

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

ALLAN VINNÍCIUS URBICH

**DESEMPENHO PRODUTIVO, EXPRESSÃO DE GENES RELACIONADOS COM
O METABOLISMO DE AMINOÁCIDOS SULFURADOS E QUALIDADE DA
CARNE DE TILÁPIAS DO NILO NA TERMINAÇÃO, ALIMENTADAS COM
DIETAS SUPLEMENTADAS COM METIONINA E TAURINA**

PONTA GROSSA

2020

ALLAN VINNÍCIUS URBICH

**DESEMPENHO PRODUTIVO, EXPRESSÃO DE GENES RELACIONADOS COM
O METABOLISMO DE AMINOÁCIDOS SULFURADOS E QUALIDADE DA
CARNE DE TILÁPIAS DO NILO NA TERMINAÇÃO, ALIMENTADAS COM
DIETAS SUPLEMENTADAS COM METIONINA E TAURINA**

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Ponta Grossa - Área de concentração: Produção Animal.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Valéria Rossetto Barriviera Furuya

PONTA GROSSA

2020

U73 Urbich, Allan Vinnícius
Desempenho produtivo, expressão de genes relacionados com o metabolismo de aminoácidos sulfurados e qualidade da carne de tilápias do Nilo na terminação, alimentadas com dietas suplementadas com metionina e taurina / Allan Vinnícius Urbich. Ponta Grossa, 2020.
73 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Área de Concentração: Produção Animal), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Rossetto Barriviera Furuya.

1. Aminoácidos. 2. Nutrição de peixes. 3. *Oreochromis niloticus*. 4. Tempo de prateleira. 5. Expressão de genes. I. Furuya, Valéria Rosseto Barriviera. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Produção Animal. III.T.

CDD:639.3



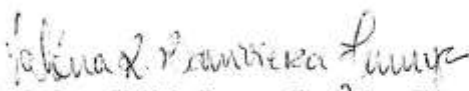
TERMO DE APROVAÇÃO


ALLAN VINNÍCIUS URBICH

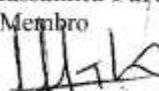
“Desempenho produtivo, expressão de genes relacionados com o metabolismo de aminoácidos sulfurados e qualidade da carne de tilápias do Nilo na terminação, alimentadas com dietas suplementadas com metionina e taurina”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia – Mestrado em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias e Tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ponta Grossa, 11 de Fevereiro de 2020.


Prof. Dra. Valéria Rosseto Barriviera Furuya – UEPG
Presidente


Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya – UEPG
Membro


Prof. Dra. Ana Lúcia Sularo – UFV/MG
Membro Externo

Dedico aos meus Pais, Família, Orientadora, professores, amigos e colegas de turma.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por permitir até hoje realizar todos os projetos de vida.

À minha orientadora Prof.^a. Dr.^a. Valéria Rossetto Barriviera Furuya e ao Prof. Titular Wilson Massamitu Furuya, por aceitarem minha orientação, por acreditarem na minha formação, por todos conhecimentos transmitidos, priorizando sempre o espírito de trabalho em equipe, a humildade e o respeito à todas pessoas,

Aos meus Pais Valdemir Urbich e Terezinha Mendes Urbich, por todo o apoio concedido, pelo amparo e por acreditarem nos meus sonhos e tenham força de vontade para realizá-los.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelas bolsas concedidas durante o período de mestrado.

Ao Sr. Sérgio Sozim, por disponibilizar a propriedade para a realização do experimento.

À Pós-doutoranda Michelle Orane Schemberger pela realização das análises da expressão dos genes. À Dr.^a Mariana Michelato (*Ichthus Unlimitated*, San Diego, CA, USA), pelo auxílio nas análises e interpretação da expressão de genes e redação do artigo científico. À Prof.^a Dr.^a Marina Tolentino Marino, do Departamento de Engenharia de Alimentos da UEPG, pelas análises de qualidade da carne.

Ao Dr. Giovani Sampaio Gonçalves (APTA, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, São José do Rio Preto, SP), pela extrusão e secagem das rações e por toda ajuda oferecida.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Ponta Grossa por todo o conhecimento e dedicação repassados nas disciplinas ministradas.

Ao grupo de pesquisa em aquicultura *Fish Nutrition*, por todo apoio, pelo espaço cedido para a realização das análises, redação da dissertação e escrita, e a todos os integrantes do grupo pela amizade.

Aos meus amigos e colegas de laboratório, amizade e convivência minha permanência na UEPG.

OBRIGADO!

“Pessoas sábias são simples e humildes e não precisam de autopromoção, porque sabedoria não se compra e não se vende. Sabedoria está inserida na alma das pessoas que a doa gratuitamente”.

(Odilon Euzébio)

RESUMO

A metionina é um aminoácido limitante e a taurina é considerada um aminoácido condicionalmente essencial para tilápias do Nilo alimentadas com dietas com base em alimentos de origem vegetal. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho, expressão de genes relacionados com o metabolismo de aminoácidos sulfurados e qualidade da carne de tilápias do Nilo na terminação, alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina. Foi elaborada uma dieta controle com 280 g/kg de proteína bruta e 3050 kcal/kg de energia digestível, formulada sem suplementação de metionina e taurina (Controle). A partir da dieta controle foram suplementadas mais três dietas com suplementação de metionina (MET), com suplementação de taurina (TAU) e com suplementação de metionina e taurina (MET+TAU). Os peixes foram alimentados manualmente, duas vezes por dia, sete dias por semana. Os peixes (n = 120, peso inicial de 1199,1 ± 45,5 g) foram distribuídos em 12 tanques-rede de 1000 L cada, em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 3 repetições. Peixes alimentados com a dieta MET apresentaram maior (P<0,001) peso corporal final em relação aos peixes alimentados com a dieta controle e TAU, não havendo diferença entre o peso corporal final dos peixes alimentados com a dieta MET+TAU. Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram a melhor (P=0,022) conversão alimentar em relação aos peixes alimentados com as demais dietas. Peixes alimentados com as dietas suplementadas com metionina e/ou taurina apresentaram maior (P < 0,001) rendimento de filé e maiores (P <0,005) teores de proteína corporal e no filé em relação aos peixes que receberam a dieta controle. Os peixes que consumiram a dieta MET e MET+TAU apresentaram valores mais baixos (P<0,001) de triglicérides plasmáticos em relação aos peixes que receberam as dietas Controle e TAU. Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram coloração dos filés menos amarelada 21 dias após o abate em relação ao filé dos peixes que receberam a dieta MET e controle. Foi observada menor expressão de mRNA dos genes cistationa beta-sintase (CBS) e cistationa dioxigenase (CDO) em peixes alimentados com as dietas com suplementação de metionina (P <0,001). A maior expressão de mRNA do gene adenylyl cyclase (AHCY) foi observada nos peixes alimentados com a dieta TAU em relação aos peixes alimentados com outras dietas (P=0,01). Concluiu-se que a suplementação isolada ou combinada de metionina e taurina melhora o desempenho e a retenção de proteína, modulando o metabolismo dos aminoácidos sulfurados e deposição de lipídios corporal e nos filés. Além disso, a taurina demonstrou efeito positivo na qualidade da carne, preservando a cor do filé de tilápias do Nilo.

PALAVRAS CHAVE: Aminoácidos, Nutrição de peixes, *Oreochromis niloticus*, Tempo de prateleira, Expressão de genes.

ABSTRACT

Methionine is a limiting amino acid and taurine is considered a conditionally essential amino acid for Nile tilapia fed plant-based diets. The aim of this study was to evaluate the growth performance, expression of genes related to sulfur amino acid metabolism and meat quality in finishing Nile tilapia fed extruded diets, supplemented with methionine and/or taurine. A control diet (CON) based on soybean meal containing 280 g kg⁻¹ crude protein and 3050 kcal kg⁻¹ of digestible energy, without methionine or taurine supplementation was elaborated. From the control diet, three more diets supplemented with methionine (MET), taurine (TAU) or methionine and taurine (MET+TAU) were elaborated. Fish were hand fed, two times a day, seven days per week, until apparent satiety, for 7-wk. Fish (n= 120, initial mean weight: 1199.1 ± 45.5 g) were distributed in a completely randomized design with four treatments and three replicates of 12 fish per floating net-cage. Fish fed diet MET demonstrated higher (P <0.001) final body weight than those fed diet TAU, with no difference between the final body weight of fish fed diet MET+TAU. Fish fed diet MET+TAU showed improved (P = 0.022) feed conversion compared to fish fed other diets. Fish fed diets MET, TAU and MET+TAU showed higher (P <0.001) fillet yield and higher (P <0.005) protein content in the body and fillet than those fed the control diet. Fish fed diets MET and MET+TAU showed lower (P <0.001) plasmatic triglycerides than those fed diets control and TAU. Fish fed diet MET+TAU showed less yellowish fillet coloration 21 days after slaughter in relation to those fed control and MET diets. The expression of mRNA of cystathione beta synthase (CBS) gene and cystathione dioxygenase (CDO) demonstrated a higher expression of mRNA in fish fed diets supplemented with methionine (P <0.001). The expression of mRNA gene of adenylyl cyclase gene (AHCY) was higher in fish fed the TAU diet compared to fish fed other diets (P = 0.01). It was concluded that isolated or combined supplementation of methionine and taurine improves performance and protein retention by modulating sulfur amino acid metabolism and body and fillet lipid deposition. In addition, taurine showed a positive effect on meat quality, preserving the color of the Nile tilapia fillet.

KEYWORDS: Amino acids, Fish Nutrition, Shelf life, Gene Expression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura química dos isômeros de metionina.....	15
Figura 2- Substâncias produzidas por meio do metabolismo da metionina.....	16
Figura 3- Comparação da estrutura química da taurina e dos demais aminoácidos.....	17
Figura 4- Metabolismo da taurina para a produção de sais biliares.	18
Figura 5- CIE L* a* b* Diagrama de espaços de cores.....	22
Figura 6- Valores para ganho de peso de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementada com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementada com metionina e taurina (MET+TAU) ¹	48
Figura 7- Valores para rendimento de filé de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementadas com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementadas com metionina e taurina (MET+TAU) ¹	49
Figura 8- Valores médios da gordura corporal (A) e gordura do filé (B) de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementada com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementada com metionina e taurina (MET+TAU) ¹	51
Figura 9- Expressão de mRNA dos genes, cistationa β -sintase - CBS (A), cisteína dioxigenase – CDO (B) e adenosil-homocisteinase - AHCY (C) em tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementada com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementada com metionina e taurina (MET+TAU) ¹	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Aminoácidos essenciais, condicionalmente essenciais e não essenciais para peixes.....	14
Tabela 2- Formulação e composição química das dietas experimentais (g/kg, matéria seca).....	41
Tabela 3- Sequência de primers para qRT-PCR quantitativo dos genes: CBS, CDO e AHCY.....	46
Tabela 4- Desempenho produtivo de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina ¹	47
Tabela 5- Valores médios da composição corporal e composição dos filés de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina ¹	50
Tabela 6- Parâmetros sanguíneos de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina ¹	52
Tabela 7- Valores médios da qualidade do filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina 1 dia após o abate ¹	53
Tabela 8- Valores médios da qualidade do filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina 21 dias após o abate ¹	53

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
1.1 AQUICULTURA.....	11
1.2 ALIMENTOS DE ORIGEM VEGETAL	12
1.3 AMINOÁCIDOS CRISTALINOS	13
1.3.1 Metionina e taurina.....	15
1.4 QUALIDADE DE CARNE.....	19
1.5 EXPRESSÃO DE GENES	24
REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO PRODUTIVO, EXPRESSÃO DE GENES RELACIONADOS COM O METABOLISMO DE AMINOÁCIDOS SULFURADOS E QUALIDADE DA CARNE DE TILÁPIAS DO NILO NA TERMINAÇÃO, ALIMENTADAS COM DIETAS SUPLEMENTADAS COM METIONINA E TAURINA	36
2.1 INTRODUÇÃO	38
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
2.2.1 Dietas experimentais	40
2.2.2 Peixes e condições experimentais	42
2.2.3 Coleta de amostras	42
2.2.4 Desempenho produtivo, análises químicas e bioquímicas	43
2.2.5 Parâmetros sanguíneos	44
2.2.6 Qualidade da carne.....	44
2.2.7 Avaliação da expressão gênica	45
2.2.8 Análise estatística.....	46
2.3 RESULTADOS.....	47
2.4 DISCUSSÃO	56
REFERÊNCIAS	63
CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	73

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 AQUICULTURA

A produção mundial de pescado aumentou de forma constante nas últimas cinco décadas, a uma taxa anual de 3,2%, ultrapassando o crescimento da população mundial em 1,6%. Analisando de forma global, o consumo *per capita* de peixe aumentou de 9,9 kg em 1960 para 19,2 kg em 2012 e para 20 kg em 2014/2015 (FAO, 2014, 2016). A aquicultura tem alcançado importante espaço no cenário mundial com aumento na criação de peixes devido à depleção nos estoques pesqueiros naturais. Em relação aos sistemas de produção, ocorreu avanços com a melhoria na eficiência do manejo e dos estudos sobre nutrição visando uma produção em escala comercial, disponibilizando carne de boa qualidade para o consumo humano (PEIXEBR, 2019).

O Brasil possui 8,4 mil quilômetros de costa marítima, com 5,5 milhões de ha de reservatórios de água doce e, aproximadamente, 12% da água doce disponível do planeta, além de possuir clima favorável, terras, mão de obra e crescente demanda por pescado nos mercados internos e externos. Com a crescente demanda, a pesca extrativista passou a não atender o mercado mundial e a aquicultura passou a ser incentivada (MPA, 2010).

A produção de peixes em 2018 no Brasil foi de 722.560 toneladas, com crescimento de 4,5% em relação ao ano anterior (PEIXEBR, 2019). Em 2016, a produção global aquícola, incluindo plantas aquáticas, foi de 110,2 milhões de toneladas, estimando-se um valor comercial de 243.500 milhões de dólares. O grupo de peixes foi o mais produzido com 54,1 milhões de toneladas, seguido de algas, com 30,1 milhões de toneladas, moluscos com 17,1 milhões de toneladas e crustáceos com 7,9 milhões de toneladas produzidas (PEIXEBR, 2018). A produção global pesqueira (53%) ainda foi maior do que a produção aquícola (47%), em 2016. No entanto, a estimativa é que para 2030 a aquicultura contribua com 60% do pescado (PEIXEBR, 2018).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia do Nilo, representando 55,4% da produção do país. Os peixes nativos, liderados pelo tambaqui (*Colossoma macropomum*), participam com 39,8% e outras espécies com 4,6% (PEIXEBR, 2019). A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma espécie adaptada, com bons rendimentos de corte e é uma das espécies de peixes mais importantes em escala global. A tilápia do Nilo é popular entre os piscicultores devido às suas vantagens zootécnicas, incluindo taxa de crescimento rápido,

ciclo de produção curto, melhor resistência a doenças, boa fertilidade e filés com boas características sensoriais (HE *et al.*, 2013).

Com o aumento da produção de pescado, os custos das dietas utilizando ingredientes de origem animal, como por exemplo a farinha de peixe, tornou-se mais elevado. A redução da disponibilidade deste ingrediente, com conseqüente elevação nos custos, limita o uso desta matéria prima na elaboração de dietas para peixes. Assim, torna-se importante a utilização de ingredientes de origem vegetal para reduzir os custos de produção sem comprometer o desempenho dos peixes (SAKOMOURA *et al.*, 2014).

1.2 ALIMENTOS DE ORIGEM VEGETAL

Os ingredientes de origem vegetal são uma alternativa econômica e sustentável na alimentação de peixes. Por isso busca-se mais informações por meio de pesquisas para se obter dietas balanceadas, principalmente utilizando-se farelo de soja, que é a fonte de proteína vegetal mais utilizada em dietas de peixes, por possuir alto teor de proteína, composição equilibrada de aminoácidos, boa qualidade e disponibilidade constante durante o ano (TROSVIK *et al.*, 2012).

Em comparação com a farinha de peixe, os alimentos de origem vegetal podem conter vários fatores antinutricionais e desbalanceamento na composição de aminoácidos (GATLIN *et al.*, 2007). Os peixes não possuem uma exigência real em proteína, mas sim, de aminoácidos em proporções adequadas, para síntese de proteínas corporais e outras atividades, necessitando a inclusão via dieta (WILSON, 2002).

A taurina é um aminoácido encontrado em concentrações altas na farinha de peixe e subprodutos animais, sendo quase inexistente em alimentos de origem vegetal, havendo necessidade da sua suplementação em dietas vegetais para atender à exigência pelos peixes carnívoros (GAYLORD; TEAGUE; BARROWS, 2006). A taurina é considerada um aminoácido semiessencial em dietas elaboradas com base em proteína de origem vegetal para muitas espécies de peixes, entre elas a tilápia do Nilo (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016).

A suplementação de taurina resulta em melhora no crescimento de tilápias alimentadas com dietas a base de proteína de origem vegetal (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016; MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018). Com uma dieta bem balanceada proporciona maior desempenho aos peixes, a taxa de crescimento é um parâmetro importante para o sucesso da aquicultura e está diretamente relacionada com o crescimento da

musculatura estriada esquelética que corresponde à maior parte da massa corporal (ALMEIDA, 2011).

O valor nutricional das dietas contendo farelo de soja pode ser melhorado com a adição de metionina (CHATZIFOTIS *et al.*, 2008). Esse aminoácido participa de processos fisiológicos essenciais nos peixes, incluindo síntese de compostos de enxofre como a taurina, estudos avaliam principalmente a inclusão em dietas utilizando ingredientes de origem vegetal, sendo importante a suplementação via dieta deste aminoácidos na forma cristalina (SALZE; DAVIS, 2015). Por todos esses fatores, com a utilização de ingredientes de origem vegetal em dietas para tilápia do Nilo, se torna indispensável um balanceamento adequado de aminoácidos para garantir bons resultados.

1.3 AMINOÁCIDOS CRISTALINOS

Há mais de 700 aminoácidos na natureza, somente 20 deles são utilizados para sintetizar polipeptídios e conseqüentemente produzir proteínas corporais (WU, 2013). As dietas eram produzidas apenas com a inclusão de ingredientes para que todos os aminoácidos fornecidos fossem ligados à proteína dos alimentos havendo poucas informações sobre o metabolismo dos aminoácidos (SAKOMOURA *et al.*, 2014).

O metabolismo dos aminoácidos sulfurados é regulado e iniciado pela metionina, um aminoácido essencial contendo enxofre. Geralmente é o primeiro aminoácido limitante em dietas à base de proteínas vegetais (GATLIN *et al.*, 2007). Além da metionina, a lisina também pode ser um aminoácido limitante em dietas com base em fontes de proteína vegetal para peixes. Portanto, a estimativa precisa da exigência de aminoácidos é necessária para formular dietas balanceadas e de baixo custo (HE *et al.*, 2013).

A eficiência de utilização e a exigência de aminoácidos essenciais para peixes são influenciados por vários fatores dietéticos e biológicos (HUA; SUWENDI; BUREAU, 2019). Os aminoácidos são nutricionalmente classificados de acordo com sua essencialidade, divididos em aminoácidos essenciais, necessitando ser fornecidos via dieta, aminoácidos semiessenciais, podendo ser derivado do metabolismo de outros aminoácidos e os aminoácidos não essenciais que não necessitam ser fornecidos via dieta, o próprio organismo sintetiza (LI *et al.*, 2009). Os aminoácidos essenciais, semiessenciais e não essenciais para peixes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1-Aminoácidos essenciais, condicionalmente essenciais e não essenciais para peixes.

Aminoácido essencial	Condicionalmente essencial	Aminoácido não essencial
Arginina	Cisteína	Alanina
Fenilalanina	Glutamina	Asparagina
Histidina	Hydroxiprolina	Aspartato
Isoleucina	Prolina	Glicina
Leucina	Taurina	Glutamato
Lisina		Serina
Metionina		Tirosina
Triptofano		
Valina		

Fonte: Sakomura *et al.* (2014).

Dietas com níveis inadequados de aminoácidos reduzem o consumo e o crescimento dos peixes (WILSON, 2003). A redução no crescimento ocorre pela menor retenção de aminoácidos, resultando em menor deposição proteica (ENCARNAÇÃO; DE LANGE; BUREAU, 2006). Além disso, aumenta o custo de produção e a excreção de nitrogênio (FURUYA *et al.*, 2001).

Há mais de 40 anos, aminoácidos sintéticos, ou cristalinos, têm sido utilizados comercialmente com o objetivo de atender as exigências de aminoácidos essenciais das espécies criadas. A metionina cristalina mais utilizada na suplementação de dietas para alimentação animal é a DL-Metionina (GOFF; GATLIN, 2004). Pesquisas foram realizadas com objetivo de desenvolver novas formas químicas de metionina a fim de reduzir seus custos, diminuir a solubilidade em água e aumentar a biodisponibilidade através de uma menor taxa de passagem no trato digestivo durante sua absorção (ALAM *et al.*, 2004; BROWDY *et al.*, 2012).

As dietas para peixes geralmente são limitantes em metionina, a qual deve ser suplementada por meio de aminoácidos na forma cristalina (DL-metionina 99%). A DL-metionina é produzida por síntese química, ao contrário dos demais aminoácidos (L-lisina, L-treonina e L-triptofano), os quais são produzidos por meio de fermentação. Existindo também outras formas, como a D-metionina, L-metionina ou produto análogo denominado metionina hidroxil análoga (MHA líquida 88% ou MHA-Ca pó 84%), que possuem um grupo hidroxila no lugar do grupo amino (NH₃) observado na estrutura química da metionina, sendo necessário ser transformados em metionina nas células animais.

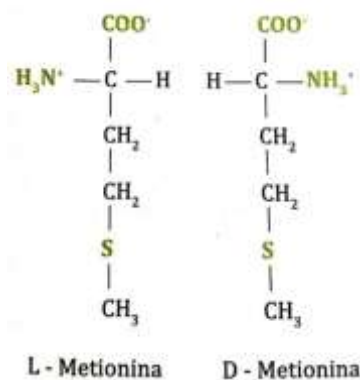
Os aminoácidos possuem estrutura química comum, com um carbono alfa, que possui ligações com quatro grupos distintos. Sendo um grupo carboxila (COO^-), um grupo amina (NH_3^+), um hidrogênio (H) e um grupo radical (R), o qual diferencia os aminoácidos entre si. Apesar de a taurina não possuir um carbono alfa, possui um grupo amina e não possui um grupo carboxila e sim um grupo SO_3^- , proveniente da metionina. Entretanto, é classificada como um aminoácido (SAKOMURA *et al.*, 2014).

A taurina (ácido 2-aminoetanossulfônico) pode ser sintetizada por meio da metionina, porém a taxa de síntese pode ser inadequada para atender as exigências, necessitando de suplementação via dieta. A suplementação de metionina e/ou taurina pode melhorar o desempenho, qualidade de carne e expressão de genes em tilápias do Nilo alimentadas com dieta vegetal (GIBSON GAYLORD *et al.*, 2007). Considerando a importância e relação entre a metionina e taurina, diversos estudos têm sido realizados com a suplementação de metionina e/ou taurina para peixes. No entanto, ainda existem poucas informações com tilápias do Nilo na fase de terminação.

1.3.1 Metionina e taurina

A DL-Metionina, produzida por fermentação, foi um dos primeiros aminoácidos a serem utilizados na alimentação animal, no início da década de 1960 (NRC, 2011). A metionina 2-amino-4-(methyl-thiol) butírico ácido é um aminoácido sulfurado, possuindo duas formas de isômeros e um átomo de enxofre (S) em sua estrutura química (LEWIS, 2003), conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1-Estrutura química dos isômeros de metionina.

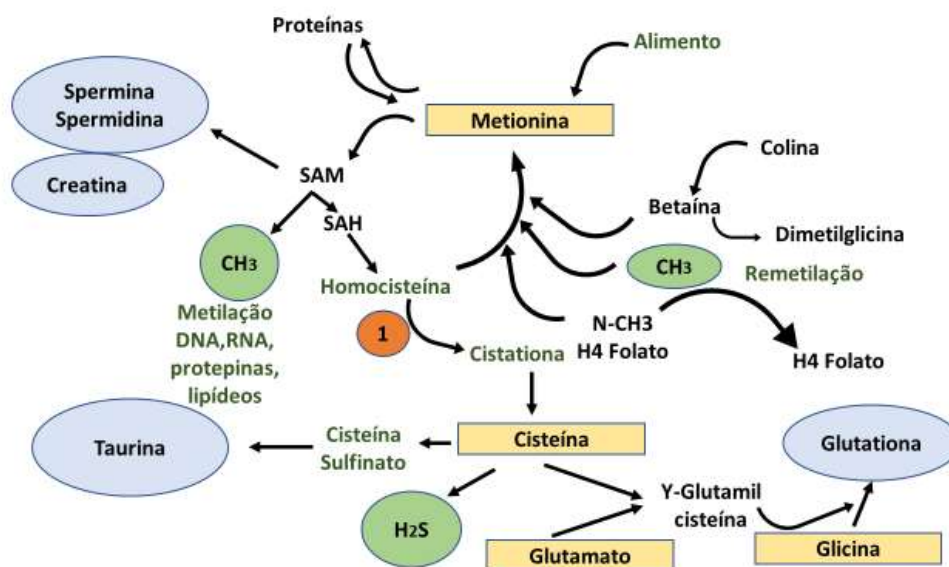


Fonte: Sakomura *et al.* (2014).

A metionina participa na metilação de RNA e DNA, síntese de proteína corporal, lipídeos, glutatona e também síntese de taurina que é um aminoácido semiessencial, abundante na farinha de peixe e ausente nos ingredientes de origem vegetal (SAKOMOURA *et al.*, 2014). Pode ser considerada um dos aminoácidos mais importantes para peixes devido a participação em diversos processos biológicos e também produção de inúmeras substâncias como mostra na Figura 2.

Dietas com baixos níveis de metionina resultam em menor crescimento e em baixa eficiência alimentar (SIMMONS *et al.*, 1999), podendo a deficiência ser evitada por meio da suplementação com metionina cristalina (BROWDY *et al.*, 2012; NUNES *et al.*, 2014). Os efeitos da limitação de metionina em dietas à base de proteína vegetal para peixes são claros, e estão associados com o crescimento reduzido e menor eficiência alimentar (BELGHIT *et al.*, 2014; FIGUEIREDO-SILVA *et al.*, 2015; MICHELATO *et al.*, 2013).

Figura 2-Substâncias produzidas por meio do metabolismo da metionina.



Fonte: Sakomoura *et al.* (2014). (1) Cistationa β -sintase (Reação irreversível). CH3: grupo metil. SAH: S-adenosil-homocisteína. SAM: S-adenosil-metionina.

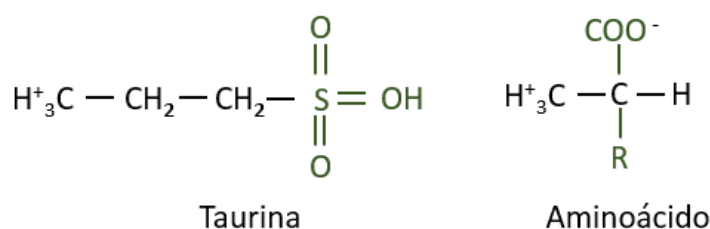
Por meio da participação única da metionina a S-adenosilmetionina (SAM) e S-adenosil-homocisteína (SAH) são sintetizadas, e ambos os compostos estão envolvidos na manutenção de grupos metil no tecido hepático (KWASEK *et al.*, 2014). A SAH é hidrolisada pela S-adenosil-homocisteinase (AHCY) em homocisteína, que tem dois destinos metabólicos

possíveis: sintetizar a metionina de volta por remetilação ou entrar na via de transulfuração para produzir cisteína (TANG *et al.*, 2010).

A taurina é considerada um aminoácido semiessencial em dietas elaboradas com base em proteína de origem vegetal para muitas espécies de peixes, mostrando melhorias no crescimento de tilápia do Nilo (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016). Ela é frequentemente classificada como aminoácido, apesar de não possuir um grupo carboxila em sua estrutura química em relação aos demais aminoácidos (Figura 3).

A maioria dos ingredientes de origem vegetal também é limitado em taurina (ácido 2-aminoetanossulfônico) (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016). O pool corporal de taurina resulta de um equilíbrio entre a ingestão e a síntese de taurina a partir do metabolismo da metionina e a reabsorção de taurina pelo rim e intestino médio como ácido biliar (WU, 2013).

Figura 3-Comparação da estrutura química da taurina e dos demais aminoácidos.



Fonte: Brody (1994); Gropper (2011); Nelson; Cox (2009); Sakomura *et al.* (2014).

A taurina por meio do ácido cólico produz taurocolato, envolvido na produção de sais biliares e na digestão de gorduras (Figura 4); defesa antioxidante das células; osmorregulação celular; desenvolvimento muscular, neural e visual, manutenção da função hepática e ação anti-inflamatória nos tecidos (SAKOMURA *et al.*, 2014; SALZE; DAVIS, 2015).

Figura 4-Metabolismo da taurina para a produção de sais biliares.



Fonte: Gropper (2011); Kim *et al.* (2008); Nelson; Cox (2009); Sakomura *et al.* (2014); Trosvik *et al.* (2012).

A taurina atua no metabolismo lipídico, com aumento da produção e conjugação de ácidos biliares, que por sua vez, podem ativar atividades específicas de lipases intestinais (WILDE; CHU, 2011; SALZE; DAVIS, 2015). Exceto nos mamíferos, a taurina é o único aminoácido conjugado com ácidos biliares, principalmente ácido cólico ou quenodeoxicólio, produzindo ácido taurocólico e taurocenodeoxicólio, importantes na digestão de lipídios (GOTO *et al.*, 1996; KIM *et al.*, 2015; SALZE; DAVIS, 2015).

Os ácidos biliares são potentes surfactantes digestivos, com papel fundamental na digestão lipídica e na absorção de colipase e lipase. Eles fazem parte da micela mista que solubiliza os produtos da lipólise, facilitando seu transporte para a superfície da mucosa intestinal antes da absorção (DE MOURA *et al.*, 2019; WILDE; CHU, 2011).

A síntese de taurina nos peixes varia entre as espécies e com o ambiente aquático onde vivem e está relacionado à variação na atividade da L-cisteinesulfina descarboxilase (CSD), que é uma enzima chave para a oxidação e conversão direta de cisteína em taurina ou conversão de metionina em cisteína, principalmente no fígado e cérebro (CHANG *et al.*, 2013).

A taurina é sintetizada a partir do metabolismo da metionina, principalmente pela via dependente da cisteína dioxigenase (CDO)/cisteína sulfínica descarboxilase (CSD), principal via de biossíntese de taurina em mamíferos (JURKOWSKA *et al.*, 2016). Nesta via, a cisteína é oxidada em ácido cisteínico sulfínico pela CDO e o ácido cisteínico sulfínico é descarboxilizado em hipotaurina pela CSD, assim a taurina é sintetizada a partir de hipotaurina (HAGA *et al.*, 2015; SALZE *et al.*, 2016).

Taurina não é incorporada na proteína, mas desempenha um papel fundamental no fornecimento de metabólitos envolvidos na regulação osmótica, processos de desintoxicação e função do sistema nervoso (STIPANUK *et al.*, 2018). Porém, poucos estudos se concentraram nos benefícios da suplementação de taurina no metabolismo lipídico e na qualidade de carne (BAÑUELOS-VARGAS *et al.*, 2014; CHATZIFOTIS *et al.*, 2008; NGUYEN *et al.*, 2015). Até o momento da presente pesquisa não foram encontrados estudos de qualidade de carne de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com dietas suplementadas com metionina e/ou taurina avaliando os efeitos sobre a utilização dos lipídios.

1.4 QUALIDADE DE CARNE

A qualidade da carne do peixe inteiro ou do filé indica o frescor e está diretamente relacionado à sua comercialização. Para atender a demanda do mercado consumidor, as características dos peixes devem ser semelhantes às dos peixes recém-capturados (DUAN; CHERIAN; ZHAO, 2010; MAZANDRANI; JAVADIAN; BAHRAM, 2016). Desde o momento da captura, ocorre deterioração da carne, como resultado da alta atividade da água, alterações nos valores de pH, quantidade grande de aminoácidos livres, presença de enzimas autolíticas e alto percentual de ácidos graxos insaturados. Esses fatores aceleram o crescimento microbiano (DUAN; CHERIAN; ZHAO, 2010; MAZANDRANI; JAVADIAN; BAHRAM, 2016).

Uma das maneiras mais comuns de preservar o peixe é o armazenamento em gelo, retardando o processo de deterioração (OEHLENSCHLAGER, 2014). Nos peixes, devido a sua composição, os fenômenos de alteração de qualidade ocorrem em períodos muito mais curtos em comparação com outros produtos de origem animal. Com isso, várias técnicas são utilizadas para monitorar a perda de frescor, incluindo métodos sensoriais, bioquímicos, físicos e microbiológicos (OEHLENSCHLAGER, 2014).

A carne de peixe é constituída por componentes químicos como a água, proteína e lipídios, em proporções de 50 a 85%, 12 a 24% e 0,1 a 22%, respectivamente (BRITTO *et al.*, 2014; YARNPAKDEE *et al.*, 2014). A composição muscular pode variar de acordo com a espécie, idade, sexo e nutrição, sendo um importante aspecto de qualidade e de mudanças que podem ocorrer na aparência e na composição afetando diretamente a comercialização do produto (GRIGORAKIS, 2007).

A taurina não é considerada um aminoácido essencial para espécies de peixes de água doce. Entretanto, sua suplementação resulta em melhora no crescimento de tilápias alimentadas com dietas a base de proteína de origem vegetal (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016; MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018). Maior desempenho aliado aos fatores de qualidade de carne são importantes nesse estudo, sendo necessário também analisar as alterações causadas pelas dietas nos parâmetros sanguíneos

Os parâmetros sanguíneos são considerados como indicadores para o status de saúde e condições fisiológicas dos peixes (KADER *et al.*, 2010). A taurina atua na defesa antioxidativa, aliada com a suplementação de metionina, reduz os níveis de triglicerídeos sanguíneos em peixes (FANG; YANG; WU, 2002; LI *et al.*, 2009) e também a taurina dietética está envolvida na composição de ácidos biliares conjugados em *Paralichthys olivaceu*, que participam da digestão de gorduras (KIM *et al.*, 2007).

A oxidação lipídica é um dos principais indutores de perecibilidade, os lipídios no músculo do peixe contêm alto teores de ácidos graxos insaturados, que são suscetíveis à oxidação (YARNPAKDEE *et al.*, 2012). A oxidação lipídica causa deterioração da qualidade da carne, como descoloração, alteração no sabor e textura, perda de nutrientes e produção de compostos tóxicos (KILIÇ *et al.*, 2018; MAQSOOD; BENJAKUL, 2011; YARNPAKDEE *et al.*, 2012).

Entre os atributos desejáveis do pescado, destacam-se a textura e a coloração, que estão diretamente ligados a aceitabilidade pelo consumidor. No entanto, ainda são poucas as informações sobre os efeitos da suplementação de metionina e taurina sobre a qualidade de carne de tilápias. A relação entre taurina e qualidade da carne foi demonstrada com robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*), em que peixes alimentados com dieta suplementada com taurina apresentaram filés com maior dureza e mastigabilidade (KOTZAMANIS *et al.*, 2019).

A dieta tem relação direta com a qualidade do filé (SANTOS *et al.*, 2001). Por este motivo busca-se ingredientes que permitam a formulação de dietas nutricionalmente de alta qualidade e de baixo custo, e principalmente, que adicionem atributos desejáveis a carne (CYRINO *et al.*, 2010). A qualidade do filé é importante para sustentar a produção de peixes, uma vez que perdas na unidade produtora ou rejeição dos filés nas indústrias processadoras reduzem as margens de lucro (ALLRED *et al.*, 2019).

Alterações na cor da carne causadas pelos ingredientes da dieta podem ter um efeito negativo na venda se o produto resultante não atender às expectativas dos consumidores (SKONBERG *et al.*, 1998). A coloração da carne é considerada uma característica desejável em certos peixes, como truta (*Oncorhynchus mykiss*) e salmão do Atlântico (*Salmo salar*),

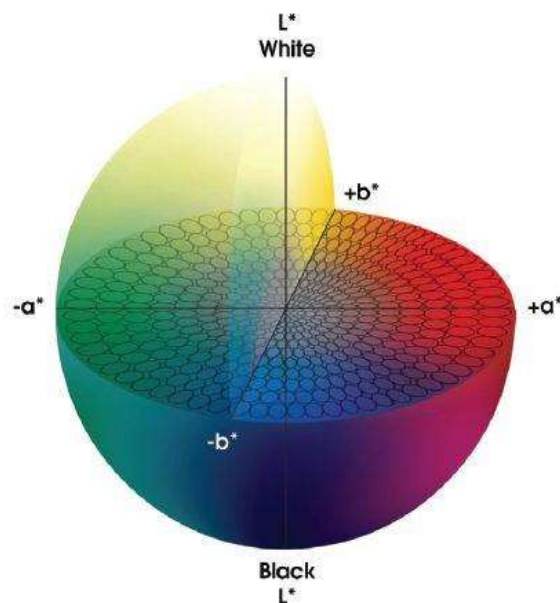
enquanto o mesmo atributo é altamente indesejável em peixes de carne branca, como o peixe-gato (*Pelteobagrus fulvidraco*) (LI *et al.*, 2007) e tilápia (GIRAO; PEREIRA DA SILVA; DE MELO, 2012).

A cor do alimento é um importante atributo visual que determina diretamente a aceitabilidade do produto (DHANAPAL. *et al.*, 2013; GATLIN *et al.*, 2007). Com o intuito de normalizar a medida da cor, em 1932, a “*Commission Internationale de l’Eclairage*”, adotou métodos de medição e especificação de cor com uso de fontes de luz padronizada, utilizando unidades matemáticas adequadas para expressão da cor e do observador padrão (JIMÉNEZ; GUTIÉRREZ, 2001).

O colorímetro triestímulo gera medições correlacionadas ao olho humano com base em valores triestímulo, com modelo de cor XYZ e modelo de cor L*, a* e b* (HUNTER; HAROLD, 1987), utilizando uma escala de cor CIE L* a* b*, ou CIELAB, a fim de fornecer relação uniforme entre as diferenças da cor e as diferenças visuais (Figura 5). O máximo valor de L* (100), referente a luminosidade, corresponde a uma perfeita reflexão difusa, e seu valor mínimo (0) refere-se ao preto, ou seja, determina a intensidade do clareamento (aumento do valor de L*) ou escurecimento (diminuição do valor de L*) das carnes. Os eixos a* e b* não representam limites numéricos específicos. O valor de a* varia do vermelho (+a*) ao verde (-a*) e a coordenada b* do amarelo (+b*) ao azul (-b*) (HEIDRICH; GRUNER; VASKE, 1994; HUNTERLAB, 2008).

Os valores delta (ΔL^* , Δa^* e Δb^*) demonstram o quanto a amostra diferiu do padrão para L*, a* e b*, estes valores são utilizados no controle da qualidade e ajustes na formulação de ração, como também para o cálculo da diferença total de cor (ΔE^*) (HUNTERLAB, 2008). A variação na coloração da carne, está relacionada a quatro grupos de pigmentos que fornecem cor as células: melanina, carotenoides, pteridinas e purinas. Além desses, existem também, as mioglobinas, hemoglobina, bilinas e hemocianina (MAIA; OGAWA, 1999; ANDERSON, 2000). Esses pigmentos participam de reações químicas e bioquímicas, e a variação na cor do alimento é um indicador na alteração dessas reações, principalmente durante o processamento da carne e/ou armazenamento (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Figura 5-CIE L* a* b* Diagrama de espaços de cores.



Fonte: Hunterlab (2008).

A coloração da carne varia entre as espécies de peixes, por particularidade de coloração na musculatura, líquido corporal, couro e escamas. As alterações também estão relacionadas com idade, sexo, alimentação, esforço do animal antes do abate e alterações *post-mortem* como pH, temperatura e região anatômica (ZEOLA, 2002). O tempo de armazenagem e a temperatura de congelamento também influenciam a coloração (BOLES; PEGG, 2017).

A melanina confere a coloração mais escura nos peixes, os carotenoides são pigmentos lipossolúveis e são responsáveis pela coloração amarela e vermelha, (ANDERSON, 2000). As pteridinas também são compostos solúveis em água, em conjunto com os carotenóides resultam na coloração brilhante da carne, os pigmentos compostos por purinas, principalmente ricos em guanina, conferem na coloração prateada, encontrada principalmente na região ventral dos peixes (ANDERSON, 2000).

As proteínas em conjunto com estes pigmentos básicos, produzem cores nos peixes que vão do azul, violeta até tons de verde (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007). A hemoglobina e principalmente a mioglobina conferem a cor da carne fresca, pois permanecem no tecido como sangue residual, e pela concentração e estado químico, conferindo a coloração vermelha (PARDI *et al.*, 2006).

A cor do filé é afetada pela oxidação lipídica em peixes (BUCHANAN; THOMAS, 2008; SERRÃO, 2007). Com a suplementação de taurina que atua como antioxidante, reduz os níveis de triglicérides e diminui a oxidação lipídica, evitando perdas de qualidade do

produto final e uma maior aceitação pelo consumidor. As alterações na cor do músculo durante o armazenamento são causadas pela oxidação da mioglobina em metilhemoglobina (NAKAGAKI; NISHINO, 2000).

O pH é utilizado como parâmetro para medir o frescor do pescado, níveis baixos de pH estão relacionados ao estresse causado no abate, em que o animal utiliza as reservas de glicogênio e ATP, produzindo ácido lático. A concentração de ácido lático irá determinar o pH da carne (RAHMANIFARAH; SHABANPOUR; SATTATI, 2011). A concentração de íons-hidrogênio é alterada pelo processo de decomposição, hidrolítica ou fermentativa da carne (HUSS, 1998).

Além do pH alterar a textura e coloração, também altera a atividade enzimática nos filés (ZEOLA, 2002; MORKORE, 2006). O valor desejável de pH é 6,8, sendo que valores reduzidos de pH são devido a geração de íons H⁺ associada à produção de ácido lático (RAHMANIFARAH; SHABANPOUR; SATTATI, 2011). O aumento do pH está relacionado ao acúmulo de substâncias base, como amônia e trimetilamina, que são produzidas pelo desenvolvimento de microrganismos (ALBUQUERQUE; FERNANDO; ZAPATA, 2004; HUSS, 1998). O pH deve ser analisado em conjunto com outros índices de qualidade, como análises químicas, bioquímicas e microbiológicas (VLACHOS, 2011).

Com a maior venda de produtos congelados, deve se avaliar a perda de água por descongelamento, com isso, passou a existir a necessidade de regulamentação. Com isso, o ministério da agricultura e o instituto de defesa do consumidor (IDEC) desenvolveram normas, sendo o limite de 15 % de água no processo de descongelamento para pescados (MAPA, 2010). A perda de água após descongelamento depende de fatores como temperatura (CAPPELN; JESSEN, 2001), duração do armazenamento (CAPPELN; JESSEN, 2001) e método de descongelamento (TOLDRÁ, 2003). No entanto, há poucos estudos sobre a perda de água no filé de peixes e não foi encontrado até a presente pesquisa estudos que envolvessem a perda de água por descongelamento dos filés relacionado com a suplementação de metionina e/ou taurina em tilápias do Nilo.

A medida da textura dos filés dos peixes está relacionada com o frescor, qualidade da carne, aceitabilidade do produto, processamento e vida útil de prateleira (CHEN; OPARA, 2013). Os parâmetros mecânicos avaliam: dureza, adesividade e mastigabilidade (SZCZESNIAK, 2002). A análise, ou determinação do perfil de textura (TPA – *Texture Profile Analysis*) geralmente é realizada com texturômetro - TA-XT2 (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Reino Unido), equipado com uma célula de carga de 5 kg e uma sonda

cilíndrica de extremidade plana (36 mm de diâmetro), que mede a força necessária para o corte da carne, no qual o valor é expresso em Newtons (OLAFSDOTTIR *et al.*, 2004).

Simulando a força de rompimento da amostra, ou seja, mede as características mecânicas manifestadas pela reação da carne a uma força que simula a compressão da carne entre os dentes molares durante a mastigação (FOX *et al.*, 2000). A amostra de filé, é submetida a dois ciclos de compressão, ocorre uma curva resultante, esta curva indica: Dureza, máxima força registrada durante uma análise de compressão expressa em Newton (N); Adesividade, quantidade de força necessária para simular o trabalho necessário das forças de atração entre a o alimento e a superfície de contato do mesmo e Mastigabilidade, multiplicação da gomosidade com a elasticidade (VLIET, 1991).

Após o abate do peixe, ocorrem reações químicas, bioquímicas e físicas que promovem a maciez *post mortem* da carne. A degradação e desnaturação das proteínas miofibrilares e do citoesqueleto são mudanças indesejáveis, pois a firmeza muscular do peixe é um importante indicador de frescor e qualidade do produto (BELEW *et al.*, 2003; ESKIN; ALIANI; SHAHIDI, 2015). Além disso a temperatura de armazenamento, manejo antes e pós abate e dieta influenciam na textura e na composição da carne (CHEN; OPARA, 2013; SZCZESNIAK, 2002).

A textura influencia nas propriedades sensoriais da carne (MORKORE *et al.*, 2002; PÉREZ-WON *et al.*, 2006). O mecanismo exato pelo qual a taurina afeta a textura do filé ainda não é conhecido, não havendo muitas informações sobre os efeitos da taurina na dieta sobre os atributos de textura de filés de peixe (KOTZAMANIS *et al.*, 2019).

1.5 EXPRESSÃO DE GENES

Os estudos com nutrigenômica com peixes estão aumentando substancialmente, para elucidar como os nutrientes e os aminoácidos podem afetar a expressão gênica. Estudos envolvendo expressão gênica com foco na disponibilidade de aminoácidos sulfurados foram estudados principalmente em espécies de peixes marinhos, para avaliar, os efeitos da suplementação de metionina (ESPE *et al.*, 2008, 2014; KWASEK *et al.*, 2014) e taurina (WANG *et al.*, 2014).

A nutrigenômica se caracteriza pelo estudo em níveis moleculares (trajetórias de vários mRNAs), envolvendo a regulação dos sinais genéticos pelos nutrientes, possui potencial para inovações nutricionais e melhorar a qualidade, desempenho e saúde dos peixes,

reduzindo os custos de alimentação e promovendo sustentabilidade da aquicultura (OVERTURF *et al.*, 2016). Com o auxílio da nutrigenômica, busca ferramentas para os programas de melhoramento animal, contribuindo para a melhoria da eficiência e qualidade dos produtos de origem animal. Porém, ainda existem dificuldades na identificação dos genes responsáveis pelas características fenotípicas de interesse zootécnico (PANSERAT; KAUSHIK, 2010).

O maior número de cópias de mRNA do gene CBS foi encontrado nos grupos de peixes que receberam dieta sem metionina ou com baixo nível, em relação aos peixes que receberam maiores concentrações de metionina nas dietas, indicando uma regulação negativa da remetilação no fígado no caso de deficiência de metionina (KWASEK *et al.*, 2014). No entanto, os níveis de mRNA de CDO não são influenciados pela suplementação de metionina e taurina em tilápias do Nilo (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018), e nem em juvenis de cobia (*Rachycentron canadum*) como observado em estudos utilizando níveis de suplementação de taurina (WATSON; BARROWS; PLACE, 2014).

Já a expressão de mRNA do gene AHCY é influenciada pela suplementação de metionina, ocorrendo redução na sua expressão em tilápias do Nilo alimentadas com dietas suplementadas e com deficiência de metionina, sugerindo que o gene AHCY pode não ser regulado pela presença ou ausência de metionina em peixes (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018). Considerando que a metionina e taurina são importantes na suplementação de dietas de tilápias do Nilo, além dos efeitos esperados na expressão de genes, espera-se melhorar o desempenho dos peixes e a qualidade de carne, particularmente em peixes na fase de terminação, com poucas informações sobre os efeitos da metionina e taurina sobre a expressão dos genes relacionados ao metabolismo dos aminoácidos sulfurados.

REFERÊNCIAS

- AL-FEKY, S. S. A.; EL-SAYED, A. F. M.; EZZAT, A. A. Dietary taurine enhances growth and feed utilization in larval Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed soybean meal-based diets. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 457–464, 2016.
- ALAM, M. S. *et al.* Effects of supplementation of coated crystalline amino acids on growth performance and body composition of juvenile kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 10, p. 309–316, 2004.
- ALBUQUERQUE, W. F. DE; FERNANDO, J.; ZAPATA, F. Estado de frescor , textura e composição muscular da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) abatida com dióxido de carbono e armazenada em gelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, p. 264–271, 2004.
- ALLRED, S. *et al.* An assessment of red fillet prevalence in the catfish industry. **Aquaculture**, v. 507, p. 203–210, 2019.
- ALMEIDA, F. L. A. **Expressão gênica de fatores que controlam o crescimento muscular do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**. Universidade Estadual de Campinas, instituto de Biologia, 2011.
- ANDERSON, S. Salmon Color and the Consumer. *In: Proceedings of the IIFET. CANADA: Hoffmann-La Roche Limited*, 2000.
- ARNTHORSOTTIR, M. GUORÚN; ARASON, S.; MARGEIRSSON, B. Combined Blast and Contact cooling - Effects on physiochemical characteristics of fresh haddock. 2008.
- BAKKE, A. M.; GLOVER, C.; KROGDAHL, A. Feeding, digestion and absorption of nutrients. **Fish Physiology**, v. 30, n. C, p. 57–110, 2011.
- BAÑUELOS-VARGAS, I. *et al.* Effect of fishmeal replacement by soy protein concentrate with taurine supplementation on hepatic intermediary metabolism and antioxidant status of totoaba juveniles (*Totoaba macdonaldi*). **Comparative Biochemistry and Physiology - Biochemistry and Molecular Biology**, v. 170, n. 1, p. 18–25, 2014.
- BELEW, J. B. *et al.* Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. **Meat Science**, v. 64, n. 4, p. 507–512, 2003.
- BELGHIT, I. *et al.* Dietary methionine availability affects the main factors involved in muscle protein turnover in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 4, p. 493–503, 2014.
- BLACHIER, F.; WU, G.; YIN, Y. **Nutritional and Physiological Functions of Amino Acids in Pigs**. 2013. ed. Vienna: springer, 2013.
- BOLES, J. A.; PEGG, R. Meat Color. p. 4, 2017.
- BRITTO, A. C. P. *et al.* Rendimento corporal e composição química do filé da viola (*Loricariichthys anus*). **Ciência animal Brasileira**, v. 15, p. 38–44, 2014.
- BRODY, T. **Nutritional biochemistry**. San Diego, California: Academic Press, 1994.

BROWDY, C. L. *et al.* Supplementation with 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid (HMTBa) in low fish meal diets for the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Nutrition**, v. 18, p. 432–440, 2012.

BUCHANAN, J. G.; THOMAS, P. M. Improving the color shelf life of farmed southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) flesh with dietary supplements of Vitamins E and C and Selenium. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 17, n. 3, p. 285–302, 2008.

CAPPELN, G.; JESSEN, F. Glycolysis and ATP Degradation in Cod (*Gadus morhua*) at Subzero Temperatures in Relation to Thaw Rigor. **LWT - Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 81–88, 2001.

CHANG, Y. C. *et al.* Taurine homeostasis requires de novo synthesis via cysteine sulfinic acid decarboxylase during zebrafish early embryogenesis. **Amino Acids**, v. 44, n. 2, p. 615–629, 2013.

CHATZIFOTIS, S. *et al.* Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and bile salt activated lipase activity of common dentex, *Dentex dentex*, fed a fish meal/soy protein concentrate-based diet. **Aquaculture**, v. 275, n. 1–4, p. 201–208, 2008.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 823–835, 2013.

CYRINO, J. E. P. *et al.* A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. supl. especial, p. 68–87, 2010.

DAVIS, D. A. **Feed and feeding practices in aquaculture**. Series in Food Science, Technology and Nutrition Number 287, 2015.

DE MOURA, L. B. *et al.* Taurine and methionine supplementation as a nutritional strategy for growth promotion of meagre (*Argyrosomus regius*) fed high plant protein diets. **Aquaculture**, v. 497, p. 389–395, 2018.

DE MOURA, L. B. *et al.* Nutrient digestibility, digestive enzymes activity, bile drainage alterations and plasma metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) fed high plant protein diets supplemented with taurine and methionine. **Aquaculture**, v. 511, n. 734231, p. 7, 2019.

DEGHANI, R.; OUJIFARD, A.; MOZANZADEH, M. T. Effects of dietary taurine on growth performance, antioxidant status, digestive enzymes activities and skin mucosal immune responses in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus*. **Aquaculture**, v. 517, p. 42, 2019.

DHANAPAL., K. *et al.* changes in instrumental and sensory characteristics of tilapia fish steaks during cold blanching and cooking treatments. **The Bioscan**, v. 8, n. 3, p. 887–892, 2013.

DUAN, J.; CHERIAN, G.; ZHAO, Y. Quality enhancement in fresh and frozen lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets by employment of fish oil incorporated chitosan coatings. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 524–532, 2010.

EL-SAYED, A. F. M. Is dietary taurine supplementation beneficial for farmed fish and

- shrimp? A comprehensive review. **Reviews in Aquaculture**, v. 6, n. 4, p. 241–255, 2014.
- ENCARNAÇÃO, P.; DE LANGE, C. F. .; BUREAU, D. . Diet energy source affects lysine utilization for protein deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 261, p. 1371–1381, 2006.
- ESKIN, M.; ALIANI, M.; SHAHIDI, F. Carnes e Peixes. In: ESKIN, M.; SHAHIDI, F. (Eds.). **Bioquímica de Alimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 536.
- ESLAMLOO, K.; FALAHATKAR, B.; YOKOYAMA, S. Effects of dietary bovine lactoferrin on growth, physiological performance, iron metabolism and non-specific immune responses of Siberian sturgeon *Acipenser baeri*. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 32, n. 6, p. 976–985, 2012.
- ESPE, M. *et al.* Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture**, v. 274, n. 1, p. 132–141, 2008.
- ESPE, M. *et al.* Methionine deficiency does not increase polyamine turnover through depletion of hepatic S -adenosylmethionine in juvenile Atlantic salmon . **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 8, p. 1274–1285, 2014.
- FANG, Y. Z.; YANG, S.; WU, G. Free radicals, antioxidants, and nutrition. **Nutrition**, v. 18, n. 10, p. 872–879, 2002.
- FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome: Opportunities and challenges, 2014.
- FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome: Contributing to food security and nutrition for all, 2016.
- FIGUEIREDO-SILVA, C. *et al.* Effect of DL-methionine supplementation on the success of almost total replacement of fish meal with soybean meal in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 21, n. 2, p. 234–241, 2015.
- FONTAGNÉ-DICHARRY, S. *et al.* Parental and early-feeding effects of dietary methionine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 469, p. 16–27, 2017.
- FOX, P. F. *et al.* **Fundamentals of cheese science**. Gaithersburg: Aspen, 2000.
- FURUYA, W. M. *et al.* Coeficientes de Digestibilidade e Valores de Aminoácidos Digestíveis de Alguns Ingredientes para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 4, p. 1143–1149, 2001.
- FURUYA, W. M. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010.
- GAO, Z. *et al.* Effect of dietary methionine levels on growth performance, amino acid metabolism and intestinal homeostasis in turbot (*Scophthalmus maximus L.*). **Aquaculture**, v. 498, n. 5, p. 335–342, 2019.
- GARCIA-ORGANISTA, A. A. *et al.* The effects of high dietary methionine and taurine are not equal in terms of growth and lipid metabolism of juvenile California Yellowtail (*Seriola*

dorsalis). **Aquaculture**, v. 512, n. July, p. 734304, 2019.

GATLIN, D. M. *et al.* Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 6, p. 551–579, 2007.

GAYLORD, T. G.; TEAGUE, A. M.; BARROWS, F. T. Taurine Supplementation of All-plant Protein Diets for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 37, n. 4, p. 509–517, 2006.

GIBSON GAYLORD, T. *et al.* Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 269, n. 1–4, p. 514–524, 2007.

GIRAO, P. M.; PEREIRA DA SILVA, E. M.; DE MELO, M. P. Dietary lycopene supplementation on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles submitted to confinement: Effects on cortisol level and antioxidant response. **Aquaculture Research**, v. 43, n. 5, p. 789–798, 2012.

GOFF, J. B.; GATLIN, D. M. Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet of red drum, *Scianops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine. **Aquaculture**, v. 241, p. 465–477, 2004.

GOTO, T. *et al.* Bile Salt Composition and Distribution of the D-Cysteinolic Acid Conjugated Bile Salts in Fish. **Fisheries Science**, v. 62, n. 4, p. 606–609, 1996.

GRIGORAKIS, K. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review. **Aquaculture**, v. 272, n. 1, p. 55–75, 2007.

GROPPER, S. S. **Nutrição avançada e metabolismo humano**. 5. ed. Stamford: Cengage Learning, 2011.

HAGA, Y. *et al.* Isolation, molecular characterization of cysteine sulfinic acid decarboxylase (CSD) of red sea bream *Pagrus major* and yellowtail *Seriola quinqueradiata* and expression analysis of CSD from several marine fish species. **Aquaculture**, v. 449, p. 8–17, 2015.

HAN, Y. *et al.* Interactive effects of dietary taurine and glutamine on growth performance, blood parameters and oxidative status of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Aquaculture**, v. 434, p. 348–354, 2014.

HE, J. Y. *et al.* Methionine and lysine requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of two sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 629–640, 2013.

HE, J. Y. *et al.* Effect of dietary L -methionine concentrations on growth performance , serum immune and antioxidative responses of juvenile Nile tilapia , *Oreochromis niloticus*. p. 665–674, 2017.

HEIDRICH, H. D.; GRUNER, J.; VASKE, T. R. **Manual da Patologia Bovina**. São Paulo: Varela, 1994.

HOSSEINI, S. A. *et al.* Reevaluation of Methionine Requirement Based on Performance and

Immune Responses in Broiler Breeder Hens. **Journal of Poultry Science**, v. 53, n. 9, p. 24, 2011.

HUA, K.; SUWENDI, E.; BUREAU, D. P. Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 505, p. 47–53, 2019.

HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. The Measurement of Appearance. **Optica Acta: International Journal of Optics**, v. 23, n. 7, p. 391, 1987.

HUNTERLAB. Applications Note: CIE L* a* b* color scale. v. 8, n. 7, p. 1–4, 2008.

HUSS, H. H. **Fresh fish: Quality and quality changes**. Rome: Training manual. United Nations, FAO/DANIDA, 1998.

ICHIKAWA, T. Effect of dietary taurine on cholesterol 7 alpha-hydroxylase activity in the liver of mice fed a lithogenic diet. **Jornaul nutricion science Vitaminol**, v. 33, p. 239–243, 1987.

JIMÉNEZ, A.; GUTIÉRREZ, G. C. **Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia S.A, 2001.

JURKOWSKA, H. *et al.* Downregulation of hepatic betaine:homocysteine methyltransferase (BHMT) expression in taurine-deficient mice is reversed by taurine supplementation in vivo. **Amino Acids**, v. 48, n. 3, p. 665–676, 2016.

KADER, M. A. *et al.* Supplemental effects of some crude ingredients in improving nutritive values of low fishmeal diets for red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture**, v. 308, n. 3–4, p. 136–144, 2010.

KILIÇ, B. *et al.* Improving lipid oxidation inhibition in cooked beef hamburger patties during refrigerated storage with encapsulated polyphosphate incorporation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 290–296, 2018.

KIM, S. K. *et al.* Effect of different dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth performance of juvenile and fingerling Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Aquaculture**, v. 273, n. 4, p. 595–601, 2007.

KIM, S. K. *et al.* Comparison of taurine biosynthesis ability between juveniles of Japanese flounder and common carp. **Amino Acids**, v. 35, p. 161–168, 2008.

KIM, S. K. *et al.* Effect of dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). **Aquaculture Research**, v. 46, n. 11, p. 2768–2775, 2015.

KOTZAMANIS, Y. *et al.* Effects of taurine supplementation in soy-based diets on growth performance and fillet quality in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, p. 734655, 2019.

KWASEK, K. *et al.* Dietary methionine supplementation alters the expression of genes involved in methionine metabolism in salmonids. **Aquaculture**, v. 433, p. 223–228, 2014.

LEWIS, A. J. Methionine-Cystine relationships in pig nutrition. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.).

Amino acids in animal nutrition. 2. ed. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2003. p. 143–155.

LI, M. *et al.* Effects of dietary taurine on growth, immunity and hyperammonemia in juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* fed all-plant protein diets. **Aquaculture**, v. 450, p. 349–355, 2016.

LI, M. H. *et al.* Effects of various dietary carotenoid pigments on fillet appearance and pigment absorption in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, n. 4, p. 557–563, 2007.

LI, P. *et al.* New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. **Amino Acids**, v. 37, n. 1, p. 43–53, 2009.

LIU, Y. *et al.* The tolerance and safety assessment of taurine as additive in a marine carnivorous fish, *Scophthalmus maximus* L. v. 24, n. 1, p. 461–471, 2017.

LIVAK, K. J.; SCHMITTGEN, T. D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT method. **Methods**, v. 25, n. 4, p. 402–408, 2001.

MAIA, E. L.; OGAWA, M. **Manual de pesca (Ciência e tecnologia do pescado)**. 1. ed. São Paulo: varela, 1999.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento BINAGRI - SISLEGIS. p. 9, 2010.

MAQSOOD, S.; BENJAKUL, S. Comparative studies on molecular changes and pro-oxidative activity of haemoglobin from different fish species as influenced by pH. **Food Chemistry**, v. 124, n. 3, p. 875–883, 2011.

MARTINS, N. *et al.* Is dietary taurine required for white seabream (*Diplodus sargus*) juveniles? **Aquaculture**, v. 502, p. 296–302, 2019.

MATO, J. M.; MARTÍNEZ-CHANTAR, M. LUIZ; C.LU, S. Methionine metabolism and liver disease. **Annual Review Nutrition**, v. 28, p. 273–293, 2008.

MAZANDRANI, H. A.; JAVADIAN, S. R.; BAHRAM, S. The effect of encapsulated fennel extracts on the quality of silver carp fillets during refrigerated storage. **Food Science and Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 298–304, 2016.

MICHELATO, M. *et al.* Revista Brasileira de Zootecnia Digestible methionine + cystine requirement for Nile tilapia from 550 to 700 g. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 1, p. 7–12, 2013.

MICHELATO, M.; FURUYA, W. M.; GATLIN, D. M. Metabolic responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* to methionine and taurine supplementation. **Aquaculture**, v. 485, p. 66–72, 2018.

MORKORE, T. *et al.* Composition, liquid leakage, and mechanical properties of farmed rainbow trout: Variation between fillet sections and the impact of ice and frozen storage. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 5, p. 1933–1938, 2002.

MORKORE, T. Relevance of dietary oil source for contraction and quality of pre-rigor filleted Atlantic cod, *Gadus morhua*. **Aquaculture**, v. 256, p. 56–65, 2006.

MPA. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura. Brasil 2008 - 2009. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**, p. 129, 2010.

MURAKAMI, S. *et al.* Effect of taurine on cholesterol metabolism in hamsters: Up-regulation of low density lipoprotein (LDL) receptor by taurine. **Life Sciences**, v. 70, n. 20, p. 2355–2366, 2002.

NAKAGAKI, M.; NISHINO, M. Studies on the Physico-Chemical Properties of Aluminum Soaps. Vi. **Yakugaku zasshi : Journal of the Pharmaceutical Society of Japan**, v. 84, n. 25, p. 157–174, 2000.

NANDHINI, A. T. A.; BALAKRISHNAN, S. D.; ANURADHA, C. V. Taurine improves lipid profile in rats fed a high. v. 22, p. 343–354, 2002.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger: principles of biochemistry**. 5. ed. New York: H.W. Freeman and Company, 2009.

NGUYEN, H. P. *et al.* Feeding fermented soybean meal diet supplemented with taurine to yellowtail *Seriola quinqueradiata* affects growth performance and lipid digestion. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 5, p. 1101–1110, 2015.

NRC. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. Washington, DC: National Academy Press, 2011.

NUNES, A. J. P. *et al.* Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. **Aquaculture**, v. 431, p. 20–27, 2014.

OEHLENSCHLAGER, J. Seafood Quality Assessment. *In: The British Journal of Psychiatry*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2014. v. 111p. 510.

OHUCHI, S. *et al.* Hepatic cystathionine β -synthase activity does not increase in response to methionine supplementation in rats fed a low casein diet: Association with plasma homocysteine concentrations. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 55, n. 2, p. 178–185, 2009.

OLAFSDOTTIR, G. *et al.* Multisensor for fish quality determination. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 86–93, 2004.

OVERTURF, K. *et al.* Energy composition of diet affects muscle fiber recruitment, body composition, and growth trajectory in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 457, p. 1–14, 2016.

PANSERAT, S.; KAUSHIK, S. J. Regulation of gene expression by nutritional factors in fish. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 5, p. 751–762, 2010.

PARDI, M. C. *et al.* **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia: Editora UFG, 2006.

PEIXEBR. **Anuário PeixeBR da Piscicultura 2018**. São Paulo, SP: Texto Comunicação Corporativa, 2018.

PEIXEBR. **Anuário PeixeBR da Piscicultura 2019**. São Paulo, SP: Texto Comunicação Corporativa, 2019.

PÉREZ-WON, M. *et al.* Textural characteristics of frozen blue squat lobster (*Cervimunida johni*) tails as measured by instrumental and sensory methods. **Journal of Food Process Engineering**, v. 29, n. 5, p. 519–531, 2006.

RAHMANIFARAH, K.; SHABANPOUR, B.; SATTATI, A. Effects of clove oil on behavior and flesh quality of common carp (*Cyprinus carpio L.*) in comparison with pre-slaughter CO₂ stunning, chilling and asphyxia. **Turkish Journal of Fisheries and aquatic Sciences**, n. 11, p. 139–147, 2011.

REZZI, S. *et al.* Nutritional metabonomics: Applications and perspectives. **Journal of Proteome Research**, v. 6, n. 2, p. 513–525, 2007.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2007.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4 Ed. ed. Viçosa: Ed. Viçosa, 2017.

SAKOMURA, N. K. *et al.* **Nutrição de Não Ruminantes**. Joboticabal: Funep, 2014.

SALWAY, J. G. **Metabolismo passo a passo**. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2009.

SALZE, G. P. *et al.* Investigation of biomarkers of early taurine deficiency in Florida pompano *Trachinotus carolinus*. **Aquaculture**, v. 451, p. 254–265, 2016.

SALZE, G. P.; DAVIS, D. A. Taurine: A critical nutrient for future fish feeds. **Aquaculture**, v. 437, p. 215–229, 2015.

SANTOS, A. B. *et al.* Composição química e rendimento do filé da traíra (*Hoplias malabaricus*). **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 8, n. 1, p. 140–150, 2001.

SAVONA, B. Digestive Enzymes in Larvae and Juveniles of Farmed Sharpnose Seabream (*Diplodus puntazzo*) (Cetti, 1777). **The Open Marine Biology Journal**, v. 5, n. 1, p. 47–57, 2011.

SERRÃO, A. IV Manual de Patologia Podal Bovina. p. 12–13, 2007.

SIMMONS, L. *et al.* Dietary methionine requirement of juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.). **Aquaculture Nutrition**, v. 5, p. 93–100, 1999.

SKONBERG, D. I. *et al.* Color and flavor analyses of fillets from farm-raised rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-phosphorus feeds containing corn or wheat gluten. **Aquaculture**, v. 166, n. 3–4, p. 269–277, 1998.

STIPANUK, M. H. Sulfur amino acid metabolism: pathway for production and removal of homocysteine and cysteine. **Journal of Animal Review Nutrition**, v. 24, p. 537–539, 2004.

STIPANUK, M. H. *et al.* Cysteine dioxygenase: A robust system for regulation of cellular

cysteine levels. **Amino Acids**, v. 37, n. 1, p. 55–63, 2009.

STIPANUK, M. H. *et al.* Enzymes and Metabolites of Cysteine Metabolism in Nonhepatic Tissues of Rats Show Little Response to Changes in Dietary Protein or Sulfur Amino Acid Levels. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 11, p. 3369–3378, 2018.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, n. 4, p. 215–225, 2002.

TAKAGI, S. *et al.* Taurine is an essential nutrient for yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed non-fish meal diets based on soy protein concentrate. **Aquaculture**, v. 280, n. 1–4, p. 198–205, 2008.

TANG, B. *et al.* Methionine-deficient diet induces post-transcriptional downregulation of cystathionine β -synthase. **Nutrition**, v. 26, n. 11–12, p. 1170–1175, 2010.

TOCHER, D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Reviews in Fisheries Science**, v. 11, n. 2, p. 107–184, 2003.

TOLDRÁ, F. Muscle Foods: Water structure and functionality. Instituto de Agroquímica y tecnología de alimentos. **España.**, v. 9, n. 3, p. 173–177, 2003.

TROSVIK, K. A. *et al.* Growth and Body Composition of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Fry Fed Organic Diets Containing Yeast Extract and Soybean Meal as Replacements for Fish Meal, with and without Supplemental Lysine and Methionine. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 43, n. 5, p. 635–647, 2012.

VIDAL, L. V. O. *et al.* Apparent digestibility of soybean coproducts in extruded diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 228–235, 2017.

VLACHOS, I. Food Quality and Safety. **Intelligent Agrifood Chains and Networks**, v. 71, n. 1, p. 131–149, 2011.

VLIET, T. VAN. International Dairy Federation Bulletin. *In: Terminology to be used in cheese rheology*. Uruena: Wageningen Agricultural Univ. (Netherlands), 1991. p. 5–15.

WANG, Q. *et al.* Dietary sulfur amino acid modulations of taurine biosynthesis in juvenile turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, v. 422–423, p. 141–145, 2014.

WATSON, A. M.; BARROWS, F. T.; PLACE, A. R. Effects of Graded Taurine Levels on Juvenile Cobia. **North American Journal of Aquaculture**, v. 76, n. 3, p. 190–200, 2014.

WILDE, P. J.; CHU, B. S. Interfacial & colloidal aspects of lipid digestion. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 165, n. 1, p. 14–22, 2011.

WILSON, R. P. Amino acids and proteins. *In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. (Eds.). Fish nutrition*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2002.

WILSON, R. P. Amino acid requirements of finfish and crustaceans. *In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). Amino acid in farm animal nutrition*. Edinburgh, UK: CABI Publishing, 2003. p. 427–447.

WU, G. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013.

XU, S. W. *et al.* Dietary taurine supplementation enhances antioxidative capacity and improves breast meat quality of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 1668, 2019.

YARNPAKDEE, S. *et al.* Lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysate from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle as affected by freshness and antioxidants. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1781–1788, 2012.

YARNPAKDEE, S. *et al.* Chemical compositions and muddy flavour/odour of protein hydrolysate from Nile tilapia and broadhead catfish mince and protein isolate. **Food Chemistry**, v. 142, p. 210–216, 2014.

YEH, Y. H.; HWANG, D. F. High-performance liquid chromatographic determination for bile components in fish, chicken and duck. **Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications**, v. 751, n. 1, p. 1–8, 2001.

YUN, B. *et al.* Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus L.*) fed high plant protein diets. **Aquaculture**, v. 324–325, p. 85–91, 2012.

ZENG, D. S. *et al.* Effect of taurine on lipid metabolism of broilers. **Journal of Applied Animal Research**, v. 40, n. 2, p. 86–89, 2012.

ZEOLA, N. M. B. . Conceitos e parâmetro utilizados na avaliação da qualidade da carne ovina. **Revista Nacional da Carne**, v. 26, n. 304, p. 36–56, 2002.

ZHANG, J. *et al.* Effect of dietary taurine supplementation on growth performance , digestive enzyme activities and antioxidant status of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*) fed with low fish meal diet. v. 49, n. 9, p. 3187–3195, 2018.

**CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO PRODUTIVO, EXPRESSÃO DE GENES
RELACIONADOS COM O METABOLISMO DE AMINOÁCIDOS SULFURADOS E
QUALIDADE DA CARNE DE TILÁPIAS DO NILO NA TERMINAÇÃO,
ALIMENTADAS COM DIETAS SUPLEMENTADAS COM METIONINA E
TAURINA**

RESUMO

A metionina é um aminoácido limitante no farelo de soja. A taurina é considerada como aminoácido condicionalmente essencial para tilápias do Nilo alimentadas com dietas elaboradas exclusivamente com alimentos de origem vegetal. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho, expressão de genes relacionados com o metabolismo de aminoácidos sulfurados e a qualidade da carne de tilápias do Nilo na terminação, alimentadas com dietas suplementadas com metionina e/ou taurina. Foi elaborada uma dieta controle com 280 g/kg de proteína bruta e 3050 kcal/kg de energia digestível, formulada sem suplementação de metionina e taurina (Controle). A partir da dieta controle foram suplementadas mais três dietas com suplementação de metionina (MET), com suplementação de taurina (TAU) e com suplementação de metionina e taurina (MET+TAU). Os peixes foram alimentados manualmente, duas vezes por dia, sete dias por semana. Os peixes (n = 120, peso inicial de 1199,1 ± 45,5 g) foram distribuídos em 12 tanques-rede de 1000 L cada, em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 3 repetições. Peixes alimentados com a dieta MET apresentaram maior (P<0,001) peso corporal final em relação aos peixes alimentados com a dieta controle e TAU, não havendo diferença entre o peso corporal final dos peixes alimentados com a dieta MET+TAU. Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram a melhor (P=0,022) conversão alimentar em relação aos peixes alimentados com as demais dietas. Peixes alimentados com as dietas suplementadas com metionina e/ou taurina apresentaram maior (P < 0,001) rendimento de filé e maiores (P <0,005) teores de proteína corporal e no filé em relação aos peixes que receberam a dieta controle. Os peixes que consumiram a dieta MET e MET+TAU apresentaram valores mais baixos (P<0,001) de triglicerídeos plasmáticos em relação aos peixes que receberam as dietas Controle e TAU. Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram coloração dos filés menos amarelada 21 dias após o abate em relação ao filé dos peixes que receberam a dieta MET e controle. Foi observada menor expressão de mRNA dos genes cistationa beta-sintase (CBS) e cistationa dioxigenase (CDO) em peixes alimentados com as dietas com suplementação de metionina (P <0,001). A maior expressão de mRNA do gene adenylyl cyclase (AHCY) foi observada nos peixes alimentados com a dieta TAU em relação aos peixes alimentados com outras dietas (P=0,01). Concluiu-se que a suplementação isolada ou combinada de metionina e taurina melhora o desempenho e a retenção de proteína, modulando o metabolismo dos aminoácidos sulfurados e deposição de lipídios corporal e nos filés. Além disso, a taurina demonstrou efeito positivo na qualidade da carne, preservando a cor do filé de tilápias do Nilo.

PALAVRAS CHAVE: Aminoácidos, Aquicultura, Nutrição de peixes, *Oreochromis niloticus*, Tempo de prateleira, Expressão de genes.

ABSTRACT

Methionine is a limiting amino acid in soybean meal. Taurine is considered a conditionally essential amino acid for Nile tilapia fed all-vegetable diets. The aim of this study was to evaluate the growth performance, expression of genes related to sulfur amino acid metabolism and meat quality in large Nile tilapia fed extruded diets, supplemented with methionine and/or taurine. A control diet (CON) based on soybean meal containing 280 g kg⁻¹ crude protein and 3050 kcal kg⁻¹ of digestible energy, without methionine or taurine supplementation was elaborated. From the control diet, three more diets supplemented with methionine (MET), taurine (TAU) or methionine and taurine (MET+TAU) were elaborated. Fish were hand fed, two times a day, seven days per week, until apparent satiety, for 7-wk. Fish (n= 120, initial mean weight: 1199.1 ± 45.5 g) were distributed in a completely randomized design with four treatments and three replicates of 12 fish per floating net-cage. Fish fed diet MET demonstrated higher (P <0.001) final body weight than those fed diet TAU, with no difference between the final body weight of fish fed diet MET+TAU. Fish fed diet MET+TAU showed improved (P = 0.022) feed conversion compared to fish fed other diets. Fish fed diets MET, TAU and MET+TAU showed higher (P <0.001) fillet yield and higher (P <0.005) protein content in the body and fillet than those fed the control diet. Fish fed diets MET and MET+TAU showed lower (P <0.001) plasmatic triglycerides than those fed diets control and TAU. Fish fed diet MET+ TAU showed less yellowish fillet coloration 21 days after slaughter in relation to those fed control and MET diets. The expression of mRNA of cystathione beta synthase (CBS) gene and cystathione dioxygenase (CDO) demonstrated a higher expression of mRNA in fish fed diets supplemented with methionine (P <0.001). The expression of mRNA gene of adenylyl cyclase gene (AHCY) was higher in fish fed the TAU diet compared to fish fed other diets (P = 0.01). It was concluded that isolated or combined supplementation of methionine and taurine improves performance and protein retention by modulating sulfur amino acid metabolism and body and fillet lipid deposition. In addition, taurine showed a positive effect on meat quality, preserving the color of the Nile tilapia fillet.

KEYWORDS: Amino acids, Aquaculture, Fish Nutrition, Shelf life, Gene Expression.

2.1 INTRODUÇÃO

A metionina é o aminoácido mais limitante em dietas para tilápias elaboradas com base em proteína de soja e seus derivados (VIDAL *et al.*, 2017). A metionina participa na síntese de proteínas e lipídeos (SAKOMOURA *et al.*, 2014) e síntese de compostos que contém enxofre como a taurina, precursora de moléculas como a glutathione peroxidase, importante antioxidante biológico (NRC, 2011; SALZE; DAVIS, 2015).

A metionina possui função importante no metabolismo dos aminoácidos sulfurados, pela participação única a S-adenosilmetionina (SAM) e S-adenosil-homocisteína (SAH) são sintetizadas, sendo ambos os compostos envolvidos na manutenção de grupos metil no tecido hepático (KWASEK *et al.*, 2014). A SAH é hidrolisada pela S-adenosil-homocisteinase (AHCY) em homocisteína, que tem dois destinos metabólicos possíveis: formar a metionina de volta por remetilação ou entrar na via de transulfuração para produzir cisteína (TANG *et al.*, 2010).

Dieta para tilápias do Nilo com baixo nível de metionina resultam em menor crescimento e em baixa eficiência alimentar (SIMMONS *et al.*, 1999), sendo necessária sua adição na forma de aminoácidos cristalinos (BROWDY *et al.*, 2012; MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018; NUNES *et al.*, 2014). Em dietas para juvenis de tilápias utilizando níveis de suplementação de metionina, foi observado menor ganho de peso nos peixes alimentados com o menor nível de inclusão de metionina (HE *et al.*, 2017).

A taurina tem sido considerada como um aminoácido condicionalmente essencial para muitas espécies de peixes, entre elas a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Em tilápias, a suplementação de taurina resultou em melhoras no desempenho e eficiência alimentar (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016). A suplementação de taurina mostrou melhorias no crescimento de tilápias (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016).

A taurina, por meio do ácido cólico, produz taurocolato que está envolvido na produção de sais biliares, atuando na digestão de lipídeos (KIM *et al.*, 2015) e interferindo no metabolismo lipídico dos peixes (DAVIS, 2015; EL-SAYED, 2014). No entanto, poucos estudos se concentraram nos benefícios da suplementação de taurina no metabolismo lipídico e na qualidade de carne em peixes (BAÑUELOS-VARGAS *et al.*, 2014; CHATZIFOTIS *et al.*, 2008; NGUYEN *et al.*, 2015).

A síntese de taurina nos peixes varia entre as espécies, está relacionada com a atividade da L-cisteinesulfinato descarboxilase (CSD), que é uma enzima chave para a

oxidação e conversão direta de cisteína em taurina ou conversão de metionina em cisteína (CHANG *et al.*, 2013). A S-adenosilmetionina (SAM) e S-adenosil-homocisteína (SAH) são enzimas sintetizadas unicamente a partir da metionina, e ambos compostos estão envolvidos na manutenção de grupos metil no tecido hepático (KWASEK *et al.*, 2014).

A nutrigenômica tem sido utilizada para melhor compreensão dos efeitos dos nutrientes sobre a expressão gênica. Estudos envolvendo expressão gênica com foco na disponibilidade de aminoácidos sulfurados foram realizados principalmente em peixes marinhos (ESPE *et al.*, 2008; ESPE *et al.*, 2014; KWASEK *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2014). Recentemente, a expressão de genes relacionados ao metabolismo de aminoácidos sulfurados foi avaliado em juvenis de tilápias do Nilo alimentadas com metionina e/ou taurina (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018). No entanto, ainda há poucas informações sobre os efeitos da adição de metionina e taurina para tilápias na fase de terminação, relacionando as respostas de expressão de genes com o desempenho produtivo e a qualidade da carne.

A qualidade da carne do pescado indica o frescor e está diretamente relacionada à sua comercialização e é influenciada pela dieta (SANTOS *et al.*, 2001). As alterações nos valores de pH, presença de enzimas autolíticas e oxidação dos ácidos graxos insaturados, contribuem com a redução do frescor (MAZANDRANI; JAVADIAN; BAHRAM, 2016). A oxidação lipídica é um dos principais indutores da perda de frescor do pescado, considerando o alto teor de ácidos graxos insaturados, que são suscetíveis à oxidação (YARNPAKDEE *et al.*, 2012).

A oxidação lipídica causa deterioração da qualidade da carne, como descoloração, alteração no sabor e textura e perda de nutrientes (KILIÇ *et al.*, 2018; MAQSOOD; BENJAKUL, 2011; YARNPAKDEE *et al.*, 2012). Importante também aliado à esses aspectos é avaliar a qualidade do filé, devido estar relacionado com a produção de peixes, uma vez que perdas na industrialização ou rejeição dos filés pelos consumidores reduzem as margens de lucro e aceitabilidade do produto (ALLRED *et al.*, 2019).

Recentemente, foi demonstrado que a ação antioxidante da taurina resultou em melhora na dureza e mastigabilidade em filés de robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) (KOTZAMANIS *et al.*, 2019). No entanto, ainda existem poucas referências sobre os efeitos da suplementação de taurina sobre a qualidade de carne para tilápias.

A tilápia do Nilo é uma das espécies de água doce mais utilizada na aquicultura global (FAO, 2016). O Brasil, quarto produtor mundial de tilápias, foi produzido 722.560 toneladas de peixes em 2018, com crescimento de 4,5% em relação ao ano anterior, sendo a tilápia do Nilo a espécie mais produzida (PEIXEBR, 2019). Além do desempenho produtivo, é

importante considerar a qualidade da carne de tilápias na fase de terminação, uma vez que perdas na industrialização ou rejeição do pescado pelo consumidor reduzem as margens de lucro (ALLRED *et al.*, 2019). Assim, a presente pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o desempenho produtivo, expressão de genes relacionados com o metabolismo de aminoácidos sulfurados e qualidade da carne de tilápias do Nilo na terminação, alimentadas com dietas suplementadas com metionina e/ou taurina.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA (Número do processo: 016/2017). Antes do manuseio e abate, os peixes foram eutanasiados com o anestésico com MS-222 (500 mg/L⁻¹).

2.2.1 Dietas experimentais

Foi elaborada uma dieta controle com 280 g/kg de proteína bruta e 3050 kcal/kg de energia digestível, formulada sem suplementação de metionina e taurina (Controle). A partir da dieta controle foram suplementadas mais três dietas com suplementação de metionina (MET), com suplementação de taurina (TAU) e com suplementação de metionina e taurina (MET+TAU). A suplementação de DL-metionina e L-aurina ocorreu por meio da substituição pelo L- ácido glutâmico. As dietas foram suplementadas com aminoácidos cristalinos para atender às exigências dietéticas de tilápias (FURUYA, 2010; NRC, 2011), conforme Tabela 2.

Tabela 2-Formulação e composição química das dietas experimentais (g/kg, matéria seca).

Item	Dieta ¹			
	Controle	MET	TAU	MET+TAU
Farelo de soja	380,00	380,00	380,00	380,00
Milho	372,80	372,80	372,80	372,80
Farelo de trigo	150,00	150,00	150,00	150,00
Quirera de arroz	50,00	50,00	50,00	50,00
Fosfato bicálcico	23,00	23,00	23,00	23,00
L-lisina	4,00	4,00	4,00	4,00
L-ácido glutâmico	10,00	6,00	5,00	1,00
DL-metionina	-	4,00	-	4,00
L-aurina	-	-	5,00	5,00
Supl. vit e min. ²	5,00	5,00	5,00	5,00
Sal comum	4,00	4,00	4,00	4,00
Antioxidante ³	0,20	0,20	0,20	0,20
Antifúngico ⁴	1,00	1,00	1,00	1,00
Composição calculada ⁵				
Matéria seca	89,00	89,00	89,00	89,00
Energia bruta, kcal/kg ⁶	3576,79	3576,79	3576,79	3576,79
Amido	415,43	415,43	415,43	415,43
Proteína bruta	272,22	272,22	272,22	272,22
Lipídios totais	28,65	28,65	28,65	28,65
Fibra bruta	47,46	47,46	47,46	47,46
Cálcio	7,28	7,28	7,28	7,28
Fósforo disponível ⁵	5,38	5,38	5,38	5,38
Metionina	3,50	7,50	3,50	7,50
Metionina + cistina	7,27	11,27	7,27	11,27
Taurina	0,00	5,00	0,00	5,00

Fonte: O autor.

¹Controle, dieta sem suplementação de metionina ou de taurina; MET, dieta suplementada com metionina, TAU, dieta suplementada com taurina. MET+TAU, dieta suplementada com metionina e taurina.

²Mistura vitamínica e mineral: composição por kg de dieta: vitamina, A - 6000 IU, vitamina, D₃ - 1000 IU, vitamina, E - 60 mg, vitamina, K₃ - 12 mg, vitamina, B₁ - 24 mg, vitamina, B₂ - 24 mg, vitamina, B₆ - 20 mg, vitamina, B₁₂ - 24 mg, ácido fólico - 6 mg, Pantotenato de cálcio- 60 mg, vitamina, C - 240 mg, biotina - 0,24 mg, colina - 325 mg, niacina - 120 mg, Fe - 50 mg, Cobre- 3 mg, Magnésio - 20 mg, Zinco - 30 mg, Iodo - 0,1 mg, Cobalto - 0,01 mg e Selênio - 0,1 mg,

³Banax[®]: Alltech Agroindustrial Ltda, São Paulo Brazil,

⁴Mold Zap Aquática[®] Composição: dipropionato de amônio, ácido acético, ácido sórbico e ácido benzóico (Alltech Agroindustrial Ltda, Brazil).

⁵De acordo com valores determinados (ROSTAGNO *et al.*, 2017).

⁶De acordo com valores determinados (FURUYA, 2010).

Na preparação das dietas, após pesagem e homogeneização dos ingredientes, a mistura foi extrusada em extrusor de rosca simples (Modelo E-62, Ferraz máquinas e engenharia LTDA, Ribeiro Preto, SP, BRASIL) na Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - Apta (São José do Rio Preto, SP, Brasil) com pellets de 8,0 mm de diâmetro.

2.2.2 Peixes e condições experimentais

O experimento foi conduzido na Chácara Sozim, em Ponta Grossa, PR (25°09'13"S50°10'41"W), durante sete semanas. Foram utilizadas 120 tilápias do Nilo (1.199,08 ± 45,53 g), distribuídas em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e três repetições (n = 10 peixes por tanque). Os peixes foram distribuídos em 12 tanques-redes ao ar livre (1,0 x 1,0 x 1,0 m) mantidas em um lago de 0,8 ha, com uma profundidade média de 2 m, com taxa de renovação diária de água 5,0%. O oxigênio suplementar foi fornecido utilizando aerador de ½ HP (Modelo -Sulpesca, Toledo, PR, Brasil) para manter o nível de oxigênio dissolvido entre 4,5 a 6,0 mg/L. A temperatura da água permaneceu entre 25 e 28 °C. Os peixes foram alimentados manualmente sete dias por semana às 10:00 e 16:00 h até saciedade aparente. Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados semanalmente.

2.2.3 Coleta de amostras

No início do experimento, 16 peixes foram amostrados aleatoriamente para determinar a composição corporal. Ao final do experimento os peixes foram pesados individualmente em balança de precisão de 0,1 g. Para avaliar o desempenho produtivo, após jejum de 24 h para esvaziamento do trato digestório, os peixes foram pesados individualmente em balança com precisão de 0,1 g. Três peixes de cada unidade experimental foram coletados aleatoriamente para coleta de sangue e análises dos parâmetros sanguíneos. Uma alíquota de 3 mL foi retirada por meio de punção caudal com auxílio de tubo a vácuo de 4 mL, siliconizado, para análise bioquímica. O plasma foi obtido por centrifugação a 3000 rpm durante 10 minutos.

Após atingir o *rigor mortis* pleno, os peixes foram filetados por um único operador com auxílio de faca e luva de aço própria para filetagem, o filé foi utilizado para determinar as análises de pH, perda de água por descongelamento, cor e textura (dureza, adesividade e mastigabilidade). Foi avaliada a qualidade da carne um dia após o abate no filé direito, o filé

esquerdo foi congelado a -20°C durante 21 dias, analisado novamente a qualidade de carne após esse período, avaliando os parâmetros de pH, de cor (L^* , a^* e b^*) e textura (dureza, adesividade e mastigabilidade), também foram utilizados os peixes para determinação do rendimento de carcaça, índice hepatossomático e proporção de gordura visceral.

Para análise de perda de água por descongelamento, foram utilizados dois filés por unidade experimental, sendo pesados e armazenados em freezer a -20°C durante 21 dias, após esse período foram descongelados em refrigerador a 5°C para avaliar a perda de água durante 24 h. Também foram utilizadas amostras desses filés para a determinação do pH 21 dias após o abate.

Para expressão dos genes CBS, CDO e AHCY, foram coletados o fígado de três peixes por unidade experimental, foram colocados em eppendorf e armazenados em nitrogênio líquido à -80°C para posterior extração do RNA total, realização da transcrição reversa do RNA total e determinação do RT-qPCR dos mRNAs referentes aos genes. Foram retirados os filés dos mesmos peixes para avaliar o rendimento de filé.

2.2.4 Desempenho produtivo, análises químicas e bioquímicas

Foram determinadas as variáveis de peso corporal final (PCF); consumo g/peixe; conversão alimentar = alimento consumido (g)/ ganho de peso (g); taxa de eficiência proteica = ganho de peso (g)/ proteína consumida (g); índice hepatossomático = (peso do fígado (g)/ peso corporal (g)) x 100; gordura visceral = (peso da gordura visceral (g)/peso corporal (g)) x 100; rendimento de carcaça = (peso eviscerado (g)/peso corporal (g)) x 100; ganho de peso = peso final (g) – peso inicial (g); rendimento de filé = (peso do filé (g)/peso corporal (g)) x 100 e sobrevivência = (número de peixes ao final do experimento/número de peixes ao início do experimento) x 100.

A análise da composição corporal, composição da ração e composição do filé incluiu determinações de umidade, proteína bruta, lipídios brutos e cinzas, de acordo com os métodos padronizados (AOAC, 1995). A matéria seca foi determinada por secagem em estufa a 105°C até peso constante. Os lipídios totais foram determinados pelo método de extração com éter (Tecnal, TE-044, Piracicaba, SP, Brasil). O conteúdo mineral foi obtido em forno mufla a 600°C por 5 h (Tecnal, 2000B, Belo Horizonte, MG, Brasil). No laboratório de Aquicultura da Universidade Estadual de Ponta Grossa, foram realizadas análises de composição corporal, umidade, proteína bruta, lipídeos totais e matéria mineral (AOAC, 2000).

2.2.5 Parâmetros sanguíneos

Após a centrifugação, foram realizadas análises bioquímicas de triglicérides (mg/dL⁻¹), colesterol total (mg/dL), glicose (mg /dL), AST (UI/L), ALT (UI/L) e ALP (UI/L). As análises foram realizadas por espectrometria em analisador bioquímico semiautomático (BIO-2000 IL, Barueri, SP, Brasil), utilizando *kits* comercial (BIOTÉCNICA[®], Varginha, MG, Brasil).

2.2.6 Qualidade da carne

As análises de qualidade da carne foram realizadas no laboratório de engenharia de alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa. O músculo branco foi moído em *mixer* (250 mg) e o pH foi determinado utilizando um medidor de pH (pH - TEC 2 - Tecnal, Ribeirão Preto, Brasil) por imersão do eletrodo de vidro por 1 min na amostra de filé homogeneizado com água destilada (10 mL). Foi utilizada a média dos valores de pH de três peixes de cada unidade experimental, sendo utilizado o filé direito 1 dia após o abate e novas medições do pH foram feitas 21 dias após o abate, utilizando o filé esquerdo após descongelamento.

Para análise de perda de água dos filés por descongelamento, os filés foram pesados, armazenados em embalagens plásticas e congelados em freezer a -20 °C. Após 21 dias de armazenamento, foi removido o excesso de umidade dos filés, pesados individualmente após esse período e colocados em refrigerador a 5 °C, durante um período de 24 horas. A diferença de peso (g) do filé congelado e após o descongelamento foi dividida pelo peso dos filés após descongelamento (g) e multiplicada por 100, sendo expressa em porcentagem a perda de água (ARNTHORSDOTTIR; ARASON; MARGEIRSSON, 2008).

Os parâmetros de cor foram determinados utilizando colorímetro digital portátil, previamente calibrado com padrão branco e preto antes de cada análise, operando com fonte de luz D56, ângulo de observação de 10° e abertura de célula de medida de 30 mm. A cor foi expressa utilizando-se os padrões de cor do sistema CIEL*s*b* - “*Comission Internationale de L’Éclairage*”: L* (luminosidade), a* (intensidade da cor vermelho-verde) e b* (intensidade da cor amarela-azul). A coloração foi medida na região dorsal do filé (músculo branco), na região anterior e posterior do filé.

A textura foi realizada por meio da medida da resistência ao corte (força de cisalhamento). Os filés foram cortados em cubos de 1,5 cm de diâmetro e estes cortados transversalmente à direção das fibras musculares deixando-os com 1 cm, realizada em

duplicada as medidas de textura. Foi utilizado um texturômetro TA.XT2 (*Stable Micro System*, Surrey, England), operando a uma velocidade de 5 mm/s a uma distância de 25 mm. O pico da força registrada foi expresso em kg de força necessária para pressionar o filé, determinando os parâmetros de dureza, adesividade e mastigabilidade (OLAFSDOTTIR *et al.*, 2004).

2.2.7 Avaliação da expressão gênica

A expressão dos genes envolvidos no metabolismo da metionina (*cistationina β -sintase* – CBS; *cisteína dioxigenase* – CDO e *adenosil - homocisteinase* - AHCY; e), foram realizadas por reação em cadeia da polimerase quantitativa em tempo real após transcrição reversa (RT-qPCR), seguindo as orientações do *MIQE: Minimum information for Publication of Quantitative Real-Time PCR Experiment* (BUSTIN, 2009). Foram utilizadas as seguintes metodologias:

a) Extração do RNA total

O tecido alvo para avaliação da expressão dos genes AHCY, CBS e CDO foi o fígado. Após coleta das amostras, as mesmas foram congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o processamento. As amostras foram homogeneizadas com homogeneizador de tecidos em 1 mL de Trizol (*Life Technologies*, EUA) para 50-100 mg de tecido e o RNA total foi isolado seguindo-se as especificações do fabricante.

A concentração de RNA, em ng/ μL , foi determinada através de espectrofotômetro a 260 nm. A pureza do RNA foi confirmada pela obtenção da razão entre as absorvâncias 260/280 nm aproximadamente igual a 2,0.

b) Reação de transcrição reversa do RNA total

A transcrição reversa do RNA total obtida foi realizada com o kit *High Capacity RNA-to-cDNA Master Mix* (*promega*, USA), seguindo as orientações do fabricante.

c) RT-qPCR dos mRNAs referentes aos genes

Os níveis de expressão dos genes alvo AHCY, CBS e CDO foram detectados por RT-qPCR através do sistema *ABI 7300 Real Time PCR* (*Life Technologies*, EUA). Os resultados de expressão, obtidos para esses genes, foram normalizados pelos valores obtidos para os genes de referência *18S ribosomal RNA* – 18SrRNA. As reações de RT-qPCR foram realizadas utilizando-se o *SYBR Green PCR Master Mix Kit* (*Stratagene*, La Jolla, CA, EUA),

seguindo-se as instruções do fabricante. Um conjunto de *primers* senso e antisenso, para cada gene analisado foi construído através do software *Primer Express 3.0* (*Applied Biosystems Life Technologies*), a partir das sequências de RNAm descritas para a tilápia e publicadas no *GenBank* (números de acesso: AH CY: XM_003448372, CBS: XM_003455995, CDO: XM_003451060 e 18SrRNA: JF698683). Todos os conjuntos de *primers* foram sintetizados pela *Invitrogen Life Technologies*. As sequências dos *primers* utilizados para qRT-PCR quantitativo são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Sequência de *primers* para qRT-PCR quantitativo dos genes: CBS, CDO e AH CY.

Gene ¹	Sequência de primers (5'-3')	GenBank ²	Tamanho do Amplicon (bp)
CBS	Fw: AGACCCAGTACGAGGTGGAG Rv: GGACTCCTCATCATTGGACTTG	XM003455995 .2	101
CDO	Fw: CAGCTGAAGGAGACGTGTT Rv: CCAGAAGGTCATCTTGACAGC	XM003451060 .2	249
AH CY	Fw: TCCACATGACCCTGCAGAC Rv: TGCACCACACATACTCCTCATC	XM003448372 .2	180
18S ribossomal RNA	Fw: GGACACGGAAAGGATTGACAG Rv: GTTCGTTATCGGAATTAACCAGAC	JF698683	111

Fonte: O autor.

¹CBS: cistationa beta-sintase, CDO: *Cisteina dioxigenase*, AH CY: *S-adenosil-homocisteinase*.

²Número do Genbank disponível em (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/nucleotide>).

As reações para cada gene foram realizadas em duplicatas, utilizando-se as condições de termo ciclagem: 95 °C por 10 min, seguido por 40 ciclos de 95 °C por 15 segundos e 60 °C por 30 s. Ao término de cada reação, a amplificação específica de cada gene foi confirmada pela análise da curva de dissociação dos fragmentos amplificados. A quantificação relativa da expressão gênica foi realizada pelo Método do $\Delta\Delta C_T$, após sua validação, e foi dada pela fórmula $2^{-\Delta\Delta C_T}$ (LIVAK; SCHMITTGEN, 2001).

2.2.8 Análise estatística

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e três repetições, sendo a unidade experimental constituída por um tanque com 10 peixes. Os resultados são apresentados como média \pm EPM (erro padrão da média). A homogeneidade

das variâncias foi testada usando o teste de Levene. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em caso de diferenças significativas foi utilizado o teste de Tukey ($P < 0,05$), de acordo com os Proc GLM do *Statistical Analysis System* -SAS (SAS, v.9.0, Carry, USA). As diferenças entre os tratamentos dietéticos na expressão de genes foram analisadas por um teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, complementado pelo teste de comparação múltipla de Dunn ($P < 0,05$).

2.3 RESULTADOS

Os dados de desempenho produtivo de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com dietas suplementadas com metionina e/ou taurina são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Desempenho produtivo de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina¹.

Item	Dietas ²				EPM ³	P
	Controle	MET	TAU	MET+TAU		
Peso inicial, g	1207,67	1247,67	1138,67	1202,33	13,142	0,203
Peso final, g	1407,17 ^b	1470,0 ^a	1349,33 ^c	1432,0 ^{ab}	14,585	< 0,001
Consumo, g/peixe	375,24 ^{ab}	379,10 ^a	361,77 ^b	381,26 ^a	3,337	0,022
Conversão alimentar, g/g	1,88 ^{ab}	1,71 ^b	1,72 ^b	1,66 ^c	0,025	0,022
Taxa de eficiência proteica, %	1,90 ^c	2,09 ^b	2,09 ^b	2,15 ^a	0,029	< 0,001
Índice hepatossomático, %	4,15 ^a	3,39 ^b	3,59 ^b	3,27 ^b	0,118	< 0,001
Gordura visceral, %	6,71 ^a	6,46 ^{ab}	6,65 ^{ab}	6,28 ^b	0,078	0,021
Rendimento de carcaça, %	87,04 ^b	89,06 ^a	88,67 ^a	89,72 ^a	0,342	< 0,001

Fonte: O autor.

Letras sobrescritas indicam diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

¹Valores são medias de três repetições constituídas por um tanque-rede com dez peixes.

²Controle, dieta sem suplementação de metionina ou de taurina; MET, dieta suplementada com metionina, TAU, dieta suplementada com taurina. MET+TAU, dieta suplementada com metionina e taurina.

³EPM, erro padrão da média.

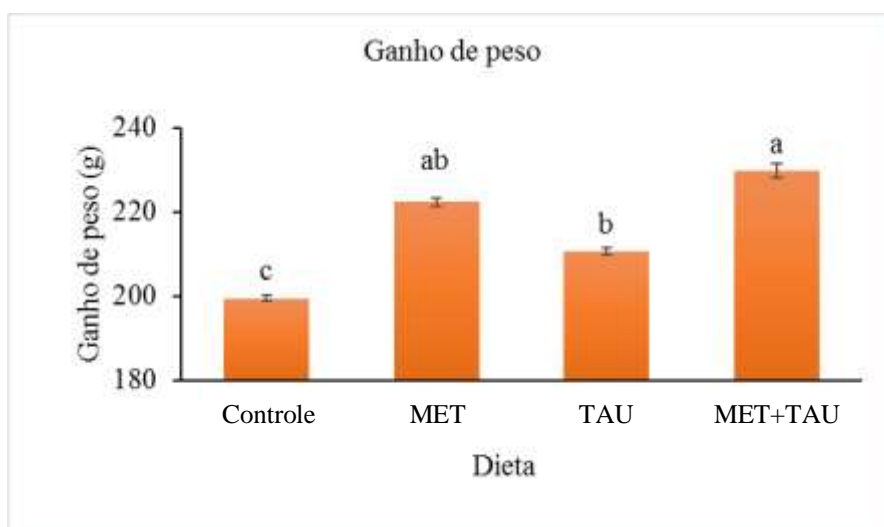
Peixes alimentados com a dieta MET e MET+TAU apresentaram maior consumo ($P = 0,022$) em relação aos peixes que receberam a dieta TAU; entretanto, não houve diferença entre os peixes que consumiram as dietas controle, MET e MET+TAU. Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram a melhor ($P = 0,022$) conversão alimentar em relação aos peixes que consumiram as demais dietas. Foi observado maior ($P < 0,001$) taxa de

eficiência proteica em peixes que consumiram a dieta MET+TAU em relação aos peixes que consumiram as dietas controle, MET e TAU.

A suplementação de metionina e taurina isoladas ou combinada resultou em menor ($P < 0,001$) índice hepatossomático dos peixes, em relação aos peixes que consumiram a dieta controle sem metionina e taurina. Os peixes alimentados com dieta MET+TAU apresentaram menor ($P = 0,021$) porcentagem de gordura visceral em relação ao teor de gordura visceral dos peixes alimentados com a dieta controle. Porém, não houve diferença entre o teor de gordura visceral em peixes alimentados com as dietas MET, TAU e MET+TAU. Para rendimento de carcaça, peixes alimentados com a dieta MET, TAU e MET+TAU apresentaram os maiores ($P < 0,001$) rendimentos de carcaça em relação aos peixes alimentados com a dieta controle.

Os valores para ganho de peso de tilápias do Nilo na terminação são apresentados na Figura 6. Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram maior ganho de peso ($P < 0,001$) em relação aos peixes alimentados com a dieta TAU e controle. No entanto, o ganho de peso não diferiu em peixes alimentados com MET e MET+TAU. Além disso, foi observado maior ganho de peso em peixes que receberam a dieta TAU em relação ao ganho de peso dos peixes que consumiram a dieta controle. Os peixes que receberam a dieta controle apresentaram o menor ganho de peso.

Figura 6- Valores para ganho de peso de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementada com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementada com metionina e taurina (MET+TAU)¹.

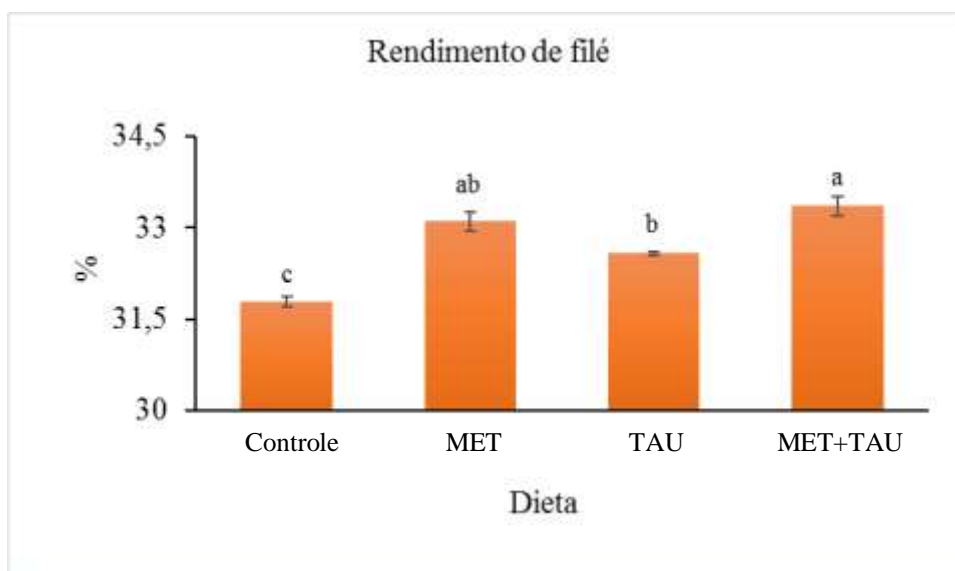


Fonte: O autor.

¹Os dados são expressos em gramas por peixe. Barras representam a média \pm EPM para cada tratamento com três repetições. Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,001$).

Dietas suplementadas com metionina e taurina resultaram em maior rendimento de filés ($P < 0,001$) em relação ao rendimento de filé obtido em peixes que consumiram a dieta TAU e controle. Os peixes que receberam a dieta TAU apresentaram maior rendimento de filé em relação ao rendimento de filé dos peixes que receberam a dieta controle, entretanto não houve diferença no rendimento de filé dos peixes que receberam a dieta MET e TAU (Figura 7).

Figura 7- Valores para rendimento de filé de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementadas com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementadas com metionina e taurina (MET+TAU)¹.



Fonte: O autor.

¹Os dados são expressos em gramas por peixe. Barras representam a média \pm EPM para cada tratamento com três repetições. Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,001$).

Os valores médios da composição corporal e composição dos filés de tilápias do Nilo na terminação são apresentados na Tabela 5. Não houve diferença ($P = 0,093$) para os parâmetros de umidade e cinza corporal ($P = 0,814$). Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram maior ($P = 0,002$) proteína bruta corporal em relação a proteína bruta corporal dos peixes alimentados com a dieta controle e TAU. Entretanto não houve diferença entre os valores de proteína bruta corporal de peixes alimentados com as dietas MET+TAU e MET. Para composição dos filés não houve diferença ($P = 0,350$) para umidade e cinzas ($P = 0,458$). Peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram maior ($P = 0,022$) proteína bruta do filé em relação a proteína bruta corporal dos peixes alimentados com

a dieta controle. Não houve diferença entre os valores de proteína bruta do filé dos peixes alimentados com dietas MET, TAU e MET+TAU.

Tabela 5- Valores médios da composição corporal e composição dos filés de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina¹.

Item	Dietas ²				EPM ³	P
	Controle	MET	TAU	MET+TAU		
Corporal						
Umidade	68,84	67,77	68,87	68,04	0,200	0,093
Proteína bruta	15,38 ^c	16,21 ^{ab}	15,49 ^{bc}	16,69 ^a	0,178	0,002
Cinzas	4,13	4,32	4,11	4,37	0,106	0,814
Filé						
Umidade	75,78	75,64	76,83	77,37	0,385	0,350
Proteína bruta	18,04 ^b	18,51 ^{ab}	19,03 ^{ab}	19,38 ^a	0,186	0,022
Cinzas	1,13	1,11	1,11	1,17	0,012	0,458

Fonte: O autor.

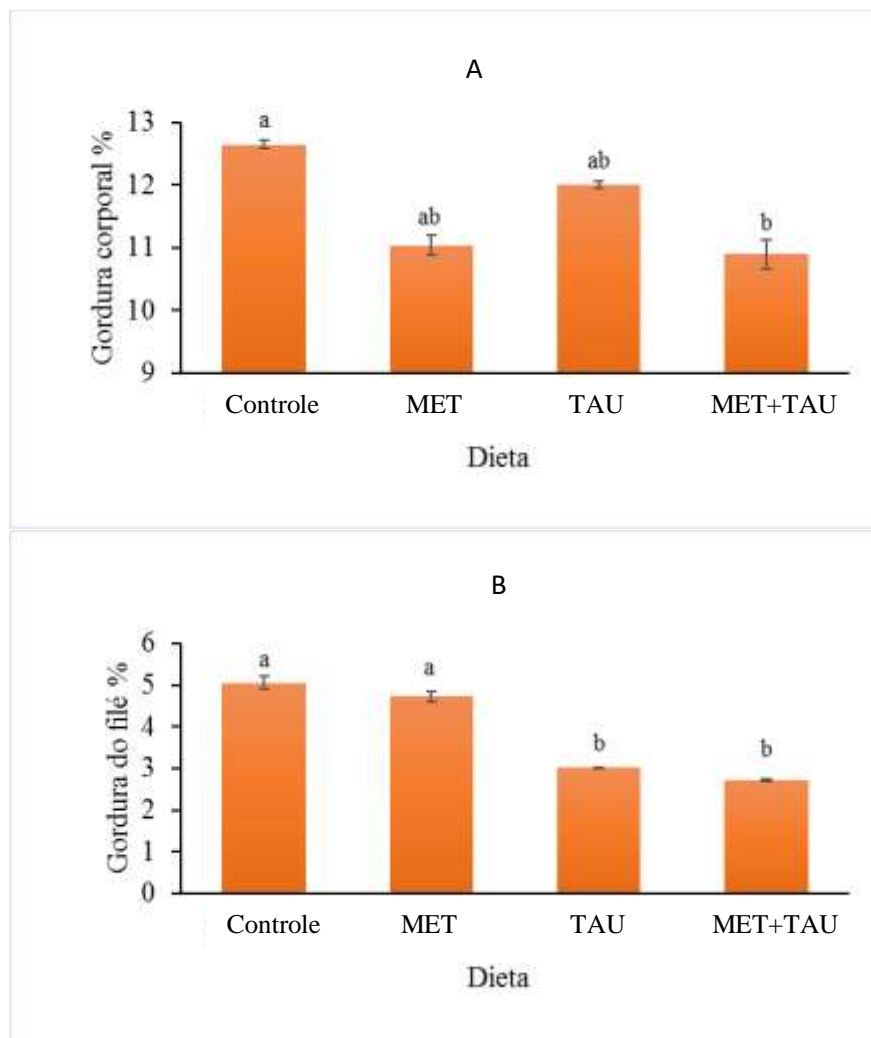
¹Os valores são médias de três repetições constituídas por um tanque-rede com dez peixes.

²Controle, dieta sem suplementação de metionina ou taurina; MET, dieta suplementada com metionina; TAU, dieta suplementada com taurina; MET + TAU, dieta suplementada com metionina e taurina.

³EPM: erro padrão médio.

Os valores médios da gordura corporal (A) e gordura do filé (B) de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com dietas contendo metionina e/ou taurina são apresentados na Figura 8. Os peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram menor ($P = 0,027$) porcentagem de gordura corporal em relação a porcentagem de gordura corporal dos peixes que receberam a dieta controle, não havendo diferença significativa da gordura corporal dos peixes alimentados com a dieta MET, TAU e MET+TAU. Como apresentado na Figura 8, os peixes alimentados com as dietas TAU e MET+TAU apresentaram as menores ($P < 0,001$) porcentagens de gordura no filé em relação as demais dietas.

Figura 8-Valores médios da gordura corporal (A) e gordura do filé (B) de tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementada com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementada com metionina e taurina (MET+TAU)¹.



Fonte: O autor.

¹Os dados são expressos em gramas por peixe. Barras representam a média \pm EPM para cada tratamento com três repetições. Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,001$).

Não foram observados efeitos ($P > 0,005$) da metionina e/ou taurina sobre os níveis plasmáticos de glicose (mg/dL), enzimas AST (U/L), ALT (U/L) e ALP (U/L). Por outro lado, a suplementação de metionina e metionina+taurina resultou em menor ($P < 0,001$) teor de triglicerídeos plasmáticos, em relação aos observado em peixes que receberam as dietas controle e TAU. Além disso, a inclusão isolada de taurina resultou em menor concentração de triglicerídeos plasmáticos em relação ao observado em peixes que consumiram a dieta controle. Além disso os peixes que receberam a dieta MET+TAU apresentaram a menor ($P=0,584$) concentração de colesterol total em relação as demais dietas (Tabela 6).

Tabela 6- Parâmetros sanguíneos de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina¹.

Item	Dietas ⁵				EPM ⁶	P
	Controle	MET	TAU	MET+TAU		
Glicose, mg/dL	43,00	46,33	38,67	45,00	4,303	0,874
Triglicerídeos, mg/dL	516,67 ^a	348,00 ^c	441,33 ^b	372,50 ^c	20,963	< 0,001
Colesterol total, mg/dL	131,33 ^a	131,67 ^a	127,00 ^a	116,00 ^b	5,701	0,584
AST ² , U/L	20,33	15,67	25,67	22,00	2,151	0,199
ALT ³ , U/L	31,00	40,33	41,67	31,33	3,003	0,212
ALP ⁴ , U/L	21,00	26,00	26,00	25,33	1,164	0,141

Fonte: O autor.

¹Valores são médias de três repetições constituídas por um tanque-rede com dez peixes e letras sobrescritas distintas indicam diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

²Aspartato aminotransferase.

³Alanina aminotransferase.

⁴Fosfatase alcalina.

⁵Controle, dieta sem suplementação de metionina ou de taurina; MET, dieta suplementada com metionina, TAU, dieta suplementada com taurina. MET+TAU, dieta suplementada com metionina e taurina.

⁶EPM, erro padrão da média.

Os valores médios da qualidade do filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas suplementadas com metionina e/ou taurina um dia após o abate (filé fresco) estão descritos na Tabela 7. Não foram observadas diferenças ($P = 0,974$) nos valores de pH e não foram observados efeitos ($P > 0,05$) das dietas experimentais para os parâmetros de textura dureza, adesividade e mastigabilidade dos filés. Assim como para os parâmetros de cor L* ($P = 0,891$) e a* ($P = 0,481$) um dia após o abate nos filés dos peixes alimentados com as dietas experimentais. No entanto, para a variável de cor b* os peixes alimentados com a dieta TAU apresentaram filés menos amarelados ($P = 0,019$) um dia após o abate em relação aos peixes que consumiram a dieta MET e MET+TAU. No entanto, peixes alimentados com a dieta TAU apresentaram variável de cor b* semelhante ao do filé dos peixes alimentados com a dieta controle.

Tabela 7- Valores médios da qualidade do filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina 1 dia após o abate¹.

Parâmetro	Dietas ³					P
	Controle	MET	TAU	MET+TAU	EPM ⁴	
pH	6,76	6,79	6,71	6,74	0,048	0,974
Cor ²						
L*	53,46	53,36	53,41	53,31	0,264	0,891
a*	-1,26	-1,25	-1,68	-1,37	0,160	0,481
b*	5,26 ^{ab}	5,62 ^a	5,18 ^b	5,46 ^a	0,237	0,019
Textura						
Dureza, N	13,24	13,67	12,50	13,42	0,822	0,973
Adesividade, g/s	-0,39	-0,29	-0,23	-0,42	0,039	0,940
Mastigabilidade, N/cm	6,56	6,66	6,17	6,27	0,408	0,967

Fonte: O autor.

¹Valores são médias de três repetições constituídas por um tanque-rede com dez peixes e letras sobrescritas distintas indicam diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

²L *: luminosidade; a *: coordenada vermelho / verde; b *: coordenada amarela / azul

³Controle, dieta sem suplementação de metionina ou taurina; MET, dieta suplementada com metionina; TAU, dieta suplementada com taurina; MET + TAU, dieta suplementada com metionina e taurina.

⁴EPM: erro padrão médio.

Os valores médios da qualidade do filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com metionina e/ou taurina, 21 dias após o abate, estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8- Valores médios da qualidade do filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem e com suplementação de metionina e/ou taurina 21 dias após o abate¹.

Parâmetro ²	Dietas ³					P
	Controle	MET	TAU	MET+TAU	EPM ⁴	
pH	6,44	6,53	6,51	6,57	0,093	0,985
Perda de água, %	1,37	1,23	1,46	1,25	0,035	0,598
Cor ²						
L*	60,10	59,41	59,06	59,70	0,433	0,844
a*	-1,57	-1,22	-1,66	-2,08	0,183	0,683
b*	9,80 ^a	9,09 ^{ab}	8,16 ^{bc}	7,69 ^c	0,260	0,001
Textura						
Dureza, N	6,91	7,90	8,13	8,44	0,369	0,691
Adesividade, g/s	-0,21	-0,21	-0,21	-0,19	0,010	0,916
Mastigabilidade, N/cm	3,62	5,14	3,90	4,19	0,241	0,210

Fonte: O autor.

¹Valores são médias de três repetições constituídas por um tanque-rede com dez peixes e letras sobrescritas distintas indicam diferenças pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

²L *: luminosidade; a *: coordenada vermelho / verde; b *: coordenada amarela / azul

³Controle, dieta sem suplementação de metionina ou taurina; MET, dieta suplementada com metionina; TAU, dieta suplementada com taurina; MET + TAU, dieta suplementada com metionina e taurina.

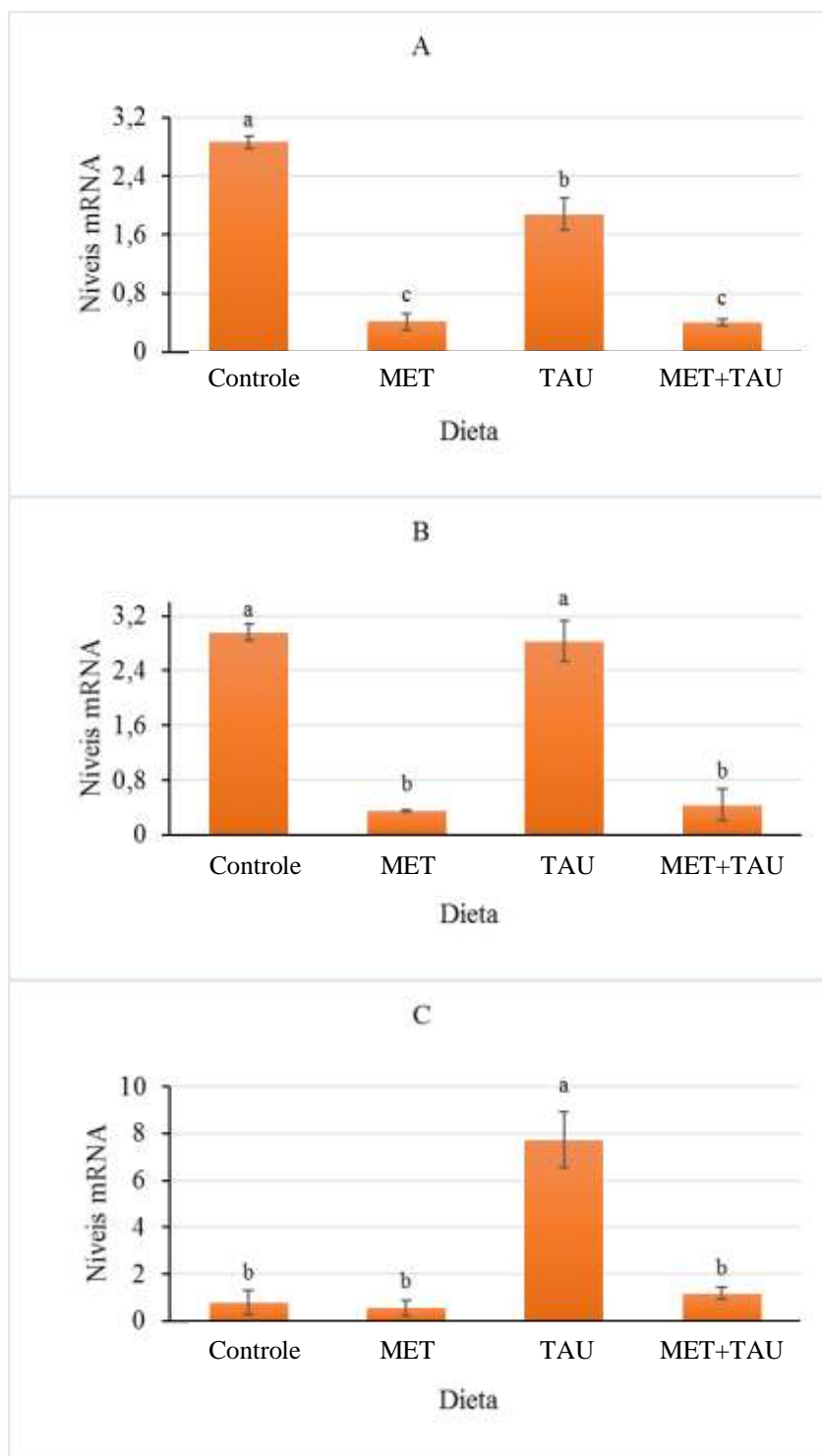
⁴EPM: erro padrão médio.

Não houve efeito da utilização de dietas sem e com metionina e/ou taurina sobre os valores de pH ($P = 0,985$), perda de água após descongelamento ($P = 0,598$), parâmetro de cor L^* ($P = 0,844$), parâmetro de cor a^* ($P = 0,683$) e parâmetros de textura como dureza ($P = 0,691$), adesividade ($P = 0,916$) e mastigabilidade ($P = 0,210$), analisadas 21 dias após o abate. Para a variável de cor b^* , os peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram a coloração do filé menos amarelada ($P = 0,001$) em relação a coloração do filé dos peixes alimentados com a dieta controle e MET. Os peixes que receberam a dieta TAU apresentaram coloração menos ($P=0,001$) amarelada em relação aos peixes que receberam a dieta controle e semelhante aos peixes que receberam a dieta MET.

Os valores médios da Expressão de mRNA dos genes, cistationa β -sintase - CBS (A), cisteína dioxigenase – CDO (B) e adenosil-homocisteinase - AHCY (C) em tilápias do Nilo na terminação são descritos na Figura 9. Foi observado maior expressão ($P < 0,001$) de mRNA do gene cistationa β -sintase (CBS) no fígado dos peixes alimentados com as dietas sem suplementação de metionina em relação aos peixes alimentados com as dietas MET e MET+TAU.

Foi observado maior expressão ($P < 0,001$) de mRNA do gene CDO no fígado dos peixes alimentados com as dietas sem suplementação de metionina, controle e TAU. Ao contrário, peixes alimentados com as dietas com suplementação de metionina (MET e MET+TAU) apresentaram menor expressão de mRNA do gene CDO no fígado dos peixes. A expressão de mRNA do gene AHCY foi maior ($P = 0,01$) no fígado dos peixes alimentados com a dieta TAU em relação a expressão de mRNA do gene AHCY no fígado dos peixes alimentados com a dieta controle, MET e MET+TAU. Não houve diferenças para expressão de mRNA do gene AHCY entre os peixes que consumiram as dietas controle, MET e MET+TAU.

Figura 9- Expressão de mRNA dos genes, cistationa β -sintase - CBS (A), cisteína dioxigenase – CDO (B) e adenosil-homocisteinase - AHCY (C) em tilápias do Nilo na terminação alimentadas com a dieta Controle, sem suplementação de metionina ou de taurina, dieta suplementada com metionina (MET), dieta suplementada com taurina (TAU) e dieta suplementada com metionina e taurina (MET+TAU)¹.



Fonte: O autor.

¹Os dados são expressos em unidades arbitrárias. Barras representam a média \pm EPM para cada tratamento com três repetições. Letras distintas indicam diferenças significativas pelo teste de Kruskal-wallis, complementado pelo teste de comparação múltipla de Dunn ($P < 0.05$).

2.4 DISCUSSÃO

A suplementação de metionina e/ou taurina nesse estudo utilizando tilápias no Nilo na terminação, mostrou resultados favoráveis, com melhorias no desempenho produtivo, alteração na composição corporal e perfil lipídico do sangue, expressão de genes e qualidade da carne. Destacam-se os efeitos da metionina sobre o desempenho produtivo e os efeitos da taurina sobre a qualidade de carne. No presente estudo, foi verificado baixo crescimento em peixes que receberam a dieta controle sem a inclusão de metionina e taurina.

A metionina é o primeiro aminoácido limitante em dietas formuladas com base em soja ou derivados da soja (NRC, 2011). A deficiência de metionina reduz a taxa de crescimento e piora a eficiência alimentar de truta arco-íris (BELGHIT *et al.*, 2014), tilápias (FIGUEIREDO-SILVA *et al.*, 2015; MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018), turbot (*Scophthalmus maximus L.*) (GAO *et al.*, 2019) e yellowtail (*Seriola dorsalis*) (GARCIA-ORGANISTA *et al.*, 2019).

A suplementação de metionina e/ou taurina promoveu maior ganho de peso nos peixes em relação aos peixes que consumiram dieta controle sem metionina e taurina, devido a uma maior retenção de aminoácidos, resultando em maior deposição proteica. Corroborando com um estudo com juvenis de tilápias do Nilo, os peixes alimentados com dieta com níveis inadequados de metionina e sem suplementação de taurina, apresentaram menor ganho de peso (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018).

Nesse estudo não foi encontrada diferença no consumo dos peixes alimentados com a dieta controle, MET e MET+TAU, entretanto os peixes alimentados com a dieta com suplementação de ambos os aminoácidos apresentaram a melhor conversão alimentar. Alevinos de tilápia alimentados com suplementação de metionina e taurina consumiram maior quantidade de alimento em relação aos peixes alimentados com a dieta sem suplementação de metionina e taurina (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018). Em um estudo com *Argyrosomus regius*, o consumo foi menor nos peixes alimentados com TAU em relação aos peixes que consumiram dieta suplementada com metionina ou metionina+taurina (DE MOURA *et al.*, 2018).

Apesar da taurina não ser considerada aminoácido essencial para peixes de água doce (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016), peixes que consumiram a dieta TAU apresentaram maior ganho de peso em relação aos que receberam a dieta controle, sem suplementação de

metionina e taurina, semelhantemente ao observado previamente por outros autores com tilápias (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016).

O maior ganho de peso em tilápias que consumiram a dieta com taurina em relação aos peixes que receberam a dieta controle, pode estar associado ao aumento da atividade da lipase no pâncreas e no intestino delgado. A taurina é conjugada com ácidos biliares para formar ácidos taurocólico ou taurocenedesoxicólico, os principais ácidos biliares de quase todas as espécies de peixes teleósteos, atuando na digestão de lipídeos (YEH; HWANG, 2001). Dessa forma, justifica-se a melhoria na conversão alimentar, aumento na retenção de proteína e aumento no crescimento e rendimento dos filés dos peixes que receberam a dieta com taurina no presente estudo, principalmente, quando a taurina foi associada com a metionina, ocorrendo efeito combinado da metionina sobre a retenção de proteína e a taurina sobre a maior digestibilidade dos lipídios, com maior aporte de energia aos peixes.

Com os níveis elevados de taurina plasmática e muscular o processo de transsulfuração aumenta, bem como os ácidos biliares totais plasmáticos, com essa transsulfuração aumentada ocorre com o aumento da ingestão de metionina e da qual a taurina é um aminoácido sintetizado por ela, afirmando os resultados encontrados nesse estudo, onde utilizou a suplementação de ambos os aminoácidos, poupando a metionina que seria convertida em taurina (GAYLORD; TEAGUE; BARROWS, 2006; TAKAGI *et al.*, 2008), direcionando a mesma para a síntese proteica, como atestado no presente estudo.

Destaca-se na presente pesquisa o efeito sinérgico da metionina e taurina sobre o desempenho dos peixes. Dietas com níveis inadequados de aminoácidos reduzem o consumo e o crescimento dos peixes (WILSON, 2003). A redução no crescimento ocorre pela menor retenção de aminoácidos, resultando em menor deposição proteica (ENCARNAÇÃO; DE LANGE; BUREAU, 2006). Além disso, aumenta o custo de produção e a excreção de nitrogênio (FURUYA *et al.*, 2001). A taurina também atua no desenvolvimento muscular, neural e visual, manutenção da função hepática e ação anti-inflamatória nos tecidos (SAKOMOURA *et al.*, 2014; SALZE; DAVIS, 2015).

No presente estudo os peixes alimentados com dietas suplementadas com metionina e/ou taurina apresentaram menor índice hepatossomático em relação aos peixes alimentados com a dieta controle. Resultado semelhante foi descrito com dourada (*Acanthopagrus latus*) alimentada com dieta suplementada com taurina (DEHGHANI; OUJIFARD; MOZANZADEH, 2019), a inclusão de taurina resultou em menor índice hepato somático do catfish de cabeça amarela (*Pelteobagrus fulvidraco*) (LI *et al.*, 2016), carpa negra

(*Mylopharyngodon piceus*) (ZHANG *et al.*, 2018), e *Psetta maxima* (*Scophthalmus maximus* L) (LIU *et al.*, 2017).

A suplementação de metionina + taurina resultou em menor deposição de gordura visceral, gordura corporal e nos filés, além de menor concentração de triglicerídeos plasmáticos em relação aos peixes que receberam dieta sem suplementação de metionina e taurina na presente pesquisa. O efeito da redução nos triglicerídeos plasmáticos dos peixes alimentados com as dietas com suplementação de metionina combinada com taurina, pode ser atribuído ao aumento da atividade da lipoproteína lipase, que é uma enzima responsável pela hidrólise do triglicerídeos (NANDHINI; BALAKRISHNAN; ANURADHA, 2002).

A taurina aumenta a utilização de colesterol para a síntese de ácido biliar no fígado, melhorando a atividade da colesterol-7- α -hidroxilase, uma enzima limitadora da taxa de síntese de ácido biliar (NANDHINI; BALAKRISHNAN; ANURADHA, 2002). A taurina conjugada à bile promove lipólise e formação de ácidos graxos e melhora o metabolismo lipídico (ZENG *et al.*, 2012). O efeito hipolipidêmico da taurina é associado à atividade elevada da colesterol-7- α -hidroxilase, a enzima limitadora da taxa do catabolismo do colesterol em ácidos biliares, atividade diminuída Acyl CoA: colesterol aciltransferase, regulação positiva dos receptores LDL no fígado, e aceleração relacionada da rotatividade de LDL (ICHIKAWA, 1987; MURAKAMI *et al.*, 2002).

Em várias espécies de peixes, foi relatado que a suplementação de taurina na dieta aumenta o conteúdo de ácidos biliares conjugados (KIM *et al.*, 2015; YUN *et al.*, 2012). A digestão dos lipídios envolve hidrólise extracelular ao longo do intestino por uma variedade de lipases e colipases (BAKKE; GLOVER; KROGDAHL, 2011), e sabe-se que os ácidos biliares desempenham um papel importante na atividade da lipase dos peixes (TOCHER, 2003). A lipase tem sido descrita como a principal enzima lipolítica na digestão lipídica de peixes, é secretada pelo pâncreas, catalisa a decomposição do triacilglicerol em diacilglicerol e monoacilglicerol, a lipase pode reduzir a deposição lipídica nos tecidos periféricos (SAVONA, 2011).

Em estudo com juvenis de tilápia o índice hepatossomático e a proporção de gordura visceral não foram afetados pela suplementação dietética de metionina e/ou taurina (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018). Isso se explica pelo fato de os peixes na terminação possuírem maior deposição de gordura ao contrário de juvenis necessitando de energia para o crescimento, proporcionando baixa deposição lipídica.

Os parâmetros sanguíneos são considerados como indicador para o status saudável e condições fisiológicas dos peixes (KADER *et al.*, 2010). Foi observado nesse estudo que os

peixes que consumiram a dieta MET e MET+TAU apresentaram uma redução no teor de triglicerídeos em relação aos peixes alimentados com a dieta controle e a dieta TAU, indicando que com a suplementação de metionina ou metionina combinada com taurina melhorou o perfil de triglicerídeos sanguíneos. Além disso, os peixes alimentados com a dieta MET+TAU apresentaram redução no colesterol total em relação ao teor de colesterol dos peixes alimentados com as demais dietas. Em estudos com juvenis de carpa negra (*Mylopharyngodon piceus*), a concentração de triglicerídeos foi reduzido nos peixes alimentados com dietas suplementadas com taurina (ZHANG *et al.*, 2018). Nesse estudo pode se associar que com a suplementação somente de metionina na dieta, parte dela pode ter sido convertida em taurina, ambos atuando como antioxidantes.

A taurina dietética está envolvida na composição de ácidos biliares conjugados em *Paralichthys olivaceus* (KIM *et al.*, 2007). Além da taurina, a metionina é precursora da metilação celular e da síntese de cisteína e, portanto, a cisteína produzida pode ser utilizada na tradução de proteínas e na síntese da glutatona antioxidante e também da taurina que é antioxidante, atuando na digestão de lipídios e na defesa antioxidativa (BLACHIER; WU; YIN, 2013; LI *et al.*, 2009; REZZI *et al.*, 2007).

Na presente pesquisa, não foram observadas diferenças para glicose (mg/dL) e para as enzimas AST (U/L), ALT (U/L) e ALP (U/L) entre as dietas experimentais. A glicose plasmática é comumente considerada como um indicador de estresse em peixes, o alto nível da mesma está relacionado com maior nível de estresse nos peixes (ESLAMLOO; FALAHATKAR; YOKOYAMA, 2012), não sendo esperado efeitos dos aminoácidos avaliados na presente pesquisa sobre a glicose plasmática. No entanto, os efeitos da suplementação de taurina sobre os níveis de glicose plasmática são controversos, como observado em estudos com o linguado japonês (*Paralichthys olivaceus*) (HAN *et al.*, 2014), sargo (*Diplodus sargus*) (MARTINS *et al.*, 2019) e bagre de cabeça amarela (*Pelteobagrus fulvidraco*) (LI *et al.*, 2016).

Na presente pesquisa, foi destacado o efeito da metionina e/ou taurina sobre os parâmetros de qualidade de carne. Sendo demonstrado que os peixes que receberam a dieta TAU apresentaram filés menos amarelado que relação aos peixes que receberam a dieta MET e MET+TAU. Após 21 dias do abate dos peixes e permanência dos filés sob congelamento, filés dos peixes alimentados com a dieta MET+TAU e TAU apresentaram coloração menos amarelada em relação aos filés dos peixes alimentados com a dieta controle e MET. A cor da carne é afetada principalmente pela oxidação lipídica em peixes (BUCHANAN; THOMAS, 2008; SERRÃO, 2007). Destaca-se que peixes que consumiram taurina apresentaram menores

teores de lipídios nos filés, reduzindo a possibilidade de oxidação dos lipídios, além da capacidade antioxidante da taurina, já mencionada anteriormente na presente pesquisa.

O consumidor procura por produtos de qualidade e que sejam bem apresentados, a coloração menos amarelada dos filés é devido ao fato da taurina atuar como antioxidante, diminuindo o teor de gordura nos filés e conseqüentemente reduzindo a oxidação lipídica, causada pelo alto teor de gordura nos filés, com isso, prolongando a vida de prateleira dos filés e sendo mais aceito pelos consumidores, sendo encontrado resultados semelhantes com bagre de cabeça amarela (LI *et al.*, 2016). A taurina possui efeito hipolipidêmico, aumentando a síntese de ácidos biliares, que induzem a lipase ativada por sal biliar, além de aumentar a atividade da lipoproteína lipase que eventualmente poderia reduzir a deposição lipídica nos tecidos periféricos (NANDHINI; BALAKRISHNAN; ANURADHA, 2002).

A qualidade do filé é importante para sustentar a produção de peixes, uma vez que perdas na unidade produtora ou rejeição dos filés nas indústrias processadoras reduzem as margens de lucro (ALLRED *et al.*, 2019). Não houve diferenças para os parâmetros de textura dos filés nesse experimento. Entretanto, em um experimento com robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) com suplementação de taurina, a dureza e mastigabilidade do filé aumentaram significativamente com níveis mais altos de taurina na dieta (KOTZAMANIS *et al.*, 2019).

O mecanismo exato pelo qual a taurina influencia a textura do filé ainda não totalmente conhecido, sendo atribuído principalmente à capacidade antioxidante do aminoácido (KOTZAMANIS *et al.*, 2019). Para o nosso conhecimento, nenhum estudo anterior tenha mencionado um impacto da taurina na dieta sobre os atributos de textura do filé de tilápias.

A taurina exerce papel importante como antioxidante, reduzindo ou minimizando o impacto negativo dos radicais livres, aumentando a defesa antioxidante (ZHANG *et al.*, 2018). Em frangos de corte, utilizando suplementação de taurina de 5 g/kg, idêntica ao valor utilizado na presente pesquisa, foi recentemente demonstrado o potencial da taurina como antioxidante, reduzindo a oxidação de lipídios e reduzindo a perda de água por gotejamento (XU *et al.*, 2019).

No presente estudo, peixes alimentados com a dieta sem suplementação de metionina apresentaram maior expressão de mRNA do gene CBS, em comparação com a expressão obtida em peixes que consumiram as demais dietas suplementadas com metionina. A menor expressão de mRNA do gene CBS em peixes alimentados com dietas com metionina e metionina + taurina indicou regulação negativa da remetilação no fígado para sintetizar

metionina em peixes que consumiram a dieta com deficiência de metionina (KWASEK *et al.*, 2014).

Em dietas com níveis adequados de metionina, o fluxo do substrato pela via de transmetilação diminui, ocorrendo aumento do fluxo pela via de transsulfuração (HOSSEINI *et al.*, 2011). A deficiência dietética de metionina resulta em aumento na expressão de mRNA do gene CBS, que catalisa o primeiro passo da via da transsulfuração (da homocisteína em cistationa), objetivando aumentar a síntese endógena de metionina (FONTAGNÉ-DICHARRY *et al.*, 2017). Na presente pesquisa, a menor atividade do gene CBS em dietas suplementadas com metionina, indicou seu direcionamento para a síntese proteica, conforme previamente descrito em um estudo com ratos (OHUCHI *et al.*, 2009).

O aumento no número de cópias de mRNA do gene CBS indicou que em dietas contendo baixo nível de metionina, a mesma é direcionada para a síntese de taurina utilizada para atender as funções fisiológicas (KWASEK *et al.*, 2014), como produção de taurocolato, envolvido na produção de sais biliares e na digestão de lipídios; defesa antioxidante das células; osmorregulação celular; desenvolvimento muscular, neural e visual; manutenção da função hepática e ação anti-inflamatória nos tecidos (SAKOMOURA *et al.*, 2014; SALZE; DAVIS, 2015). Tal fato foi evidenciado em trutas arco-íris, que possuem a taurina como aminoácido essencial (GIBSON GAYLORD *et al.*, 2007).

Na presente pesquisa, a suplementação de metionina e/ou taurina influenciou o número de cópias de mRNA da CDO. Peixes alimentados com a dieta controle e com suplementação de taurina demonstraram a maior expressão de mRNA do gene CDO, que é uma enzima metabólica altamente regulada, que pode sugerir que, como nos mamíferos, os peixes podem não ter o CDO regulado em resposta à suplementação de taurina, sendo predominantemente regulado em resposta à concentração de cisteína na dieta (STIPANUK *et al.*, 2009). Em um estudo prévio realizado com juvenis de tilápias do Nilo não foi observado influência da suplementação de metionina e/ou taurina sobre a expressão de mRNA da CDO (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018).

A metionina possui função importante no metabolismo dos aminoácidos sulfurados, pela participação única a S-adenosilmetionina (SAM) e S-adenosil-homocisteína (SAH) são sintetizadas, sendo ambos os compostos envolvidos na manutenção de grupos metil no tecido hepático (KWASEK *et al.*, 2014). A SAH é hidrolisada pela S-adenosil-homocisteinase (AHCY) em homocisteína, que tem dois destinos metabólicos possíveis: formar a metionina de volta por remetilação ou entrar na via de transsulfuração para produzir cisteína (TANG *et al.*, 2010).

Nesse estudo, para a expressão de mRNA do gene AHCY, houve um maior número de cópias de mRNA nos peixes alimentados com a dieta TAU em relação aos peixes que receberam as demais dietas. No entanto, em um estudo com salmão do Atlântico, foi avaliado a suplementação dietética de metionina, os autores observaram níveis mais altos de mRNA de AHCY em salmonídeos alimentados com dietas contendo os níveis mais baixos e mais altos de metionina testados (0,0 e 17,4 g/kg⁻¹) (KWASEK *et al.*, 2014). O mesmo foi encontrado em outro trabalho com tilápias do Nilo, onde os níveis de mRNA foram mais baixos nos peixes alimentados com níveis adequados ou inadequados de metionina, sugerindo que o gene AHCY pode não ser regulado pela presença ou ausência de metionina em peixes (MICHELATO; FURUYA; GATLIN, 2018), corroborando com esse estudo, onde permaneceu inalterado os níveis de mRNA dos peixes que receberam a dieta controle sem suplementação de metionina e taurina para os peixes que receberam MET e MET+TAU.

Os alimentos de origem vegetal possuem diversos fatores antinutricionais e aminoácidos limitantes de aminoácidos (GATLIN *et al.*, 2007). Na soja e derivados, a metionina é o aminoácido mais limitante (VIDAL *et al.*, 2017). Além disso, a taurina tem sido destacada como aminoácido condicionalmente essencial para tilápias (AL-FEKY; EL-SAYED; EZZAT, 2016). Na presente pesquisa, a suplementação de metionina e taurina melhorou o desempenho produtivo e qualidade da carne, sendo observado efeito sinérgico dos aminoácidos, resultando em melhores resultados em peixes que consumiram a dieta suplementada com metionina e taurina.

Foi demonstrado também elevada expressão de mRNA do gene CDO, demonstrando maior atividade da enzima em peixes que consumiram a dieta deficiente em metionina e taurina e dos que receberam a dieta com taurina. Destaca-se na presente pesquisa os efeitos da metionina e, principalmente, da taurina, como antioxidantes, com redução na perda de água e manutenção da textura e cor dos filés. O filé é o principal e mais valorizado produto da industrialização de tilápias. A adequada suplementação de aminoácidos que contribuem para aumentar o rendimento de filé e preservar o seu frescor possui grande impacto econômico na industrialização e comercialização do pescado, além de garantir a segurança alimentar dos consumidores.

REFERÊNCIAS

- AL-FEKY, S. S. A.; EL-SAYED, A. F. M.; EZZAT, A. A. Dietary taurine enhances growth and feed utilization in larval Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed soybean meal-based diets. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 457–464, 2016.
- ALAM, M. S. *et al.* Effects of supplementation of coated crystalline amino acids on growth performance and body composition of juvenile kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 10, p. 309–316, 2004.
- ALBUQUERQUE, W. F. DE; FERNANDO, J.; ZAPATA, F. Estado de frescor , textura e composição muscular da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) abatida com dióxido de carbono e armazenada em gelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, p. 264–271, 2004.
- ALLRED, S. *et al.* An assessment of red fillet prevalence in the catfish industry. **Aquaculture**, v. 507, p. 203–210, 2019.
- ALMEIDA, F. L. A. **Expressão gênica de fatores que controlam o crescimento muscular do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**. Universidade Estadual de Campinas, instituto de Biologia, 2011.
- ANDERSON, S. Salmon Color and the Consumer. *In: Proceedings of the IIFET. CANADA: Hoffmann-La Roche Limited*, 2000.
- ARNTHORSOTTIR, M. GUORÚN; ARASON, S.; MARGEIRSSON, B. Combined Blast and Contact cooling - Effects on physiochemical characteristics of fresh haddock. 2008.
- BAKKE, A. M.; GLOVER, C.; KROGDAHL, A. Feeding, digestion and absorption of nutrients. **Fish Physiology**, v. 30, n. C, p. 57–110, 2011.
- BAÑUELOS-VARGAS, I. *et al.* Effect of fishmeal replacement by soy protein concentrate with taurine supplementation on hepatic intermediary metabolism and antioxidant status of totoaba juveniles (*Totoaba macdonaldi*). **Comparative Biochemistry and Physiology - Biochemistry and Molecular Biology**, v. 170, n. 1, p. 18–25, 2014.
- BELEW, J. B. *et al.* Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. **Meat Science**, v. 64, n. 4, p. 507–512, 2003.
- BELGHIT, I. *et al.* Dietary methionine availability affects the main factors involved in muscle protein turnover in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 4, p. 493–503, 2014.
- BLACHIER, F.; WU, G.; YIN, Y. **Nutritional and Physiological Functions of Amino Acids in Pigs**. 2013. ed. Vienna: springer, 2013.
- BOLES, J. A.; PEGG, R. Meat Color. p. 4, 2017.
- BRITTO, A. C. P. *et al.* Rendimento corporal e composição química do filé da viola (*Loricariichthys anus*). **Ciência animal Brasileira**, v. 15, p. 38–44, 2014.
- BRODY, T. **Nutritional biochemistry**. San Diego, California: Academic Press, 1994.

BROWDY, C. L. *et al.* Supplementation with 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid (HMTBa) in low fish meal diets for the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Nutrition**, v. 18, p. 432–440, 2012.

BUCHANAN, J. G.; THOMAS, P. M. Improving the color shelf life of farmed southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) flesh with dietary supplements of Vitamins E and C and Selenium. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 17, n. 3, p. 285–302, 2008.

CAPPELN, G.; JESSEN, F. Glycolysis and ATP Degradation in Cod (*Gadus morhua*) at Subzero Temperatures in Relation to Thaw Rigor. **LWT - Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 81–88, 2001.

CHANG, Y. C. *et al.* Taurine homeostasis requires de novo synthesis via cysteine sulfinic acid decarboxylase during zebrafish early embryogenesis. **Amino Acids**, v. 44, n. 2, p. 615–629, 2013.

CHATZIFOTIS, S. *et al.* Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and bile salt activated lipase activity of common dentex, *Dentex dentex*, fed a fish meal/soy protein concentrate-based diet. **Aquaculture**, v. 275, n. 1–4, p. 201–208, 2008.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 823–835, 2013.

CYRINO, J. E. P. *et al.* A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. supl. especial, p. 68–87, 2010.

DAVIS, D. A. **Feed and feeding practices in aquaculture**. Series in Food Science, Technology and Nutrition Number 287, 2015.

DE MOURA, L. B. *et al.* Taurine and methionine supplementation as a nutritional strategy for growth promotion of meagre (*Argyrosomus regius*) fed high plant protein diets. **Aquaculture**, v. 497, p. 389–395, 2018.

DE MOURA, L. B. *et al.* Nutrient digestibility, digestive enzymes activity, bile drainage alterations and plasma metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) fed high plant protein diets supplemented with taurine and methionine. **Aquaculture**, v. 511, n. 734231, p. 7, 2019.

DEGHANI, R.; OUJIFARD, A.; MOZANZADEH, M. T. Effects of dietary taurine on growth performance, antioxidant status, digestive enzymes activities and skin mucosal immune responses in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus*. **Aquaculture**, v. 517, p. 42, 2019.

DHANAPAL., K. *et al.* changes in instrumental and sensory characteristics of tilapia fish steaks during cold blanching and cooking treatments. **The Bioscan**, v. 8, n. 3, p. 887–892, 2013.

DUAN, J.; CHERIAN, G.; ZHAO, Y. Quality enhancement in fresh and frozen lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets by employment of fish oil incorporated chitosan coatings. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 524–532, 2010.

EL-SAYED, A. F. M. Is dietary taurine supplementation beneficial for farmed fish and

- shrimp? A comprehensive review. **Reviews in Aquaculture**, v. 6, n. 4, p. 241–255, 2014.
- ENCARNAÇÃO, P.; DE LANGE, C. F.; BUREAU, D. Diet energy source affects lysine utilization for protein deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 261, p. 1371–1381, 2006.
- ESKIN, M.; ALIANI, M.; SHAHIDI, F. Carnes e Peixes. In: ESKIN, M.; SHAHIDI, F. (Eds.). **Bioquímica de Alimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 536.
- ESLAMLOO, K.; FALAHATKAR, B.; YOKOYAMA, S. Effects of dietary bovine lactoferrin on growth, physiological performance, iron metabolism and non-specific immune responses of Siberian sturgeon *Acipenser baeri*. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 32, n. 6, p. 976–985, 2012.
- ESPE, M. *et al.* Methionine intake affect hepatic sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture**, v. 274, n. 1, p. 132–141, 2008.
- ESPE, M. *et al.* Methionine deficiency does not increase polyamine turnover through depletion of hepatic S -adenosylmethionine in juvenile Atlantic salmon . **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 8, p. 1274–1285, 2014.
- FANG, Y. Z.; YANG, S.; WU, G. Free radicals, antioxidants, and nutrition. **Nutrition**, v. 18, n. 10, p. 872–879, 2002.
- FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome: Opportunities and challenges, 2014.
- FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome: Contributing to food security and nutrition for all, 2016.
- FIGUEIREDO-SILVA, C. *et al.* Effect of DL-methionine supplementation on the success of almost total replacement of fish meal with soybean meal in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 21, n. 2, p. 234–241, 2015.
- FONTAGNÉ-DICHARRY, S. *et al.* Parental and early-feeding effects of dietary methionine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 469, p. 16–27, 2017.
- FOX, P. F. *et al.* **Fundamentals of cheese science**. Gaithersburg: Aspen, 2000.
- FURUYA, W. M. *et al.* Coeficientes de Digestibilidade e Valores de Aminoácidos Digestíveis de Alguns Ingredientes para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 4, p. 1143–1149, 2001.
- FURUYA, W. M. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010.
- GAO, Z. *et al.* Effect of dietary methionine levels on growth performance, amino acid metabolism and intestinal homeostasis in turbot (*Scophthalmus maximus L.*). **Aquaculture**, v. 498, n. 5, p. 335–342, 2019.
- GARCIA-ORGANISTA, A. A. *et al.* The effects of high dietary methionine and taurine are not equal in terms of growth and lipid metabolism of juvenile California Yellowtail (*Seriola*

dorsalis). **Aquaculture**, v. 512, n. July, p. 734304, 2019.

GATLIN, D. M. *et al.* Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 6, p. 551–579, 2007.

GAYLORD, T. G.; TEAGUE, A. M.; BARROWS, F. T. Taurine Supplementation of All-plant Protein Diets for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 37, n. 4, p. 509–517, 2006.

GIBSON GAYLORD, T. *et al.* Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 269, n. 1–4, p. 514–524, 2007.

GIRAO, P. M.; PEREIRA DA SILVA, E. M.; DE MELO, M. P. Dietary lycopene supplementation on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles submitted to confinement: Effects on cortisol level and antioxidant response. **Aquaculture Research**, v. 43, n. 5, p. 789–798, 2012.

GOFF, J. B.; GATLIN, D. M. Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet of red drum, *Scianops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine. **Aquaculture**, v. 241, p. 465–477, 2004.

GOTO, T. *et al.* Bile Salt Composition and Distribution of the D-Cysteinolic Acid Conjugated Bile Salts in Fish. **Fisheries Science**, v. 62, n. 4, p. 606–609, 1996.

GRIGORAKIS, K. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review. **Aquaculture**, v. 272, n. 1, p. 55–75, 2007.

GROPPER, S. S. **Nutrição avançada e metabolismo humano**. 5. ed. Stamford: Cengage Learning, 2011.

HAGA, Y. *et al.* Isolation, molecular characterization of cysteine sulfinic acid decarboxylase (CSD) of red sea bream *Pagrus major* and yellowtail *Seriola quinqueradiata* and expression analysis of CSD from several marine fish species. **Aquaculture**, v. 449, p. 8–17, 2015.

HAN, Y. *et al.* Interactive effects of dietary taurine and glutamine on growth performance , blood parameters and oxidative status of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Aquaculture**, v. 434, p. 348–354, 2014.

HE, J. Y. *et al.* Methionine and lysine requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of two sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 629–640, 2013.

HE, J. Y. *et al.* Effect of dietary L -methionine concentrations on growth performance , serum immune and antioxidative responses of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. p. 665–674, 2017.

HEIDRICH, H. D.; GRUNER, J.; VASKE, T. R. **Manual da Patologia Bovina**. São Paulo: Varela, 1994.

HOSSEINI, S. A. *et al.* Reevaluation of Methionine Requirement Based on Performance and

Immune Responses in Broiler Breeder Hens. **Journal of Poultry Science**, v. 53, n. 9, p. 24, 2011.

HUA, K.; SUWENDI, E.; BUREAU, D. P. Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 505, p. 47–53, 2019.

HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. The Measurement of Appearance. **Optica Acta: International Journal of Optics**, v. 23, n. 7, p. 391, 1987.

HUNTERLAB. Applications Note: CIE L* a* b* color scale. v. 8, n. 7, p. 1–4, 2008.

HUSS, H. H. **Fresh fish: Quality and quality changes**. Rome: Training manual. United Nations, FAO/DANIDA, 1998.

ICHIKAWA, T. Effect of dietary taurine on cholesterol 7 alpha-hydroxylase activity in the liver of mice fed a lithogenic diet. **Jornaul nutricion science Vitaminol**, v. 33, p. 239–243, 1987.

JIMÉNEZ, A.; GUTIÉRREZ, G. C. **Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia S.A, 2001.

JURKOWSKA, H. *et al.* Downregulation of hepatic betaine:homocysteine methyltransferase (BHMT) expression in taurine-deficient mice is reversed by taurine supplementation in vivo. **Amino Acids**, v. 48, n. 3, p. 665–676, 2016.

KADER, M. A. *et al.* Supplemental effects of some crude ingredients in improving nutritive values of low fishmeal diets for red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture**, v. 308, n. 3–4, p. 136–144, 2010.

KILIÇ, B. *et al.* Improving lipid oxidation inhibition in cooked beef hamburger patties during refrigerated storage with encapsulated polyphosphate incorporation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 290–296, 2018.

KIM, S. K. *et al.* Effect of different dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth performance of juvenile and fingerling Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Aquaculture**, v. 273, n. 4, p. 595–601, 2007.

KIM, S. K. *et al.* Comparison of taurine biosynthesis ability between juveniles of Japanese flounder and common carp. **Amino Acids**, v. 35, p. 161–168, 2008.

KIM, S. K. *et al.* Effect of dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). **Aquaculture Research**, v. 46, n. 11, p. 2768–2775, 2015.

KOTZAMANIS, Y. *et al.* Effects of taurine supplementation in soy-based diets on growth performance and fillet quality in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, p. 734655, 2019.

KWASEK, K. *et al.* Dietary methionine supplementation alters the expression of genes involved in methionine metabolism in salmonids. **Aquaculture**, v. 433, p. 223–228, 2014.

LEWIS, A. J. Methionine-Cystine relationships in pig nutrition. *In*: D'MELLO, J. P. F. (Ed.).

. **Amino acids in animal nutrition**. 2. ed. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2003. p. 143–155.

LI, M. *et al.* Effects of dietary taurine on growth, immunity and hyperammonemia in juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* fed all-plant protein diets. **Aquaculture**, v. 450, p. 349–355, 2016.

LI, M. H. *et al.* Effects of various dietary carotenoid pigments on fillet appearance and pigment absorption in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, n. 4, p. 557–563, 2007.

LI, P. *et al.* New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. **Amino Acids**, v. 37, n. 1, p. 43–53, 2009.

LIU, Y. *et al.* The tolerance and safety assessment of taurine as additive in a marine carnivorous fish, *Scophthalmus maximus* L. v. 24, n. 1, p. 461–471, 2017.

LIVAK, K. J.; SCHMITTGEN, T. D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT method. **Methods**, v. 25, n. 4, p. 402–408, 2001.

MAIA, E. L.; OGAWA, M. **Manual de pesca (Ciência e tecnologia do pescado)**. 1. ed. São Paulo: varela, 1999.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento BINAGRI - SISLEGIS. p. 9, 2010.

MAQSOOD, S.; BENJAKUL, S. Comparative studies on molecular changes and pro-oxidative activity of haemoglobin from different fish species as influenced by pH. **Food Chemistry**, v. 124, n. 3, p. 875–883, 2011.

MARTINS, N. *et al.* Is dietary taurine required for white seabream (*Diplodus sargus*) juveniles? **Aquaculture**, v. 502, p. 296–302, 2019.

MATO, J. M.; MARTÍNEZ-CHANTAR, M. LUIZ; C.LU, S. Methionine metabolism and liver disease. **Annual Review Nutrition**, v. 28, p. 273–293, 2008.

MAZANDRANI, H. A.; JAVADIAN, S. R.; BAHRAM, S. The effect of encapsulated fennel extracts on the quality of silver carp fillets during refrigerated storage. **Food Science and Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 298–304, 2016.

MICHELATO, M. *et al.* Revista Brasileira de Zootecnia Digestible methionine + cystine requirement for Nile tilapia from 550 to 700 g. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 1, p. 7–12, 2013.

MICHELATO, M.; FURUYA, W. M.; GATLIN, D. M. Metabolic responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* to methionine and taurine supplementation. **Aquaculture**, v. 485, p. 66–72, 2018.

MORKORE, T. *et al.* Composition, liquid leakage, and mechanical properties of farmed rainbow trout: Variation between fillet sections and the impact of ice and frozen storage. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 5, p. 1933–1938, 2002.

MORKORE, T. Relevance of dietary oil source for contraction and quality of pre-rigor filleted Atlantic cod, *Gadus morhua*. **Aquaculture**, v. 256, p. 56–65, 2006.

MPA. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura. Brasil 2008 - 2009. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**, p. 129, 2010.

MURAKAMI, S. *et al.* Effect of taurine on cholesterol metabolism in hamsters: Up-regulation of low density lipoprotein (LDL) receptor by taurine. **Life Sciences**, v. 70, n. 20, p. 2355–2366, 2002.

NAKAGAKI, M.; NISHINO, M. Studies on the Physico-Chemical Properties of Aluminum Soaps. Vi. **Yakugaku zasshi : Journal of the Pharmaceutical Society of Japan**, v. 84, n. 25, p. 157–174, 2000.

NANDHINI, A. T. A.; BALAKRISHNAN, S. D.; ANURADHA, C. V. Taurine improves lipid profile in rats fed a high. v. 22, p. 343–354, 2002.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger: principles of biochemistry**. 5. ed. New York: H.W. Freeman and Company, 2009.

NGUYEN, H. P. *et al.* Feeding fermented soybean meal diet supplemented with taurine to yellowtail *Seriola quinqueradiata* affects growth performance and lipid digestion. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 5, p. 1101–1110, 2015.

NRC. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. Washington, DC: National Academy Press, 2011.

NUNES, A. J. P. *et al.* Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. **Aquaculture**, v. 431, p. 20–27, 2014.

OEHLENSCHLAGER, J. Seafood Quality Assessment. In: **The British Journal of Psychiatry**. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2014. v. 111p. 510.

OHUCHI, S. *et al.* Hepatic cystathionine β -synthase activity does not increase in response to methionine supplementation in rats fed a low casein diet: Association with plasma homocysteine concentrations. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 55, n. 2, p. 178–185, 2009.

OLAFSDOTTIR, G. *et al.* Multisensor for fish quality determination. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 86–93, 2004.

OVERTURF, K. *et al.* Energy composition of diet affects muscle fiber recruitment, body composition, and growth trajectory in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 457, p. 1–14, 2016.

PANSERAT, S.; KAUSHIK, S. J. Regulation of gene expression by nutritional factors in fish. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 5, p. 751–762, 2010.

PARDI, M. C. *et al.* **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia: Editora UFG, 2006.

PEIXEBR. **Anuário PeixeBR da Piscicultura 2018**. São Paulo, SP: Texto Comunicação Corporativa, 2018.

PEIXEBR. **Anuário PeixeBR da Piscicultura 2019**. São Paulo, SP: Texto Comunicação Corporativa, 2019.

PÉREZ-WON, M. *et al.* Textural characteristics of frozen blue squat lobster (*Cervimunida johni*) tails as measured by instrumental and sensory methods. **Journal of Food Process Engineering**, v. 29, n. 5, p. 519–531, 2006.

RAHMANIFARAH, K.; SHABANPOUR, B.; SATTATI, A. Effects of clove oil on behavior and flesh quality of common carp (*Cyprinus carpio L.*) in comparison with pre-slaughter CO₂ stunning, chilling and asphyxia. **Turkish Journal of Fisheries and aquatic Sciences**, n. 11, p. 139–147, 2011.

REZZI, S. *et al.* Nutritional metabonomics: Applications and perspectives. **Journal of Proteome Research**, v. 6, n. 2, p. 513–525, 2007.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2007.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4 Ed. ed. Viçosa: Ed. Viçosa, 2017.

SAKOMURA, N. K. *et al.* **Nutrição de Não Ruminantes**. Joboticabal: Funep, 2014.

SALWAY, J. G. **Metabolismo passo a passo**. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2009.

SALZE, G. P. *et al.* Investigation of biomarkers of early taurine deficiency in Florida pompano *Trachinotus carolinus*. **Aquaculture**, v. 451, p. 254–265, 2016.

SALZE, G. P.; DAVIS, D. A. Taurine: A critical nutrient for future fish feeds. **Aquaculture**, v. 437, p. 215–229, 2015.

SANTOS, A. B. *et al.* Composição química e rendimento do filé da traíra (*Hoplias malabaricus*). **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 8, n. 1, p. 140–150, 2001.

SAVONA, B. Digestive Enzymes in Larvae and Juveniles of Farmed Sharpsnout Seabream (*Diplodus puntazzo*) (Cetti, 1777). **The Open Marine Biology Journal**, v. 5, n. 1, p. 47–57, 2011.

SERRÃO, A. IV Manual de Patologia Podal Bovina. p. 12–13, 2007.

SIMMONS, L. *et al.* Dietary methionine requirement of juvenile Artic charr *Salvelinus alpinus (L.)*. **Aquaculture Nutrition**, v. 5, p. 93–100, 1999.

SKONBERG, D. I. *et al.* Color and flavor analyses of fillets from farm-raised rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-phosphorus feeds containing corn or wheat gluten. **Aquaculture**, v. 166, n. 3–4, p. 269–277, 1998.

STIPANUK, M. H. Sulfur amino acid metabolism: pathway for production and removal of homocysteine and cysteine. **Journal of Animal Review Nutrition**, v. 24, p. 537–539, 2004.

STIPANUK, M. H. *et al.* Cysteine dioxygenase: A robust system for regulation of cellular

cysteine levels. **Amino Acids**, v. 37, n. 1, p. 55–63, 2009.

STIPANUK, M. H. *et al.* Enzymes and Metabolites of Cysteine Metabolism in Nonhepatic Tissues of Rats Show Little Response to Changes in Dietary Protein or Sulfur Amino Acid Levels. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 11, p. 3369–3378, 2018.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, n. 4, p. 215–225, 2002.

TAKAGI, S. *et al.* Taurine is an essential nutrient for yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed non-fish meal diets based on soy protein concentrate. **Aquaculture**, v. 280, n. 1–4, p. 198–205, 2008.

TANG, B. *et al.* Methionine-deficient diet induces post-transcriptional downregulation of cystathionine β -synthase. **Nutrition**, v. 26, n. 11–12, p. 1170–1175, 2010.

TOCHER, D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Reviews in Fisheries Science**, v. 11, n. 2, p. 107–184, 2003.

TOLDRÁ, F. Muscle Foods: Water structure and functionality. Instituto de Agroquímica y tecnología de alimentos. **España.**, v. 9, n. 3, p. 173–177, 2003.

TROSVIK, K. A. *et al.* Growth and Body Composition of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Fry Fed Organic Diets Containing Yeast Extract and Soybean Meal as Replacements for Fish Meal, with and without Supplemental Lysine and Methionine. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 43, n. 5, p. 635–647, 2012.

VIDAL, L. V. O. *et al.* Apparent digestibility of soybean coproducts in extruded diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 228–235, 2017.

VLACHOS, I. Food Quality and Safety. **Intelligent Agrifood Chains and Networks**, v. 71, n. 1, p. 131–149, 2011.

VLIET, T. VAN. International Dairy Federation Bulletin. In: **Terminology to be used in cheese rheology**. Uruena: Wageningen Agricultural Univ. (Netherlands), 1991. p. 5–15.

WANG, Q. *et al.* Dietary sulfur amino acid modulations of taurine biosynthesis in juvenile turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, v. 422–423, p. 141–145, 2014.

WATSON, A. M.; BARROWS, F. T.; PLACE, A. R. Effects of Graded Taurine Levels on Juvenile Cobia. **North American Journal of Aquaculture**, v. 76, n. 3, p. 190–200, 2014.

WILDE, P. J.; CHU, B. S. Interfacial & colloidal aspects of lipid digestion. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 165, n. 1, p. 14–22, 2011.

WILSON, R. P. Amino acids and proteins. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. (Eds.). **Fish nutrition**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2002.

WILSON, R. P. Amino acid requirements of finfish and crustaceans. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). **Amino acid in farm animal nutrition**. Edinburgh, UK: CABI Publishing, 2003. p. 427–447.

WU, G. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013.

XU, S. W. *et al.* Dietary taurine supplementation enhances antioxidative capacity and improves breast meat quality of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 1668, 2019.

YARNPAKDEE, S. *et al.* Lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysate from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle as affected by freshness and antioxidants. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1781–1788, 2012.

YARNPAKDEE, S. *et al.* Chemical compositions and muddy flavour/odour of protein hydrolysate from Nile tilapia and broadhead catfish mince and protein isolate. **Food Chemistry**, v. 142, p. 210–216, 2014.

YEH, Y. H.; HWANG, D. F. High-performance liquid chromatographic determination for bile components in fish, chicken and duck. **Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications**, v. 751, n. 1, p. 1–8, 2001.

YUN, B. *et al.* Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus L.*) fed high plant protein diets. **Aquaculture**, v. 324–325, p. 85–91, 2012.

ZENG, D. S. *et al.* Effect of taurine on lipid metabolism of broilers. **Journal of Applied Animal Research**, v. 40, n. 2, p. 86–89, 2012.

ZEOLA, N. M. B. . Conceitos e parâmetro utilizados na avaliação da qualidade da carne ovina. **Revista Nacional da Carne**, v. 26, n. 304, p. 36–56, 2002.

ZHANG, J. *et al.* Effect of dietary taurine supplementation on growth performance , digestive enzyme activities and antioxidant status of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*) fed with low fish meal diet. v. 49, n. 9, p. 3187–3195, 2018.

CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação de metionina e/ou taurina mostrou efeitos positivos no desempenho, parâmetros sanguíneos, expressão de genes e qualidade da carne de tilápias do Nilo na terminação. Apesar da metionina e taurina atuarem isoladamente sobre o desempenho produtivo e qualidade da carne, a suplementação de metionina apresentou efeito marcante sobre o desempenho produtivo, enquanto a taurina apresentou maior influência sobre a qualidade da carne.

É importante pesquisas com aminoácidos para peixes em terminação considerando o desempenho produtivo e qualidade da carne. O filé é o principal e mais valorizado produto da industrialização de tilápias no Brasil. Com a crescente demanda para inclusão de alimentos de origem vegetal em dietas para tilápias, além da metionina, um aminoácido essencial e limitante, é importante considerar a taurina para evitar a utilização da metionina para a síntese de taurina.

É possível que a exigência de metionina dietética seja mais elevada em dieta elaboradas com dieta composta exclusivamente com alimentos de origem vegetal, com baixo teor de taurina. Dessa forma, a variação da exigência dietética de metionina descrita na literatura pode estar relacionada também com a composição da dieta. Assim, a apresentação da exigência relacionando o nível de metionina e cisteína, além do nível taurina, é importante a ser considerada em futuras pesquisas envolvendo aminoácidos sulfurados em nutrição de peixes.

Assegurar o frescor da carne de tilápias é importante do ponto de vista comercial e segurança alimentar ao consumidor. A cor e textura são parâmetros que influenciam a escolha do pescado pelo consumidor no momento da compra, estando relacionados também com o tempo de prateleira, principalmente pela oxidação dos lipídios presentes no pescado. Pela presença de maior proporção de ácidos graxos insaturados no pescado, em relação à carne bovina, antioxidantes biológicos como a taurina estão sendo cada vez mais avaliados para substituir antioxidantes sintéticos que envolvam risco à saúde humana.

Tilápias de grande porte, utilizada na presente pesquisa, são preferidas para a culinária japonesa que utilizam peixes “*in natura*”, sendo que os parâmetros de cor e textura são de grande importância para apresentação do produto destinado ao consumidor. Além disso, destaca-se o valor comercial agregado do produto, pela utilização de antioxidante biológico natural como a taurina.