médios iniciais de $1,49 \pm 0,59$ a $4,14 \pm 1,73$ em delineamento de blocos casualizados, com seis repetições no tempo por tratamento (três repetições em dois blocos) e 25 peixes por unidade experimental.

Os tratamentos foram constituídos por seis rações isoenergéticas, isocálcicas e isofosfóricas, contendo diferentes níveis de metionina mais cistina digestível (0,60; 0,75; 0,90; 1,05; 1,20 e 1,35%) formuladas com base na técnica de diluição das dietas (Tabela 1). O teor de lisina digestível das rações experimentais foi fixado em torno de 110% da exigência em relação ao teor da PB, com base no valor recomendado em experimento realizado por Sousa (2019) (1,80%) e na exigência proteica de 31,57% determinada para tambaquis por Lima et al. (2016). Para estimativa da relação da metionina mais cistina com a lisina digestível foi utilizado como referência o nível de 1,80% de lisina digestível recomendado por Sousa (2019) em rações para alevinos de tambatinga, cujo ensaio foi realizado em condições experimentais similares (manejo alimentar e condições ambientais) para que os resultados possam ser comparados, conforme preconizado por Lemme (2013).

Os teores de aminoácidos totais do farelo de soja foram obtidos por meio de aminogramas realizados no laboratório CBO (Valinhos – SP) (Tabela 2).

Foram utilizadas 36 caixas d'água com capacidade volumétrica de 500 litros dispostas em sistema fechado de circulação de água e dotadas de sistema de abastecimento, aeração suplementar e drenagem individuais.

A água de abastecimento das caixas foi proveniente de poço artesiano. A temperatura da água foi aferida diariamente, às 7h30 e 17h30, com o auxílio de um termômetro de bulbo de mercúrio, graduado de 0 a 50 °C. Os controles do pH e do teor de oxigênio dissolvido e de amônia na água foram aferidos a cada sete dias, respectivamente, por intermédio de um pHmetro (Hanna), oxímetro (Hanna) e kit de amônia comercial, respectivamente.

Tabela 1– Composição percentual e química da ração isenta de proteína e das rações experimentais (matéria natural)

Ingredientes (%)	DIP*	Nível de metionina mais cistina digestível (%)					
		0,600	0,750	0,900	1,050	1,200	1,350**
Farelo de soja	0,000	39,576	49,470	59,364	69,257	79,151	89,045
Amido de milho	79,144	43,969	35,175	26,381	17,588	8,794	0,000
Óleo de soja	10,676	8,447	7,890	7,333	6,776	6,219	5,662
Casca de Arroz	5,097	2,831	2,265	1,699	1,133	0,566	0,000
Lisina-HCl	0,000	0,072	0,090	0,108	0,126	0,144	0,163
DL-Metionina	0,000	0,139	0,174	0,208	0,243	0,278	0,313
L-Treonina	0,000	0,238	0,297	0,356	0,416	0,475	0,534
L-Triptofano	0,000	0,020	0,026	0,031	0,036	0,041	0,046
Calcáreo Calcítico	0,132	0,073	0,059	0,044	0,029	0,015	0,000
Fosfato Bicálcico	3,827	3,530	3,455	3,381	3,307	3,232	3,158
Premix Vitamínico e Mineral ¹	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Vitamina C ²	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Sal	0,554	0,534	0,529	0,524	0,519	0,514	0,509
Antioxidante (BHT)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Diluição							
DIP*	100,00	55,56	44,44	33,33	22,22	11,11	0,00
RR**	0,00	44,44	55,56	66,67	77,78	88,89	100,00
Composição calculada ³							
Proteína Bruta (%)	0,00	18,24	22,80	27,37	31,93	36,49	41,05
Proteína Digestível (%) ⁴	0,00	16,81	21,02	25,22	29,43	33,63	37,83
Energia Digestível (ED, kcal/kg) ⁴	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00
Fibra Bruta (%)	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
Ca Total (%)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
P disp (%)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Lisina Digestível (%) ⁵	0,000	1,091	1,364	1,636	1,909	2,182	2,455
Met. + Cist. Digestível (%) ⁵	0,000	0,600	0,750	0,900	1,050	1,200	1,350
Treonina Digestível (%) ⁵	0,000	0,873	1,091	1,309	1,527	1,745	1,964
Triptofano Digestível (%) ⁵	0,000	0,251	0,314	0,376	0,439	0,502	0,565
Relação Met+Cist./ED (g/Mcal)	0,000	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450
Relação Met+Cist./Lisina Dig.	0,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0
Relação Treonina./Lisina Dig.	0,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
Relação Triptofano./Lisina Dig.	0,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0

* Dieta isenta de proteína

** Ração referência (1,350% de metionina mais cistina digestível);

1 Suplemento vitamínico e mineral comercial (5 kg/t), com níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 1.200.000 UI; Vit. D3, 200.000 UI; Vit. E, 1.200 mg; Vit. K3, 2.400 mg; Vit. B1, 4.800 mg; Vit.B2, 4.800 mg; Vit.B6, 4.800 mg; Vit.B12, 4.800 mg; Vit.C, 48 g; ác. Fólico, 1.200 mg; pantotenato de Ca, 12.000 mg; Vit. C, 48.000 mg; biotina, 48 mg; cloreto de colina, 108 g; niacina, 24.000 mg; Fe, 50.000 mg; Cu, 3.000 mg; Mn, 20.000 mg; Zn, 30.000 mg; I, 100 mg; Co, 10 mg; Se, 100 mg.

2 Vit. C: sal cálcica 2-monofosfato de ácido ascórbico, 42% de princípio ativo.

3 Com base nos valores propostos para celulose pelo NRC (2011) e para os demais ingredientes por Rostagno et al. (2011);

4 Com base nos coeficientes de digestibilidade para o amido propostos por Furuya et al. (2010) para tilápia do Nilo; e do milho, farelo de soja e óleo de soja propostos por Vidal Júnior (2000);

5 Com base nos coeficientes de digestibilidade para os aminoácidos industriais propostos por Rostagno et al. (2011) e para os aminoácidos do milho e farelo de soja e da disponibilidade para o fósforo propostos por Furuya et al. (2010).

Tabela 2 – Composição em aminoácidos totais (AAT) e digestíveis (AAD) do farelo de soja utilizados nas rações experimentais

Farelo de soja (%)	Farelo de soja (%)	
	AAT ¹	AAD ²
(%)		
Lisina	2,94	2,75
Metionina	0,59	0,55
Metionina + cistina	1,27	1,16
Treonina	1,91	1,74
Triptofano	0,78	0,72
Arginina	3,48	3,32
Valina	2,27	2,02
Alanina	2,11	1,99
Isoleucina	2,27	2,09
Leucina	3,47	3,25
Histidina	1,28	1,21
Fenilalanina	2,44	2,29
Fenilalanina + tirosina	4,22	3,89
Proteína bruta	45,60	

¹Aminoácidos totais, determinados por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) pelo laboratório CBO – Valinhos, SP. ²Aminoácidos digestíveis, calculados com base nos coeficientes de digestibilidade apresentados na Tabelas Brasileiras para Nutrição de Tilápias (FURUYA et al., 2010).

As temperaturas máximas e mínimas da água mantiveram-se em torno de $26,71 \pm 0,37$ °C e $24,50 \pm 0,58$ °C, respectivamente. A concentração de oxigênio dissolvido na água ficou em torno de $8,20 \pm 0,72$ ppm, o pH $6,52 \pm 0,61$ e amônia total $< 1,00$ ppm. Os parâmetros de qualidade da água estão de acordo com a recomendação para a criação da espécie, conforme preconizado por Gomes et al. (2010) e Mendonça et al. (2012).

Os ingredientes das rações experimentais foram misturados, umedecidos em água aquecida a cerca de 50 °C e peletizados utilizando-se de um moinho de carne (C.A.F. Picadores de carne – modelo 98 STI). Em seguida, as rações foram secas em estufa com circulação forçada de ar durante 24 horas. Após a secagem foram trituradas e peneiradas para obtenção de péletes em diferentes diâmetros.

As rações foram oferecidas *ad libitum* diariamente, em seis refeições (8h, 10h, 12h, 14h, 16h e 18h) em pequenas quantidades, com repasses sucessivos até a saciedade aparente, evitando dessa forma, sobras ou subfornecimento. A limpeza das caixas foi realizada diariamente por sifonagem, sempre após a aferição da temperatura da água.

No início do experimento, uma amostra em torno de 50 gramas de peixes foi insensibilizada e eutanasiada com overdose de benzocaína (250 mg/L) e congelada para determinação da composição corporal inicial. No final do experimento, após jejum de 24 horas, os peixes foram pesados, insensibilizados e eutanasiados com overdose de benzocaína

(250 mg/L) e congelados por unidade experimental para determinação das composições corporais finais.

Após o congelamento, as amostras de peixes (inicial e final) foram secas em estufa com circulação forçada de ar, pré-desengorduradas, moídas em moinho do tipo Willye (modelo TE – 650) e acondicionadas em recipientes para análises laboratoriais. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, conforme procedimentos descritos por Detmann et al. (2012).

Foram avaliados o consumo de ração (CR), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA), eficiência de metionina mais cistina para o ganho (EMCG). Com base na composição corporal (teores de proteína, gordura e cinza corporais) foram avaliadas as taxas de deposição diária de proteína (DPC), gordura (DGC) e cinza (DCZC) corporais, e a eficiência de retenção corporal de nitrogênio dos peixes, de acordo com as equações abaixo:

- CR (g)=Ração consumida durante o período experimental-eventuais sobras
- GP (g)=Peso médio final (g)-peso médio inicial (g)
- CMCD (mg)=
$$\frac{[\text{Consumo de ração (mg)} \times \text{teor de metionina mais cistina digestível(mg)}]}{100}$$
- TCE (%/dia)=
$$\frac{[(\text{Logaritmo natural do peso final (g)} - \text{logaritmo natural do peso inicial (g)}) \times 100]}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- CA (g/g)=
$$\frac{\text{Consumo de ração (g)}}{\text{Ganho de peso (g)}}$$
- EMCG (g/g)=
$$\frac{\text{Ganho de peso (g)}}{\text{Consumo de metionina mais cistina digestível (g)}}$$
- DPC (mg/dia)=
$$\frac{\{[(\% \text{ PC final} \times \text{peso final (mg)}) - (\% \text{ PC inicial} \times \text{peso inicial (mg)})]\}/100\}}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- DGC (mg/dia)=
$$\frac{\{[(\% \text{ GC final} \times \text{peso final (mg)}) - (\% \text{ GC inicial} \times \text{peso inicial (mg)})]\}/100\}}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- DCZC (mg/dia)=
$$\frac{\{[(\% \text{ CZC final} \times \text{peso final (mg)}) - (\% \text{ CZC inicial} \times \text{peso inicial (mg)})]\}/100\}}{\text{Período experimental (dias)}}$$
- ERN (%)=
$$\frac{[(\% \text{ N corporal final} \times \text{peso final (mg)}) - (\% \text{ N corporal inicial} \times \text{peso inicial (mg)})]}{(\text{Consumo de ração (g)} \times \text{teor de N da ração (\%)} / 100)}$$

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SAEG 9.1 (2007). Os dados foram interpretados por meio de análise de variância ao nível de cinco por cento de probabilidade. Para as variáveis que tiveram efeitos dos níveis de metionina mais cistina digestível pela análise de variância, realizaram-se análises de regressão por meio de modelos

linear e quadrático. Para a escolha do melhor modelo de ajuste levou-se em consideração o valor de P (significância) e o R^2 (SQ do modelo/ SQ do tratamento).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos influenciaram todas as variáveis de desempenho e eficiência alimentar ($P<0,05$). A elevação dos níveis de metionina mais cistina reduziu de forma quadrática o consumo de ração ($P<0,05$) até o nível estimado de 0,89%. Por outro lado, o consumo de metionina mais cistina digestível aumentou de forma linear ($P<0,01$), enquanto que o ganho de peso e taxa de crescimento específico aumentaram de forma quadrática ($P=0,054$ e $P<0,05$, respectivamente) até os níveis estimados de 1,11% e 1,14%, respectivamente (Tabelas 3 e 4, Figura 1).

A redução no consumo de ração proporcionado pela elevação dos níveis de proteína pode ser justificado pelo melhor ajuste na relação energia:proteína (NRC, 2011) e/ou como mecanismo compensatório em virtude dos níveis inferiores de proteína bruta, semelhante ao observado em tilápias do Nilo por Pereira-da-Silva et al. (2014).

Tabela 3 – Consumo de ração (CR), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA), eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função do nível de metionina mais digestível da ração

Nível de metionina mais cistina digestível (%)	Variável					
	CR (g)	CMCD (mg)	GP (g)	TCE (% dia ⁻¹)	CA (g g ⁻¹)	EMCG (g g ⁻¹)
0,600	28,97	185,83	20,97	4,50	1,50	115,22
0,750	28,03	210,17	21,81	4,56	1,34	104,11
0,900	26,86	241,83	26,16	4,89	1,07	107,87
1,050	28,97	304,00	27,28	4,92	1,14	87,72
1,200	27,87	334,33	25,61	4,93	1,27	72,63
1,350	32,97	445,17	25,28	4,84	1,37	57,47
Valor de P linear	0,061	0,000	0,018	0,004	0,106	0,000
Valor de P quadrático	0,012	0,005	0,054	0,046	0,000	0,009
CV (%)	11,25	13,14	16,22	5,50	10,60	11,12

CV – Coeficiente de variação

O aumento no ganho de peso e na taxa de crescimento específico até os respectivos níveis de 1,11% e 1,14% de metionina mais cistina digestível demonstram que utilizar rações com níveis deficitários ocasionam menor crescimento dos peixes por limitar a formação de tecido magro (NRC, 2011; SILVA et al., 2018).

Tabela 4 – Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis consumo de ração (CR), ganho de peso (GP), consumo de metionina mais cistina digestível (CMCD), taxa de crescimento específico (TCE), conversão alimentar (CA) e eficiência de metionina mais cistina digestível para o ganho de peso (EMCG) de alevinos de tambatinga em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração

Variável	Modelo	Equação	R ²	Exigência (%)
CR (g)	Linear	$\hat{Y} = 4,13305x + 24,9172$	0,30	-----
CR (g)	Quadrático	$\hat{Y} = 24,1841x^2 - 43,026x + 46,3201$	0,79	0,89
CMCD (mg)	Linear	$\hat{Y} = 329,778x - 34,6444$	0,94	-----
CMCD (mg)	Quadrático	$\hat{Y} = 339,021x^2 - 331,313x + 265,389$	0,98	0,49
GP (g)	Linear	$\hat{Y} = 6,49171x + 18,1896$	0,52	-----
GP (g)	Quadrático	$\hat{Y} = -23,7444x^2 + 52,7933x - 2,82422$	0,85	1,11
TCE (% dia ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = 0,533111x + 4,25241$	0,61	-----
TCE (% dia ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = -1,6287x^2 + 3,70908x + 2,81101$	0,89	1,14
CA (g g ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = 2,32817x^2 - 4,68734x + 3,4864$	0,88	1,01
EMCG (g g ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = -76,8246x + 165,74$	0,92	-----
EMCG (g g ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = -75,8873x^2 + 71,1559x + 98,5794$	0,97	0,47

Araripe (2009), em pesquisa com alevinos de tambatinga, recomenda o nível de 0,78% de metionina mais cistina digestível. Esse valor é inferior às exigências obtidas nesta pesquisa para o desempenho e eficiência alimentar desta espécie com mesma faixa de peso utilizada pela autora.

Pesquisas com outras espécies onívoras (tambaqui e tilápia do Nilo) verificaram resultados próximos aos obtidos neste estudo para a variável ganho de peso. Gonçalves Junior et al. (2017) recomendaram o nível de 0,94% de metionina mais cistina digestível para alevinos de tambaqui. Furuya et al. (2001) estimaram o nível de 1,01% de metionina mais cistina digestível. Por outro lado, Furuya et al. (2004), estimaram o nível de 1,22% de metionina mais cistina digestível.

Para a taxa de crescimento específico, Souza et al. (2019) recomenda o nível de 0,934% de metionina mais cistina digestível para juvenis de tambaqui, valor esse que se aproxima do nível estimado nesta pesquisa (1,14%). Provavelmente, o menor valor estimado pelos autores pode estar relacionado ao fato de utilizarem rações com nível de lisina subótimo (segundo aminoácido limitante), com o objetivo de determinar a exigência com base no conceito de proteína ideal (relação metionina mais cistina: lisina), em que a resposta ao incremento do nível de metionina mais cistina ficou condicionado/limitado ao de lisina.

A redução no consumo de ração associado a maior ganho de peso influenciou na conversão alimentar, que melhorou de forma quadrática ($P < 0,01$) até o nível estimado de

1,01% de metionina mais cistina digestível. Contudo, a eficiência de utilização da metionina mais cistina para o ganho de peso reduziu ($P < 0,01$) de forma linear (Tabelas 3 e 4).

A melhora na conversão alimentar demonstra que o melhor balanceamento da ração (relação energia:aminoácidos sulfurados) ocasionado pelo aumento dos níveis de metionina mais cistina além de incrementar o consumo de energia e demais nutrientes, também proporcionou aumento na deposição de tecido magro (proteína), uma vez que esta é mais eficiente por unidade de ganho de peso que a deposição de gordura corporal, por agregar maior quantidade de água (SILVA et al., 2018; SOUZA et al., 2019).

O padrão de resposta para a conversão alimentar de tambaqui e da tilápia do Nilo verificada por outros pesquisadores foram similares ao desta pesquisa. Souza et al. (2019), verificaram a melhora desta variável no nível 0,939% de metionina mais cistina digestível para juvenis de tambaqui. Esses autores utilizaram rações com nível de lisina subótimo em sua pesquisa, o que deve ter refletido no menor valor de exigência estimada para o tambaqui. Enquanto Furuya et al. (2001) e Furuya et al. (2004), estimaram o nível de 1,00% de metionina mais cistina digestível para melhoria desta variável em tilápias do Nilo.

A redução na eficiência de utilização da metionina mais cistina digestível, evidenciada a partir da concentração dietética de 0,900% de aminoácidos sulfurosos, indica que a partir desse nível a exigência pode estar atendida, considerando que a eficiência de utilização reduz quando o animal se aproxima da sua capacidade máxima de síntese proteica (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016; MASAGOUNDER, 2017).

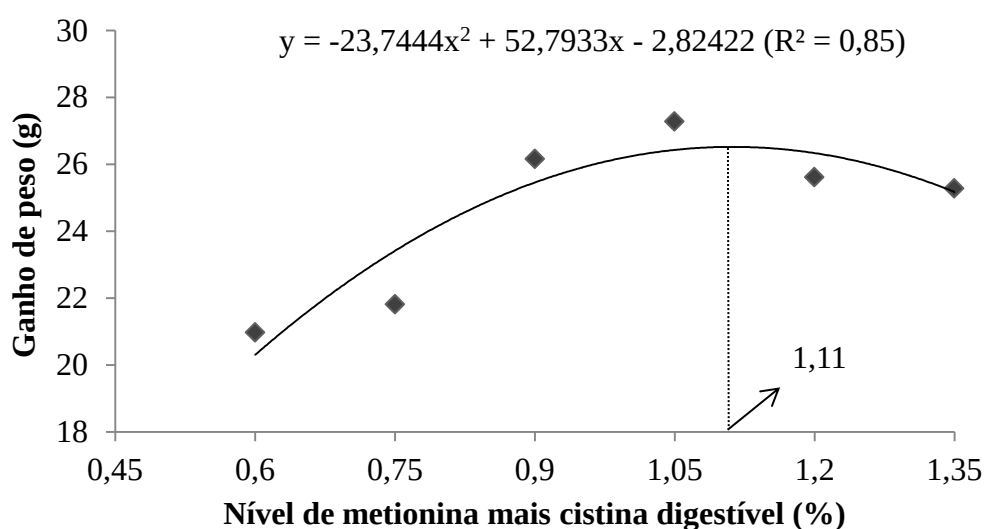


Figura 1 – Ganho de peso de alevinos de tambatinga em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração.

Para as deposições de proteína e cinzas corporais houve comportamento quadrático ($P < 0,05$ e $P < 0,05$), aumentando essas variáveis até os níveis estimados de 1,07 e 1,02% de metionina mais cistina digestível, respectivamente. Por outro lado, a elevação da concentração dietética dos aminoácidos sulfurados reduziu de forma linear ($P < 0,01$) a deposição de gordura corporal e reduziu a eficiência de retenção de nitrogênio de forma quadrática ($P < 0,01$), o último após o nível estimado de 0,65% (Tabelas 5 e 6, Figura 2).

Tabela 5- Deposições de proteína (DPC), gordura (DGC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio (ERN) de alevinos de tambatinga e resumo da análise de variância, em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração

Nível de metionina mais cistina digestível (%)	Variável			
	DPC (mg dia ⁻¹)	DGC (mg dia ⁻¹)	DCZC (mg dia ⁻¹)	ERN (%)
0,600	45,71	39,07	12,16	42,00
0,750	45,73	36,27	12,57	36,06
0,900	59,81	36,19	14,78	40,26
1,050	63,41	29,43	16,00	32,77
1,200	63,60	22,62	14,98	30,14
1,350	52,27	24,20	12,47	19,46
Valor de P linear	0,042	< 0,001	0,306	0,000
Valor de P quadrático	0,022	0,999	0,014	0,022
CV (%)	22,52	29,87	20,33	16,89

CV – Coeficiente de variação.

Tabela 6– Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação e valores de exigência para as variáveis, deposição de proteínas (DPC), gordura (DGC) e cinzas (DCZC) corporais e eficiência de retenção de nitrogênio de alevinos de tambatinga, em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração

Variável	Modelo	Equação	R ²	Exigência (%)
DPC (mg dia ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = 17,1476x + 38,3658$	0,33	-----
DPC (mg dia ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = -89,1257x^2 + 190,943x - 40,5104$	0,77	1,07
DGC (mg dia ⁻¹)	Linear	$\hat{Y} = -41,2907x + 83,3692$	0,89	-----
DCZC (mg dia ⁻¹)	Quadrático	$\hat{Y} = -21,7923x^2 + 44,3995x - 7,31665$	0,79	1,02
ERN (%)	Linear	$\hat{Y} = -262,748x + 590,663$	0,82	-----
ERN (%)	Quadrático	$\hat{Y} = -404,823x^2 + 526,656x + 232,395$	0,91	0,65

O padrão de resposta e o nível estimado de exigência da deposição de proteína corporal corroboram os resultados observados das variáveis de desempenho e eficiência alimentar (Tabelas 5 e 6, Figura 2) e demonstra que o melhor balanceamento aminoacídico e a suplementação de aminoácidos limitantes favorece a formação de tecido magro, aumentando a eficiência de utilização do alimento a ser convertido em ganho de peso (SILVA et al., 2018).

A redução da deposição de gordura corporal com a elevação dos níveis de metionina mais cistina digestível pode estar associada à redução da relação energia: proteína, resultado

da maior utilização da energia para deposição proteica corporal e o catabolismo de aminoácidos excedentes. Além disso, também pode estar ligada às funções da metionina no metabolismo de lipídeos, pois este aminoácido atua na síntese de colina, aumentando a síntese de lipoproteínas; e na síntese de carnitina, utilizada no transporte de ácidos graxos para beta-oxidação na mitocôndria (NRC, 2011; MICHELATO et al., 2013).

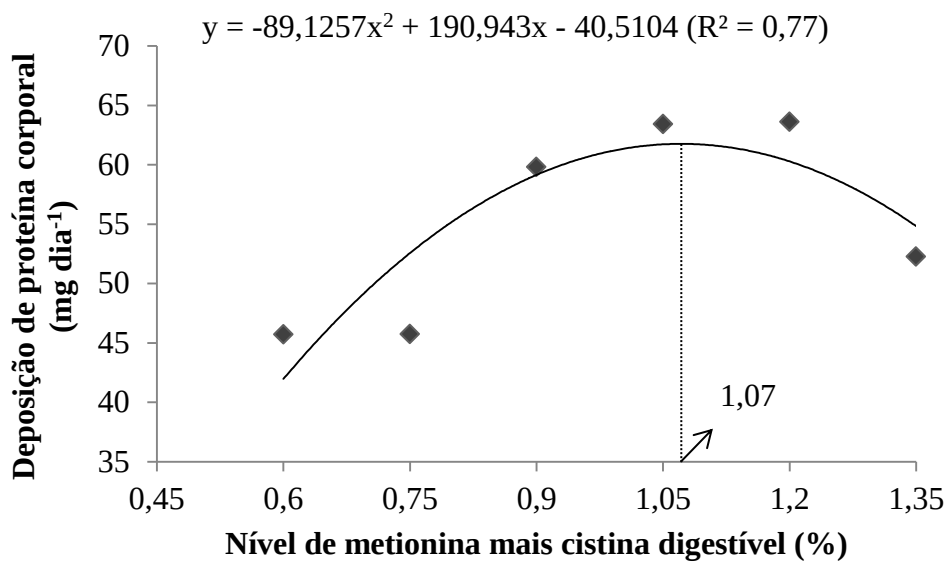


Figura 2 – Deposição de proteína corporal de alevinos de tambatinga em função do nível de metionina mais cistina digestível da ração.

Em relação à deposição de cinzas corporal, foi possível observar que aumentou de acordo com a elevação dos níveis de metionina mais cistina digestível da ração, já que à medida que o animal cresce há uma maior formação óssea para sustentação do tecido muscular (NRC, 2011; SOUSA et al., 2018).

Por outro lado, a redução da eficiência de retenção de nitrogênio indica que houve redução na eficiência de utilização da fração proteica da ração para a deposição de tecido magro, provavelmente em função do aumento da proporção dos aminoácidos excedentes sendo catabolizados (FIRMO et al., 2018).

Considerando os resultados observados, o nível de 1,07% de metionina mais cistina digestível é o indicado para alevinos desta espécie, considerando que a deposição de proteína corporal seria a variável que melhor expressaria a utilização proteica, e, consequentemente, aminoacídica de uma ração (BUREAL e ENCARNAÇÃO, 2006). Com base na exigência de lisina digestível de 1,80% (SOUSA, 2019), a relação mínima dos níveis de metionina mais cistina com a lisina digestível é de 59,4%.

CONCLUSÃO

A exigência dietética de metionina mais cistina total e digestível para alevinos de tambatinga é de 1,14% e 1,07%, respectivamente, correspondente a uma relação metionina mais cistina com a lisina digestível de 59%.

REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E. G.; CASTELLANI, D. Exigências nutricionais de aminoácidos para o lambari-do-rabo amarelo baseadas na composição da carcaça e do músculo. **Boletim Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 31–38, 2011.
- ARARIPE, M.N.B.A. **Redução de proteína bruta e relações metionina + cistina e treonina com a lisina em rações para alevinos de tambatinga**. [manuscrito]. Tese (Doutorado em Ciência Animal), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.
- BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; DONZELLE, J.L.; FERREIRA, A.S.; RIBEIRO, F.B.; TAKISHITA, S.S. Exigência de metionina mais cistina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 783-790. 2008b.
- 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**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 1-8, 2010.
- BOMFIM, M.A.D. Estratégias Nutricionais para Redução das Excreções de Nitrogênio e Fósforo nos Sistemas de Produção de Peixes no Nordeste: Sustentabilidade Ambiental e Aumento da Produtividade. **Revista Científica de Produção Animal**, Teresina, v. 12, n. 2, p. 122-140, 2013.
- BUREAU, D.P.; ENCARNAÇÃO, P.M. Adequately defining the amino acid requirements of fish: the case example of lysine. In: **SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA**, 8., 2006, Monterrey, Anais eletrônicos...Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2006.
- DETMANN, E.; SOUZA, M.D.; VALADARES FILHO, S.D.C.; QUEIROZ, A.D.; BERCHIELLI, T.T.; SALIBA, E.D.O.; AZEVEDO, J.A.G. **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.
- FIRMO, D.S.; BOMFIM, M.A.D.; RIBEIRO, F.B.; SIQUEIRA, J.C.; LANNA, E.A.T.; TAKISHITA, S.S.; SOUZA, T.J.R.; PORTO, N.G. Relação da treonina com a lisina em dietas para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2169 - 2180, 2018.
- FURUYA, W.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B.; BOTARO, D.; SILVA, L.C.; NEVES, P.R. Exigências de metionina + cistina total e digestível para alevinos revertidos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.), baseadas no conceito de proteína ideal. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 885-889. 2001.

FURUYA, W.M.; SILVA, L. C. R.; NEVES, P. R.; BOTARO, D.; HAYASHI, C.; SAKAGUTI, E. S.; FURUYA, V. R. B. Exigência de metionina+ cistina para alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1933-1937, 2004.

FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; BOSCOLO, W.R.; CYRINO, J.E.P.; FURUYA, V.R.B.; FEIDEN, A. **Tabelas brasileiras para nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010. 100p.

GOMES, L. C. **Espécies nativas para a piscicultura no Brasil**. 2ª. ed. Editora: UFSM, Santa Maria, 2010. p. 175-204.

GONÇALVES JÚNIOR, L.P.; SOUSA, J.G.S; SELVATICI, P.D.C.; MENDES, L.F.; VARGAS JÚNIOR, J.G.; MENDONÇA, P.P. Metionina + cistina digestível para juvenis de tambaqui. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 69, n. 3, p. 711 – 717, 2017.

HASHIMOTO, DT, SENHORINI, JA, FORESTI, F., E PORTO - FORESTI, F. Interspecific fish hybrids in Brazil: management of genetic resources for sustainable use. **Reviews in Aquaculture**, Amsterdã, v. 4, n. 2, p. 108-118, 2012.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. MPOG. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=3940&o=21>. Acesso em: 09 de março de 2019.

LEMME, A. Recomendaciones de aminoácidos para carpas comunes – Avances en métodos para modelar. **Amino News**, v. 17, n. 1, p. 15-27, 2013.

LEWIS, A.J. Methionine–Cystine Relationships in Pig Nutrition. In: D’MELLO, J. P. D. (Ed.). **Amino acid in farm animal nutrition**. 2. ed., Wallingford: CAB International, cap. 8, p. 143-155, 2003.

LIMA, C.S.; BOMFIM, M.A.D.; SIQUEIRA, J.C.; RIBEIRO, F.B.; LANNA, E.A.T. Crude protein levels in the diets of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), fingerlings. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 183-190, jan.-mar., 2016.

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

MASAGOUNDER, K. Amino acid recommendations for tilapia: a review of Available data and principle behind aminotilapia. **Amino News**, v. 21, n. 2, 2017.

MENDONÇA, P. P., COSTA, P. C., POLESE, M. F., VIDAL JR, M. V., & ANDRADE, D. R. Efeito da suplementação de fitase na alimentação de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 61, n. 235, p. 437-448, 2012.

MICHELATO, M.; FURUYA, W.M.; GRACIANO, T.S.; VIDAL, L.V.O.; XAVIER, T.O.; MOURA, L.B.; FURUYA, V.R.B. Digestible methionine + cystine requirement for Nile tilapia from 550 to 700 g. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 7–12, 2013.

MITCHELL, H.H. Comparative nutrition of man and domestic animals. **Academic**, New York, 1964.

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

PEREIRA-DA-SILVA, E. M.; ORSOLI, D. N.; ARAÚJO, L. F.; CANTELMO, O. A.; MERIGHE, G. K. F. Regulação da ingestão protéica na tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1921–1927, 2004.

ROSTAGNO, R.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. Método dose – resposta para determinar exigências nutricionais. In: **Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2016. p. 132 – 159.

SILVA, J. C.; BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; RIBEIRO, F. B.; SIQUEIRA, J. C.; SOUSA, T. J. R.; MARCHÃO, R. S.; NASCIMENTO, D. C. N. Lysine requirement for tambaqui juveniles. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2157-2168, 2018.

SOUSA, M.C. **Exigência de lisina para alevinos de tambatinga utilizando diferentes técnicas de formulação de rações**. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2019.

SOUSA, T.J.R.; BOMFIM, M.A.D.; LANNA, E.A.T.; RIBEIRO, F.B.; SIQUEIRA, J.C.; SILVA, J.C.; MARCHÃO, R.S. Phosphorus requirements of tambaqui juveniles. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 2145-2156, 2018.

SOUZA, F.O.; BOMFIM, M.A.D.; RIBEIRO, F.B.; LANNA, E.A.T.; SOUSA, T.J.R.; COSTA, D.C. Methionine plus cystine to lysine ratio in diets for tambaqui juveniles. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 243 – 250, jan. – mar., 2019.

TANG, L.; WANG, G.X.; JIANG, J.; FENG, L.; YANG, L.; LI, S.H.; KUANG, S.Y. Effect of methionine on intestinal enzymes activities, microflora and humoral immune of juvenile jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquaculture nutrition**, Oxford, v. 15, p. 477-483, 2009.

TESHIMA, S. et al. Assessment of requirement values for essential amino acids in the prawn, *Marsupenaeus japonicus* (Bate). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 33, p. 395-402, 2002.

VIDAL JUNIOR, M. V. **Técnicas de determinação de digestibilidade e determinação de digestibilidade de nutrientes de alimentos para tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. Viçosa, MG: UFV. 96p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, 2000.

ANEXO ÚNICO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS-CEUA
CIAEP-01.0341.2014

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "TÉCNICAS DE FORMULAÇÃO DE RAÇÕES EXPERIMENTAIS E EXIGÊNCIAS DE LISINA E METIONINA MAIS CISTINA DIGESTÍVEL EM RAÇÕES PARA ALEVINOS DE TAMBATINGA (*Colossoma macropomum* X *Piaractus brachipomum*)", registrada com o nº 23115.002771/2016-15, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Marcos Antonio Delmontes Bomfim que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi considerado **APROVADO** pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA- UFMA) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO em reunião de 19/12/2016

FINALIDADE	() ENSINO (X) PESQUISA () EXTENSÃO
Vigência da autorização	01/08/2016 a 01/08/2018
Espécie/linhagem/raça	Tambatinga (<i>Colossoma macropomum</i> X <i>Piaractus brachipomum</i>)
Nº de animais	4000
Peso/Idade	Alevinos em torno de 1g
Sexo	Macho e Fêmea
Origem	PROAQ - Projeto de Aquicultura LTDA / Companhia Pesqueira São Raimundo / Rafaela de Melo e Alvim de Jesus Tavares

Lucilene Amorim Silva

Profª. Dra. Lucilene Amorim Silva
 Presidente da Comissão de Ética no uso de animais-CEUA
 UFMA