

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INTERAÇÕES DA GLICINA+SERINA COM METIONINA E
TREONINA EM DIETAS COM REDUÇÃO PROTEICA PARA
FRANGOS DE CORTE

Autora: Amanda Barroso Castelani
Orientadora: Profa. Dra. Alice Eiko Murakami
Coorientadora: Profa. Dra. Marcia Izumi Sakamoto

MARINGÁ
Estado do Paraná
setembro – 2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INTERAÇÕES DA GLICINA+SERINA COM METIONINA E
TREONINA EM DIETAS COM REDUÇÃO PROTEICA PARA
FRANGOS DE CORTE

Autora: Amanda Barroso Castelani
Orientadora: Profa. Dra. Alice Eiko Murakami
Coorientadora: Profa. Dra. Marcia Izumi Sakamoto

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 Maringá – Área de concentração: Produção Animal

MARINGÁ
Estado do Paraná
setembro – 2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

C348i

Castelani, Amanda Barroso

Interações da glicina+serina com metionina e treonina em dietas com redução proteica para frangos de corte / Amanda Barroso Castelani. -- Maringá, PR, 2021.
xv, 73 f.: il., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Alice Eiko Murakami.

Coorientadora: Profa. Dra. Marcia Izumi Sakamoto.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2021.

1. Frango de corte - Nutrição - Exigência de aminoácidos. 2. Frango de corte - Desempenho. 3. Frango de corte - Suplementação de glicina. 4. Frango de corte - Interações entre aminoácidos. I. Murakami, Alice Eiko, orient. II. Sakamoto, Marcia Izumi, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 23.ed. 636.5



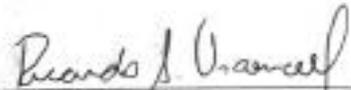
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INTERAÇÕES DA GLICINA+SERINA COM METIONINA E
TREONINA EM DIETAS COM REDUÇÃO PROTEICA PARA
FRANGOS DE CORTE

Autora: Amanda Barroso Castelani
Orientadora: Profª Drª Alice Eiko Murakami

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADA em 01 de setembro de 2021.


Prof. Dr. Ricardo Souza
Vasconcelos


Dr. Juan Camilo Ospina-Rojas


Profª Drª Alice Eiko Murakami
Orientadora

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

Josué 1:9

Aos meus pais,

Carlos Castelani e Maria Aparecida Barroso Castelani,

Pela capacidade de acreditarem e investirem em mim. O cuidado e a dedicação de vocês foi que deram, em vários momentos, a esperança para seguir e a presença de vocês representou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

Vocês são meus exemplos de vida, minha inspiração.

Às minhas irmãs,

Jaqueline e Flávia,

Pela amizade, cumplicidade, por serem meu porto seguro me apoiarem nos meus projetos e por compartilharem das mais lindas memórias. Meu carinho, meu amor e minha eterna gratidão por ter vocês na minha vida.

Com todo meu amor e carinho, DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção, saúde e força, permitindo que mais uma etapa tão importante da minha vida fosse alcançada.

Aos meus pais, por serem a base da minha vida e, terem me ensinado a vivê-la com dignidade, coragem e sabedoria. Obrigada por se fazerem tão presentes e necessários me ajudando a ser a pessoa que sou. A vocês dois, a minha eterna gratidão.

A toda a minha família, em especial às minhas irmãs Jaqueline e Flávia, por tudo o que fazem por mim, por todos os conselhos, abraços e sorrisos. Não sei o que seria de mim sem vocês por perto.

À minha orientadora, professora Dra. Alice Eiko Murakami, pela oportunidade de realizar o mestrado, pelo suporte, apoio e confiança em mim depositados. Seu exemplo de profissionalismo e seus ensinamentos contribuíram tanto para o meu crescimento profissional quanto pessoal.

À minha coorientadora, professora Dra. Marcia Izumi Sakamoto, por sua amizade, dedicação, paciência, por toda ajuda prestada e orientação. Obrigada, de coração.

À professora Dra. Claudia Yurika Tamehiro, que acreditou no meu potencial desde a graduação e contribuiu para minha formação.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, pelos conhecimentos transmitidos e pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo.

A todos que compõem ou que já fizeram parte do Grupo de Pesquisa em Nutrição de Aves: Ana Eliza, Pedro, Kazuo, Elison, Letícia, Wellington, Gabriele e Daniele, pela cooperação mútua, pela amizade, pelas risadas e por tornarem essa caminhada árdua muito mais leve e agradável. Sem a ajuda e dedicação de vocês eu não teria conseguido. Este trabalho é nosso!

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), em especial ao Sr. Toninho, pela sua amizade, generosidade e constante colaboração no desenvolvimento dos trabalhos a campo.

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal (LANA), Osvaldo e Ulisses, pelo auxílio na realização das análises.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, que possibilitou a realização do mestrado.

A todos aqueles que, de alguma forma estiveram envolvidos na realização deste trabalho.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

AMANDA BARROSO CASTELANI, filha de Carlos Castelani e Maria Aparecida Barroso Castelani, nasceu em 26 de abril de 1994, na cidade de Astorga, estado do Paraná – Brasil.

Em 2013, ingressou no curso de graduação em Medicina Veterinária na Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP/Campus Luiz Meneghel de Bandeirantes, Paraná – Brasil, concluindo-o no ano de 2018.

Em março de 2019, iniciou no mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, Paraná – Brasil, área de concentração Produção Animal – Nutrição de Monogástricos, sob orientação da Profa. Dra. Alice Eiko Murakami.

No dia 1 de setembro de 2021, submeteu-se à banca examinadora para a defesa de dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de mestra em Zootecnia.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	ii
ABSTRACT	xv
I – INTRODUÇÃO	1
1. REVISÃO DE LITERATURA	3
1.1 Redução da proteína bruta dietética	3
1.2 Glicina: caracterização e funções	4
1.2.1 Síntese de glicina a partir de seus precursores: serina e treonina.....	5
1.2.2 Importância da glicina para a síntese da creatina.....	8
1.3 Treonina: caracterização e funções	10
1.3.1 Metabolismo da treonina.....	12
1.4 Aminoácidos sulfurados: caracterização e funções	13
1.4.1 Metabolismo dos aminoácidos sulfurados.....	15
1.5 Referências.....	17
II – OBJETIVOS GERAIS	24
2.1 Objetivos específicos.....	24
III – Suplementação de glicina e metionina e suas interações em dietas com redução do nível proteico para frangos de corte na fase de crescimento.....	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
INTRODUÇÃO	27

MATERIAL E MÉTODOS	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45
IV – Suplementação de glicina e treonina e suas interações em dietas com redução do nível proteico para frangos de corte na fase de crescimento	48
RESUMO	48
ABSTRACT	49
INTRODUÇÃO	50
MATERIAL E MÉTODOS	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	69
V – CONSIDERAÇÕES FINAIS	73

LISTA DE TABELAS

	Página
Capítulo III	
Tabela 1. Composição percentual e calculada da dieta basal para frangos de corte na fase de crescimento (21 a 42 dias de idade).....	30
Tabela 2. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig na fase de 21 a 42 dias de idade.....	34
Tabela 3. Conteúdo de creatina no músculo peitoral e peso relativo do fígado e pâncreas de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.....	36
Tabela 4. Rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.....	38
Tabela 5. Triglicerídeos (mg dL ⁻¹), ácido úrico (mg dL ⁻¹), albumina (g dL ⁻¹), proteínas totais (g dL ⁻¹), creatinina (mg dL ⁻¹), glicose (mg dL ⁻¹) e amônia (mg dL ⁻¹) séricos de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.....	39
Tabela 6. Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig sobre os parâmetros bioquímicos séricos de frangos de corte com 42 dias de idade.....	42
Tabela 7. Valores de TBARS expressos como mg de MDA/kg da carne do peito de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.....	44

Capítulo IV

- Tabela 1.** Composição percentual e calculada da dieta basal para frangos de corte na fase de crescimento (21 a 42 dias de idade).....53
- Tabela 2.** Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig na fase de 21 a 42 dias de idade.....56
- Tabela 3.** Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre o ganho de peso de frangos de corte com 42 dias de idade.....57
- Tabela 4.** Conteúdo de creatina no músculo peitoral e peso relativo do fígado e pâncreas de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.....59
- Tabela 5.** Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre o conteúdo de creatina no músculo peitoral de frangos de corte aos 42 dias de idade.....60
- Tabela 6.** Rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.....61
- Tabela 7.** Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre o rendimento de carcaça de frangos de corte com 42 dias de idade.....62
- Tabela 8.** Triglicerídeos (mg dL^{-1}), ácido úrico (mg dL^{-1}), albumina (g dL^{-1}), proteínas totais (g dL^{-1}), creatinina (mg dL^{-1}), glicose (mg dL^{-1}) e amônia (mg dL^{-1}) séricos de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.....64
- Tabela 9.** Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre a concentração sérica de ácido úrico de frangos de corte com 42 dias de idade.....66
- Tabela 10.** Valores de TBARS expressos como mg de MDA/kg da carne do peito de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.....68
- Tabela 11.** Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre os valores de TBARS expressos como mg de MDA/kg da carne do peito de frangos de corte com 42 dias de idade.....69

LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo I	
Figura 1. Estrutura química da glicina.....	4
Figura 2. Síntese de glicina a partir da serina.....	6
Figura 3. Síntese de glicina a partir da treonina.....	7
Figura 4. Biossíntese da creatina.....	9
Figura 5. Estrutura química da treonina.....	10
Figura 6. Estrutura química da metionina.....	13
Figura 7. Metabolismo da metionina.....	16

RESUMO

Foram conduzidos dois experimentos com o objetivo de determinar o nível ideal de glicina+serina em dietas de reduzido teor proteico e as possíveis interações com a metionina+cistina (Met+Cis) e a treonina (Tre) digestíveis (dig) sobre o desempenho, rendimento de carcaça, bioquímica sanguínea, creatina muscular e capacidade antioxidante de frangos de corte na fase de crescimento (21 a 42 dias de idade). No experimento I, foram utilizados 1.500 pintos de corte machos, de 21 dias de idade, da linhagem comercial Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×3 (Gli+Ser total \times Met+Cis dig), com cinco repetições e 20 aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de Gli+Ser total (1,38; 1,48; 1,58; 1,68 e 1,78%) e três níveis de Met+Cis dig (0,67; 0,79 e 0,91%). Aos 42 dias foi observada interação ($P < 0,05$) entre os níveis Gli+Ser total e Met+Cis dig para as concentrações séricas de ácido úrico, albumina e proteínas totais. Os níveis crescentes de Gli+Ser aumentaram ($P < 0,05$) as concentrações séricas de ácido úrico, albumina e proteínas totais nas dietas deficientes em Met+Cis, assim como a concentração de proteínas totais nas dietas com excesso de Met+Cis dig. Os níveis crescentes de Gli+Ser total resultaram em melhor ($P < 0,05$) ganho de peso e a conversão alimentar. Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de Gli+Ser para o conteúdo de creatina no músculo do peito e concentração sérica de triglicerídeos, sendo estimado nível ótimo de 1,61 e 1,50% de Gli+Ser total, respectivamente. Entretanto, os níveis de Gli+Ser total resultaram em efeito linear ($P < 0,05$) sobre as concentrações plasmáticas de creatinina. Os níveis de Met+Cis dig influenciaram ($P < 0,05$) o conteúdo de creatina nos músculos peitorais, a concentração sérica de triglicerídeos e glicose. Dessa forma, a recomendação mínima de Gli+Ser total para bom desempenho é de 1,78% independente do nível de Met+Cis dig utilizado em dietas com redução do nível proteico para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade. No experimento II foram utilizados 1.500 pintos de corte machos, de 21 dias de idade, da linhagem comercial Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×3 (Gli+Ser total \times Tre dig), com cinco repetições e 20 aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de Gli+Ser total (1,38; 1,48; 1,58; 1,68 e 1,78%) e três níveis de Tre dig (0,58; 0,68 e 0,78%). Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig para o ganho de peso, rendimento de carcaça, conteúdo de creatina nos músculos peitorais e concentração sérica de ácido úrico. Níveis iguais ou acima de 1,58 e 1,48% de

Gli+Ser total permitiram melhorar ($P<0,05$) o ganho de peso nas dietas deficientes e com o nível recomendado de Tre, respectivamente. Entretanto, a suplementação de Gli+Ser prejudicou ($P<0,05$) o ganho de peso nas dietas com excesso de Tre. O nível adequado de Tre (0,68%) melhorou ($P<0,05$) a conversão alimentar e o rendimento de peito em comparação com os níveis fora da exigência de Tre. Nas dietas com 0,58 e 0,68% de Tre, níveis iguais ou acima de 1,48% de Gli+Ser aumentaram ($P<0,05$) o rendimento de carcaça. A suplementação com níveis iguais ou acima de 1,48% de Gli+Ser nas dietas com excesso de Tre resultou em aves com maior ($P<0,05$) conteúdo de creatina nos músculos peitorais. Nas dietas com níveis marginais de Tre dig, o aumento nos níveis de Gli+Ser total resultou em menor ($P<0,05$) concentração de ácido úrico no sangue. Houve efeito quadrático ($P<0,05$) dos níveis de Gli+Ser total para o conteúdo de creatina nos músculos peitorais, rendimento de peito e concentrações séricas de proteínas totais, sendo estimado o nível ótimo de 1,69, 1,59 e 1,62% de Gli+Ser total, respectivamente. O teor de gordura abdominal reduziu linearmente ($P<0,05$) com o aumento dos níveis de Gli+Ser nas dietas. Para avaliação da oxidação lipídica da carne, foi observada interação ($P<0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig, sendo a menor concentração de malonaldeído (MDA) encontrada nas dietas com 1,58% de Gli+Ser com o nível adequado de Tre. Assim sendo, o nível dietético de Gli+Ser total para bom desempenho em dietas com redução do nível proteico é de 1,48% com níveis adequados de Tre dig (0,68%) e 1,58% com níveis marginais de Tre dig para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade.

Palavras-chave: aminoácidos, glicina, aminoácidos sulfurados, treonina, desempenho.

ABSTRACT

Two experiments were carried out to study the effect of glycine+serine (Gly+Ser) supplementation in low crude protein diets and the possible interactions with digestible methionine+cystine (Met+Cys) and threonine (Thr) on performance, carcass yield, blood biochemistry, muscle creatine and oxidative stability of meat of broiler chickens in the growth phase (21 to 42 days of age). In experiment I, a total of 1,500 twenty-one-day-old Cobb-Vantress® male broiler chickens were distributed in a completely randomized 5×3 factorial arrangement (Gly+Ser \times Met+Cys), with five replicates of 20 birds each. The treatments consisted of five levels of total Gly+Ser (1.38, 1.48, 1.58, 1.68 and 1.78%) and three levels of dig Met+Cys (0.67, 0.79 and 0.91%). At 42 days, an interaction ($P < 0.05$) was observed between total Gly+Ser and dig Met+Cys levels for serum concentrations of uric acid, albumin and total protein. The increase in Gly+Ser levels increased ($P < 0.05$) serum concentrations of uric acid, albumin and total protein in diets with deficient Met+Cys, as did the total protein concentration in diets with high dig Met+Cys. Increasing levels of total Gly+Ser improved ($P < 0.05$) weight gain and feed conversion. There was a quadratic effect ($P < 0.05$) of Gly+Ser levels for pectoral muscle creatine content and serum triglycerides concentrations, with an estimated optimal level of 1.61 and 1.50% of total Gly+Ser, respectively. However, the total Gly+Ser levels resulted in a linear effect ($P < 0.05$) on serum creatinine concentrations. The dig Met+Cys levels influenced ($P < 0.05$) pectoral muscle creatine content, serum concentrations of triglycerides and glucose. Thus, the minimum total Gly+Ser recommendation to improve performance is 1.78% regardless of dig Met+Cys levels used in low crude protein diets for broiler chickens from 21 to 42 days of age. In experiment II, a total of 1,500 twenty-one-day-old Cobb-Vantress® male broiler chickens were distributed in a completely randomized 5×3 factorial arrangement (Gly+Ser \times Thr) with five replicates of 20 birds each. The treatments consisted of five levels of total Gly+Ser (1.38; 1.48; 1.58; 1.68 and 1.78%) and three levels of dig Thr (0.58; 0.68 and 0.78%). There was an interaction ($P < 0.05$) between total Gly+Ser and Thr dig levels for weight gain, carcass yield, pectoral muscle creatine content and serum concentrations of uric acid. Levels equal to or above 1.58 and 1.48% of total Gly+Ser improved ($P < 0.05$) weight gain in the deficient diets and

with the recommended Thr level, respectively. However, Gly+Ser supplementation impaired ($P<0.05$) weight gain in diets with high Thr. The adequate Thr level (0.68%) improved ($P<0.05$) feed conversion and breast yield compared to the ones outside the Thr requirement. In diets with 0.58 and 0.68% of Thr, levels equal to or above 1.48% of Gly+Ser increased ($P<0.05$) carcass yield. Supplementation with levels equal to or above 1.48% Gly+Ser in diets with high Thr resulted in birds with higher ($P<0.05$) pectoral muscle creatine content. In diets with marginal levels of Thr dig, increased levels of total Gly+Ser resulted in lower ($P<0.05$) blood uric acid concentration. There was a quadratic effect ($P<0.05$) of total Gly+Ser levels for pectoral muscle creatine content, breast yield, and serum total protein concentrations, and the optimal level was estimated to be 1.69, 1.59, and 1.62% of total Gly+Ser, respectively. The abdominal fat content decreased linearly ($P<0.05$) with increasing Gly+Ser levels in diets. To evaluate the meat lipid oxidation, interaction ($P<0.05$) was observed between total Gly+Ser and Thr dig levels, and the lowest concentration of malondialdehyde (MDA) was found in diets with 1.58% Gly+Ser with adequate Thr level. Therefore, the dietary level of total Gly+Ser to improve performance in low crude protein diets is 1.48% with adequate levels of dig Thr (0.68%) and 1.58% with marginal levels of dig Thr for broiler chickens from 21 to 42 days of age.

Keywords: amino acids, glycine, sulfur amino acids, threonine, performance.

I – INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva de frango de corte ocupa posição de destaque na economia brasileira e mundial. Considerando a necessidade de aumentar a produtividade, com produto de qualidade e reduzir a excreção de nutrientes com potencial poluente para o meio ambiente, além da máxima redução dos custos, atenção especial deve ser dada à alimentação, que representa a maior parcela do custo de produção de aves. Nesse sentido, se justifica a incessante busca por programas nutricionais capazes de atender as exigências e que garanta o bom desempenho dos animais (Gous, 2017).

Na alimentação das aves, as dietas comumente são à base de milho e farelo de soja, ingredientes que não atendem o perfil de aminoácidos nas proporções necessárias para suprir totalmente as exigências dos animais, garantindo a manutenção e máxima deposição de proteína corporal (Bertechini, 2012). A suplementação dietética com aminoácidos sintéticos, além de corrigir essa deficiência de aminoácidos, é uma estratégia efetiva para reduzir a poluição ambiental ocasionada pela eliminação excessiva de nitrogênio e, conseqüentemente, possibilita a redução de proteína bruta da dieta (Ospina-Rojas et al., 2012).

Para que o desempenho zootécnico de aves alimentadas com dietas de baixa proteína não seja inferior ao daquelas que recebem uma dieta convencional, deve-se fornecer nitrogênio suficiente para síntese dos aminoácidos não essenciais, além do correto suprimento dos aminoácidos essenciais (Leeson e Summers, 2001). Dentre os aminoácidos, a glicina (Gli) tem favorecido o desempenho das aves, quando adicionada em dietas de reduzido teor proteico (Corzo et al., 2004; Dean et al., 2006; Ospina-Rojas et al., 2013).

A Gli é um aminoácido considerado não essencial para aves que participa de vários processos como a síntese de nucleotídeos, creatina, glutatona, porfirinas e ácido glicocólico, sendo necessária em maiores níveis durante a fase de crescimento (Corzo et al., 2004). Ainda, a suplementação deste aminoácido na dieta tem sido importante, uma vez que esta é precursora da molécula de ácido úrico associado à excreção de nitrogênio, além de melhorar o *turnover* proteico, disponibilizar nitrogênio para sintetizar outros aminoácidos endógenos, tais como serina (Ser) e glutatona (Sohail et al., 2003; Corzo et al., 2004) e, auxiliar no catabolismo da metionina (Met) com a formação de cisteína (Powell et al., 2011).

Os aminoácidos sulfurados também são de grande importância para a nutrição das aves e, a Met, um aminoácido essencial contendo enxofre, representa o primeiro aminoácido limitante nas dietas à base de milho e farelo de soja (Wen et al., 2014; Zhang et al., 2017). Além de participar no metabolismo das proteínas, a Met é precursora da cisteína, responsável pela formação da cistina (Cis), e justifica a exigência desses aminoácidos ser estudada em conjunto, sendo expressa como metionina+cistina (Met+Cis) (Bunchasak, 2009). Nesse sentido, níveis prontamente disponíveis de Gli, juntamente com níveis de Met, podem ser capazes de suprir a necessidade de Cis nos animais (Powell et al., 2011) e, ainda, poupar diretamente a Met de reações imprescindíveis do organismo em condições de alta demanda fisiológica, justificando a conexão metabólica destes dois aminoácidos (Akinde, 2014).

Assim, como a Ser, a treonina (Tre) também é um precursor metabólico de Gli, uma vez que o aumento da atividade das enzimas que degradam a Tre cataboliza a Tre em Gli, permitindo redução na necessidade de Gli+Ser na dieta (Corzo et al., 2009). Por outro lado, a suplementação de Gli reduz a degradação de Tre a Gli diminuindo a atividade das enzimas Tre aldolase e desidrogenase no fígado de frangos (Bernardino et al., 2011). Consequentemente, a suplementação de Gli aumenta a quantidade de Tre disponível para os processos fisiológicos de manutenção e crescimento (Ospina-Rojas et al., 2013).

Diante do exposto, objetivou-se estudar o efeito da suplementação de Gli sobre o desempenho, bioquímica sanguínea, creatina no músculo peitoral e estabilidade oxidativa da carne frangos de corte alimentados com dietas de reduzido teor proteico com variação nos níveis de Met+Cis e Tre digestíveis, no período de 21 a 42 dias de idade.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Redução da proteína bruta dietética

Há algum tempo, pesquisas desenvolvidas em aves têm dado ênfase na suplementação de aminoácidos sintéticos nas rações destes animais. Tal fato se deve aos custos consideráveis dos ingredientes presentes nas dietas, principalmente o farelo de soja e, da maior disponibilidade comercial dos aminoácidos sintéticos. Assim, desde que as exigências dos aminoácidos sejam atendidas, pode-se formular dietas com redução em seus teores de proteína bruta. Dentre os nutrientes na alimentação de frangos de corte, a proteína é considerada de extrema importância para o desenvolvimento do animal, sendo indispensável para a efetiva conversão muscular proteica (Costa et al., 2001).

Uma abordagem para minimizar o custo de produção é a manipulação dietética de nutrientes por meio de maior eficiência alimentar. Dietas com redução de proteína bruta e suplementadas com aminoácidos são capazes de melhorar o aproveitamento e consumo do nitrogênio, uma vez que ao melhorar a eficiência de sua utilização pelas aves, promove a diminuição na eliminação de nitrogênio nas excretas com potencial poluidor do ambiente (Suida, 2001). A proteína em excesso ou o desequilíbrio aminoacídico pode comprometer o desempenho das aves, por promover a liberação excessiva de aminoácidos na corrente sanguínea que, para serem metabolizados exigem alto gasto energético, sendo a energia desviada do acréscimo proteico tecidual para os processos de excreção do nitrogênio na forma de ácido úrico (Robertson et al., 2002; Naseem e King, 2018).

Afirmava-se que dietas contendo reduzido teor proteico poderiam ser oferecidas às aves sem causar prejuízos no desempenho das mesmas, desde que os requisitos de metionina, lisina e treonina, os três primeiros aminoácidos limitantes para frangos de corte, fossem atendidos. Contudo, um estudo desenvolvido por Berres et al. (2010) apontou que rações com reduzido teor proteico também requerem que as exigências de aminoácidos limitantes após a treonina, como valina, isoleucina, glicina e ácido glutâmico devem ser atendidas para que o desempenho das aves não seja afetado.

Em dietas contendo níveis normais ou altos de proteína bruta, os aminoácidos não essenciais podem ser sintetizados a partir de aminoácidos essenciais em excesso (Aftab et al., 2006). Em contrapartida, quando a redução do teor proteico está acima de três a quatro pontos percentuais, a síntese dos aminoácidos não essenciais ou nitrogênio pelas aves é limitada, e mesmo que a exigência de todos os aminoácidos essenciais seja

atendida, ainda há piora no crescimento e comprometimento da carcaça em frangos de corte (Bregendahl et al., 2002; Dean et al., 2006; Payne, 2007; Ospina-Rojas et al., 2014).

Estudos mostraram que a falta de suprimento de nutrientes pode retardar o desempenho produtivo e levar a distúrbios metabólicos (Bregendahl et al., 2002). Por exemplo, a restrição precoce de nutrientes pode resultar em subsequente retardo na taxa de crescimento de frangos de corte (Butzen et al., 2015). Além disso, as aves consumirão em excesso para atender as suas necessidades de nutrientes, levando ao aumento do acúmulo de gordura na carcaça e da taxa de conversão alimentar quando quantidades limitadas de nutrientes são suplementadas na dieta (Aftab et al., 2006).

Namroud et al. (2008) e Bregendahl et al. (2002) encontraram que a redução da proteína bruta de 23% para 18% nas dietas prejudicou o desempenho dos animais, mesmo sendo suplementadas com aminoácidos essenciais. Portanto, para prevenir os efeitos prejudiciais das restrições de nutrientes e manter o desempenho das aves, a suplementação de aminoácidos sintéticos, atingindo o equilíbrio correto entre aminoácidos essenciais e não essenciais nas aves, proporciona melhor utilização das proteínas presentes na dieta pelo animal.

1.2 Glicina: caracterização e funções

A Gli apresenta estrutura química simplificada (Figura 1) e é o aminoácido de menor peso molecular (75,07 g/mol), contudo, ela desempenha importantes funções no metabolismo dos animais (Wu, 2013). Participa na síntese de proteínas, DNA, RNA (Ngo et al., 1977), biossíntese de conjugados biliares (ácido glicocólico), creatina, grupo heme, purinas (Murray et al., 2003), serina, glutatona (Kidd e Kerr, 1996), entre outras. Todavia, sua principal função é contribuir com a excreção do nitrogênio, fornecendo dois átomos de carbono e um de nitrogênio para a síntese do ácido úrico (Stevens, 1996).

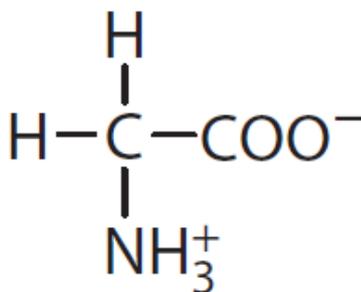


Figura 1. Estrutura química da glicina (Wu, 2013).

A Gli, além de participar da síntese da porfirina dentro da molécula de hemoglobina, também é essencial para a síntese do colágeno (Gregg e Rogers, 1986; Leeson e Summers, 2001). Esses dois componentes biológicos são os que mais exigem Gli para serem sintetizados, uma vez que são necessárias oito moléculas do aminoácido para produzir grupo heme e, representar um terço da estrutura total do colágeno (Gregg e Rogers, 1986; Meléndez-Hevia et al., 2009).

A Gli foi tradicionalmente classificada como um aminoácido nutricionalmente não essencial por sua síntese ser realizada de maneira endógena (Wu, 2010). Contudo, é sabido que a Gli produz efeitos positivos no organismo e, diversas pesquisas têm demonstrado que a Gli já não deve ser classificada como não essencial, mas sim semiessencial (Graber e Baker, 1973; Payne, 2007) ou até mesmo essencial (Powell et al., 2011).

De acordo com Jiang et al. (2005), a Gli é considerada como um aminoácido essencial para aves na fase de crescimento, visto que, quando em níveis insuficientes em dietas de baixo teor proteico é tida como fator limitante do desempenho dos animais submetidos a essas dietas (Powell et al., 2011).

Segundo Eklund et al. (2005), a Gli pode atuar no controle funcional hipotalâmico-pituitário e liberar o hormônio do crescimento em humanos. A maior liberação deste hormônio tem relação direta com o aumento da síntese proteica e, pode-se considerar a obtenção do melhor desempenho, pelo aumento do fornecimento de Gli às dietas de baixa proteína bruta para frangos de corte (Corzo et al., 2004). A falta recorrente de Gli pode prejudicar o crescimento, comprometer o sistema imunológico e, ainda, afetar a sanidade e o metabolismo de nutrientes nos animais (De Koning et al., 2003; Lewis et al., 2005).

1.2.1 Síntese de glicina a partir de seus precursores: serina e treonina

Segundo os autores Arnstein e Keglevic (1956) e Shemin (1950), a Gli pode ser formada a partir da Ser, via Gli hidroximetiltransferase (GHMT), e Tre através da via da Tre desidrogenase (Chao et al., 1953; Hartshorne e Greenberg, 1964; Dale, 1978). Além destes, a colina (Baker e Sugahara, 1970), o glioxilato e a hidroxiprolina também são capazes de sintetizar Gli no organismo dos animais (Meléndez-Hevia et al., 2009).

Numa reação catalisada pela enzima GHMT é possível sintetizar Gli a partir da Ser fornecida através da dieta e, nesta reação na qual a GHMT é a principal fonte de unidades de carbono primário, uma unidade de carbono é transferida da Ser para o tetrahidrofolato

(THF), produzindo Gli e tetrahydrofolato- C_1 (THF- C_1) (Stover et al., 1997). Em seguida, o THF- C_1 deve tornar disponível a unidade de carbono, permitindo que o THF possa ser reutilizado para síntese de Gli a partir da Ser (Mardinoglu et al., 2014) (Figura 2).

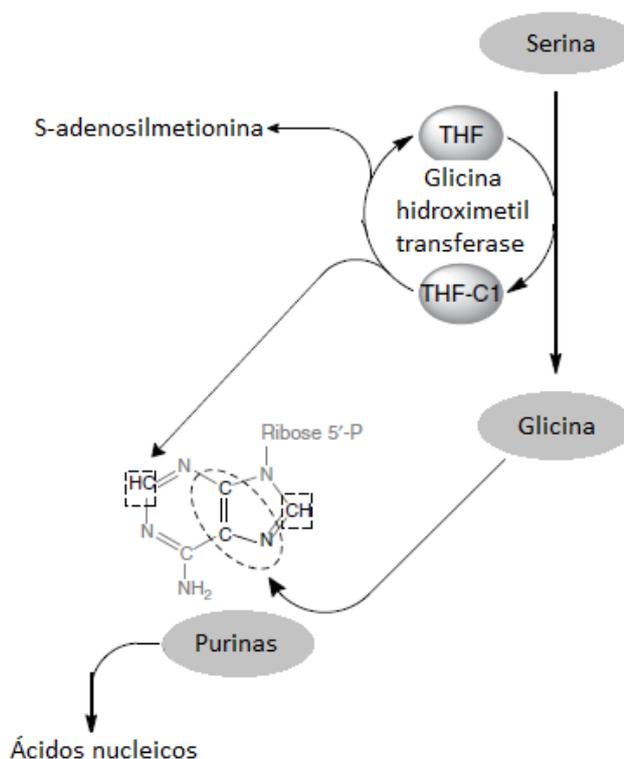


Figura 2. Síntese de glicina a partir da serina (adaptado de Badenhorst et al., 2013).

A segunda via principal de utilização da Gli envolve a produção de CO_2 e amônia (NH_4^+) pela reação reversa da enzima Gli sintase ou sistema de clivagem da Gli (Kikuchi et al., 2008). Segundo os mesmos autores, esta conversão enzimática é fisiologicamente relevante, pois fornece THF- C_1 e este é o principal doador de grupo metil, por meio de S-adenosilmetionina (SAM), para a biossíntese de moléculas como purinas e metionina.

Em dietas com baixo teor de proteína bruta, os aminoácidos não essenciais Gli e Ser associados, como equivalentes glicina, podem ocasionar retardo no crescimento dos frangos de corte (Dean et al., 2006; Awad et al., 2015). Isso ocorre em decorrência da resposta inconstante dos frangos aos equivalentes da Gli, além de ser alterada por precursores endógenos e por processos metabólicos que dissipam esses equivalentes glicina (Siegert e Rodehutschord, 2019).

A Tre também pode favorecer a síntese de Gli e, neste processo estão envolvidas as enzimas Tre desidrogenase e Tre aldolase. A maior atividade da Tre desidrogenase ocorre

no pâncreas e da Tre aldolase ocorre no fígado e músculo, indicando que estas enzimas são as mais importantes na degradação da Tre em frangos (Davis e Austic, 1982).

A ação da enzima Tre desidrogenase e Tre aldolase tem como produto a acetil-CoA + Gli e Gli + acetaldeído, respectivamente (House et al., 2001) (Figura 3). A Gli obtida a partir de ações enzimáticas que oxidam a Tre, pode ser utilizada como fonte energética, na excreção de nitrogênio (Akagi e Ohhori, 2004) ou na síntese proteica de Ser, sais biliares e glutatona (Bernardino et al., 2011; Shirisha et al., 2018). É possível diminuir ainda mais a quantidade de Tre disponível para a síntese proteica mediante qualquer desvio deste aminoácido para rotas de completa oxidação, produção de glicose ou Gli (Egan et al., 1983).

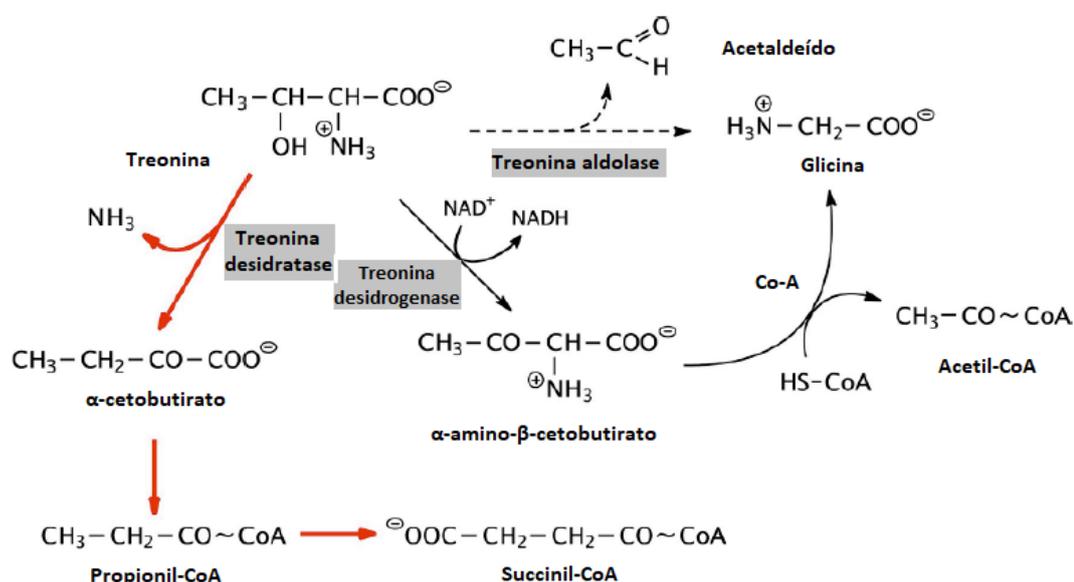


Figura 3. Síntese de glicina a partir da treonina (adaptado de Meléndez-Hevia et al., 2009).

Frente a deficiência de Gli no organismo, a atividade das enzimas Tre desidrogenase e aldolase sobre a Tre é aumentada a fim de obter Gli, uma vez que a molécula deste aminoácido é necessária para a síntese do ácido úrico (Bernardino et al., 2011). Nas aves, a excreção de nitrogênio ocorre na forma de ácido úrico.

Embora haja evidências de que a Tre é uma fonte pobre de Gli (Malinovsky, 2017), ainda assim, Corzo et al. (2009) demonstraram ser possível a obtenção de Gli através da Tre.

1.2.2 Importância da glicina para a síntese da creatina

A creatina executa papel de extrema importância, fornecendo energia celular, em especial, às fibras musculares e cérebro (Wyss e Kaddurah-Daouk, 2000; Gualano et al., 2016). Na ausência de oxigênio, a creatina, ao sofrer fosforilação reversível pela creatina quinase atua transportando ATP para regiões que é utilizada (Andres et al., 2008; Garbati et al., 2013).

A síntese da creatina pode ser realizada pelo organismo animal, mais especificamente no pâncreas, fígado e rins, pela ação de aminoácidos como a Gli, arginina (Arg) e Met (Brosnan et al., 2009). Além dos três aminoácidos, a síntese ocorre mediante a presença de três enzimas, sendo elas: arginina:glicina amidinotransferase (AGAT), metionina adenosiltransferase (MAT) e guanidinoacetato N-metiltransferase (GAMT) (Brosnan et al., 2011).

A síntese de uma molécula de creatina é um processo simples e que apresenta duas etapas (Figura 4). Na primeira etapa, o grupo amidino da Arg é reversivelmente transferido para a Gli para formar ornitina e ácido guanidinoacético (GAA) por ação da enzima AGAT (Deminice et al., 2009; Brosnan et al., 2011; Dilger et al., 2013). Em seguida, o ATP ativa a Met para que haja a formação da S-adenosilmetionina (SAM) (Deminice et al., 2009). A principal função da SAM é doar grupos metil para a síntese de compostos metilados como, por exemplo, a creatina (Wyss e Kaddurah-Daouk 2000; Deminice et al., 2009).

A segunda etapa é caracterizada por uma reação irreversível catalisada pela enzima GAMT, na qual um grupo metil da SAM é transferido para o GAA, produzindo S-adenosilhomocisteína (SAH) e creatina (Wyss e Kaddurah-Daouk, 2000; Brosnan et al., 2011). Posteriormente, a creatina é liberada pelo fígado e captada, principalmente, pelo tecido muscular, e é fosforilada pela enzima creatina quinase para ser estocada na forma de fosfocreatina (Da Silva et al., 2014).

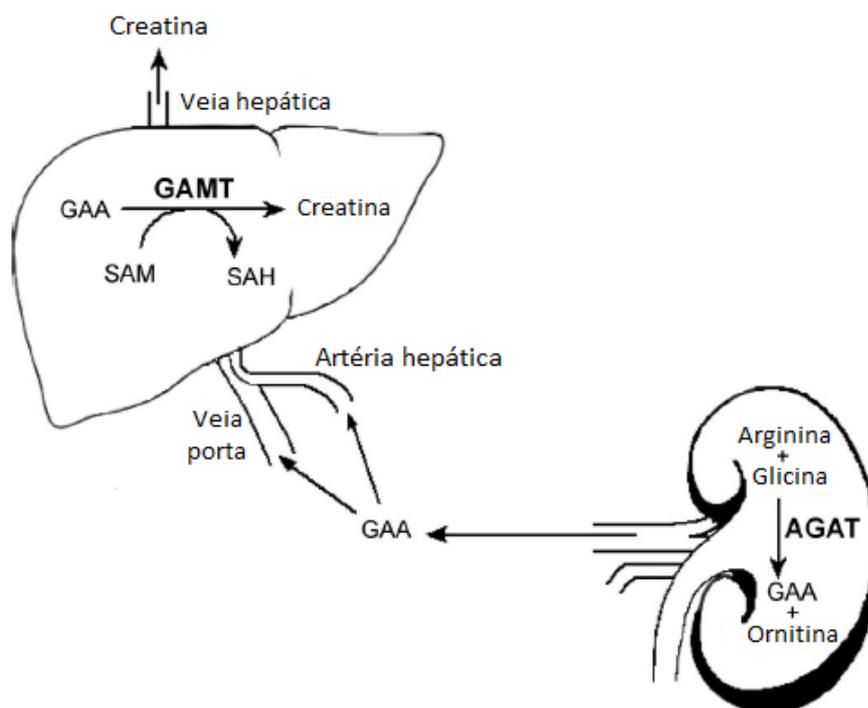


Figura 4. Biossíntese da creatina (adaptado de Silva et al., 2009).

O sistema de creatina e fosfocreatina atua como fonte energética muscular, uma vez que este impede o esgotamento de ATP da célula ao ser capaz de transferir grupos fosfato utilizados para a ressíntese do ATP a partir do ADP (Allen, 2012).

Em mamíferos, tanto a Arg quanto a Gli podem ser sintetizadas pelo próprio organismo, contudo, especialmente animais jovens em crescimento requerem que Arg e Gli sejam suplementadas na dieta (Wang et al., 2013). Por outro lado, nas aves, as duas etapas para a síntese da creatina ocorrem no fígado (Wyss e Kaddurah-Daouk, 2000) e, tanto a creatina produzida pelo organismo quanto a advinda da dieta, adentram a corrente sanguínea (Da Silva et al., 2014) e, posteriormente, por meio de um transportador dependente de sódio e potássio é conduzida para o interior das células musculares (Deminice et al., 2009).

A SAM apresenta fundamental importância uma vez que é doadora de grupos metil para diversos substratos endógenos em reações dependentes de metiltransferases (Lu e Mato, 2012). A disponibilidade da SAM é dependente do metabolismo de 1-carbono, que por sua vez depende dos níveis de folato, vitamina B₁₂, vitamina B₂ e precursores de unidades de 1-carbono como, glicina, serina, colina, histidina e triptofano (Brosnan et al., 2015). Após a transferência de grupo metil, a SAM é convertida a SAH e, em seguida, esta é hidrolisada a homocisteína (Huang et al., 2017).

Segundo Finkelstein (1998), a homocisteína integra o grupo dos aminoácidos sulfurados, sendo produzida no decorrer do metabolismo da Met. A homocisteína, quando encontrada em elevadas concentrações, entra em processo de auto-oxidação e induz a formação de espécies reativas de oxigênio, e, é capaz de causar danos às células endoteliais (Chen et al., 2000).

Devido ao fato da síntese de creatina e a formação da homocisteína estarem interligadas por suas vias metabólicas, algumas pesquisas têm demonstrado que a suplementação de Gli na dieta é capaz de reduzir a demanda de metilação ocasionando decréscimo dos níveis de homocisteína (Fukada et al., 2006; Sim et al., 2016).

1.3 Treonina: caracterização e funções

Identificada na década de 1930, a Tre (ácido α -amino- β -hidróxi-n-butírico, $C_4H_9O_3N$) recebeu esse nome pela sua semelhança com a estrutura química da treose (De Blas et al., 2000) (Figura 5). A Tre é definida como um aminoácido polar e neutro, de cadeia hidrofílica e baixo peso molecular (Berres, 2007). Em virtude de seu grupo hidroxila, este aminoácido é capaz de formar ligações com água e oxigênio e, juntamente a contribuição da Ser, proporciona a solubilidade das proteínas (De Blas et al., 2000).

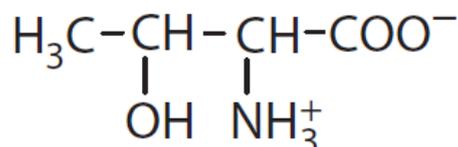


Figura 5. Estrutura química da treonina (Wu, 2013).

Por apresentar dois átomos de carbono assimétricos em sua estrutura, ela pode desenvolver diferentes estereo-isômeros, existindo, assim, a possibilidade de quatro isômeros ópticos: L- e D-treonina e L- e D-alotreonina (De Blas et al., 2000). Contudo, devido ao fato de não dispor de um complexo enzimático específico, a Tre não pode ser transaminada no trato digestivo, impedindo a transformação dos isômeros D em isômeros L (Berres, 2007). Consequentemente, os animais ficam impossibilitados de recorrer a forma D-isômero e alfa-cetoácido, já que a D-treonina não é eficiente biologicamente (Fuller, 1994). Assim, em escala comercial e, de forma sintética, só se encontra o isômero L-treonina (De Blas et al., 2004). De acordo com Leeson e Summers (2001), a

digestibilidade da Tre varia de 98 a 99% e sua equivalência proteica se situa próximo de 74%.

Encontrada em quantidades consideráveis no coração, músculo esquelético e sistema nervoso central, a Tre desempenha atribuições diversas no organismo animal, atuando na síntese proteica e manutenção do *turnover* proteico corporal, no desenvolvimento e funcionamento do trato gastrointestinal e, pelo fato de fazer parte das moléculas de algumas imunoglobulinas, atua também na função imunológica (Neto, 2010).

Além das funções acima citadas, a Tre tem participação na formação do colágeno e da elastina, além de ser fundamental no desenvolvimento das penas, colaborando em 4 a 5% de seu conteúdo de proteína bruta (Kidd e Kerr, 1996). A partir de seu catabolismo pode gerar numerosos produtos metabólicos importantes, como Gli, acetil-CoA, succinil-CoA e piruvato (Nelson e Cox, 2009). Diferentemente da Gli e da Ser que podem ser sintetizadas a partir da Tre, esta não pode ser sintetizada a partir de outros aminoácidos, portanto, a suplementação dietética de Tre para aves é necessária.

A Tre é um dos dez aminoácidos essenciais para as aves, sendo o terceiro aminoácido limitante na síntese de proteína muscular para frangos de corte, após os aminoácidos sulfurados e lisina (Berres et al., 2007, Corzo, et al., 2009). Devido a proporção de demanda de Tre para manutenção ser alta em relação aos demais aminoácidos (Moughan e Fuller, 2003), uma vez que apresenta alta taxa de *turnover* proteico e relativa abundância nas secreções endógenas (saliva, descamação de células do trato gastrointestinal e secreções enzimáticas), a Tre tem maior importância nas fases de crescimento e terminação (Kidd e Kerr, 1996). Estima-se que, de toda Tre consumida pelas aves, o intestino utiliza a maior parte, especialmente para as funções de manutenção, como na síntese de mucina (Corzo et al., 2009). A mucina, por sua vez, é uma glicoproteína composta por treonina, serina e prolina e compõe, juntamente com a água, o muco, funcionando como barreira de proteção contra a ação de enzimas digestivas, além de danos físicos causados por patógenos da digesta (Bortoluzzi et al., 2017).

Assim, como nas mucinas, um elevado nível de Tre pode ser encontrado nos anticorpos do sistema imunológico de aves, coelhos, humanos e suínos. Por isso, este aminoácido provavelmente é considerado o primeiro limitante para síntese de imunoglobulinas A, e constitui de 7 a 11% do total das proteínas do sistema imune destes seres vivos (Zhang et al., 2017).

Uma quantidade insuficiente de Tre na dieta pode acarretar diversas alterações negativas, como mudanças no crescimento, acúmulo de gordura no fígado, distúrbios gástricos, intestinais e imunológicos, ocasionando redução na disponibilidade para síntese de proteína muscular e prejudicando o desenvolvimento animal (Bortoluzzi et al., 2017).

Assim, como a deficiência, o excesso de Tre também é considerado prejudicial ao organismo animal. Em razão do aumento da concentração de Tre no sangue, a oxidação da Tre excedente e a secreção de serotonina no cérebro são prejudicadas (Wu, 2010), diminuindo, a ingestão de alimentos. Deste modo, devido ao excesso de Tre, a exigência deste aminoácido para máximo crescimento de tecido magro será maior do que a necessária para máximo ganho de peso (De Blas et al., 2004).

1.3.1 Metabolismo da treonina

Alguns processos estão envolvidos no metabolismo da Tre, como a síntese e degradação de proteínas; a incorporação do nitrogênio do aminoácido no processo de síntese de ácido úrico; a conversão do esqueleto carbônico em glicose, CO₂ e H₂O, ácidos graxos, corpos cetônicos ou energia; e a formação de derivados não proteicos (Kidd e Kerr, 1996). Dependendo da rota metabólica da Tre, as enzimas envolvidas no seu metabolismo são Tre desidratase, Tre desidrogenase e Tre aldolase (Bernardino et al., 2011). Dentre as enzimas citadas, a Tre desidrogenase apresenta maior atividade no pâncreas, enquanto a Tre desidratase e aldolase no fígado e músculo (Davis e Austic, 1982).

O esqueleto de carbono resultante do catabolismo da L-treonina, a partir da ação da Tre desidratase gera dois produtos glicogênicos, o piruvato e propionato que podem ser usados para produção de energia a fim de satisfazer as necessidades metabólicas (Kidd e Kerr, 1996).

Por outro lado, a ação da Tre desidrogenase e da Tre aldolase contribuem na síntese de Gli (Corzo et al., 2009). A Tre desidrogenase é encontrada na matriz mitocondrial e forma um complexo solúvel com o 2-amino-3-oxibutirato CoA-ligase, capaz de catalisar a conversão do 2-amino-3-oxibutirato em acetil-CoA e Gli. Entretanto, quando o cofator CoA não está disponível na reação, a aminoacetona é produzida como produto alternativo (Davis e Austic, 1997). Já a enzima Tre aldolase, localizada no citosol, degrada a Tre em Gli e acetaldeído, a partir da utilização do piridoxal fosfato como cofator. Assim, como a

enzima GHMT, a Tre aldolase age catalisando a interconversão entre a Gli e Ser (Kidd e Kerr, 1996).

1.4 Aminoácidos sulfurados: caracterização e funções

A Met, cuja fórmula química foi identificada como ácido metil-tiol α -aminobutírico em 1928 (Figura 6), é um aminoácido sulfurado essencial e o primeiro limitante nas dietas das aves, juntamente com a cistina. Isso porque os principais ingredientes das rações, o milho e farelo de soja apresentam baixas quantidades de aminoácidos sulfurados (Wen et al., 2014). Além disso, a Met desempenha papel importante na síntese de proteínas (Corzo et al., 2006; Bunchasak, 2009), e, também é considerado uma fonte de enxofre, permitindo a doação desse elemento para síntese de outros componentes químicos (Brosnan e Brosnan, 2006).

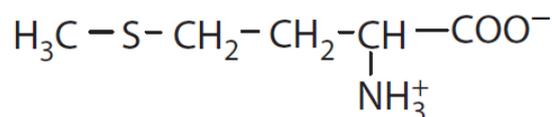


Figura 6. Estrutura química da metionina (Wu, 2013).

A Met sintética pode ser utilizada nas dietas de frangos de corte a partir de quatro fontes comerciais principais, sendo elas a DL-Met em pó ou em sua forma líquida como sal de sódio (DL-Met-Na), a Met hidróxi-análoga (MHA) em pó, como sal de cálcio (MHA-Ca) ou na forma líquida como ácido livre (MHA-FA) (Leite et al., 2009). Bunchasak (2009) e Willke (2014) afirmam que as formas DL-Met em pó e o análogo MHA-FA, produzidas especialmente através da síntese química a partir de metilmercaptano, acroleína (um aldeído de carbono) derivado de propileno (um derivado do petróleo) e cianeto de hidrogênio são as fontes mais utilizadas na produção industrial.

Outra importante função da Met é participar da biossíntese de substâncias, como creatina, poliaminas, epinefrina e melatonina (Ren et al., 2013), doar seu grupo metil que é utilizado em reações metabólicas, como na síntese de colina e betaína, assim, como estimular o catabolismo oxidativo de ácidos graxos por meio da síntese de carnitina, influenciando, o metabolismo lipídico (Corzo et al., 2006).

Além disso, este aminoácido auxilia na proteção das células contra o estresse oxidativo, por ser precursor de um antioxidante celular essencial para o organismo animal, a glutatona (Bunchasak, 2009). Este também influencia na regulação da divisão

celular, permitindo a recuperação de proteínas oxidadas, evitando a aglomeração de proteínas danificadas que podem prejudicar a saúde animal, afetando o desenvolvimento dos tecidos e, conseqüentemente, a qualidade dos produtos cárneos (Li et al., 2007; Tesseraud et al., 2009).

A fim de minimizar os efeitos das espécies reativas ao oxigênio (ROS) em ambientes de altas temperaturas, a Met cristalina incorporada à dieta vem sendo estudada, uma vez que este aminoácido pode ser convertido em cisteína que, por sua vez, pode influenciar no sistema de defesa, atuando no processo de desintoxicação de ROS por sua ação antioxidante no organismo (Bolek e Persia, 2013).

Considerando que, através de um processo irreversível, a Met pode ser precursora da cisteína e que ambos participam da síntese proteica corporal, como na deposição de pele, penas e pelos, estes aminoácidos são bastante exigidos e imprescindíveis para as aves (Tesseraud et al., 2009; Willke, 2014). Ainda, os dois aminoácidos participam da síntese de taurina que, em conjunto com a Gli, é considerado um transmissor neuroinibidor (Brosnan e Brosnan, 2006).

Presente principalmente em proteínas estruturais como colágeno ou queratina em pele, cabelo, penas e unhas (Willke, 2014), a cisteína é um aminoácido não essencial que pode ser oxidado com facilidade em seu dímero Cis, devido sua instabilidade molecular em solução (Tesseraud et al., 2009). Portanto, as exigências de Met+Cis são consideradas em conjunto na formulação das dietas como aminoácidos sulfurados (Bunchasak, 2009). Como sendo o primeiro aminoácido limitante em rações à base de milho e farelo de soja para aves, a Met+Cis influenciam nos índices produtivos das aves, quando suplementadas em dietas permitem a utilização mais eficiente da proteína, possibilitando alcançar bom desempenho animal (Zhang et al., 2017).

A diminuição dos níveis de proteína bruta dietética e o conseqüente decréscimo do custo de produção foi possível, pois aminoácidos essenciais estão presentes na formulação das rações. Contudo, esses aminoácidos podem se tornar essenciais, já que essa redução proteica ocasiona a diminuição de substrato para o organismo animal na produção dos aminoácidos não essenciais. Desse modo, destaca-se a importante função de Met+Cis no metabolismo animal, uma vez que níveis insuficientes destes aminoácidos em dietas podem limitar tanto o ganho de peso, quanto a eficiência alimentar e o teor de proteína na carcaça, acarretando em aumento no consumo de ração, utilizando a proteína para gerar mais energia na deposição de gordura corporal (Moran Jr., 1994).

1.4.1 Metabolismo dos aminoácidos sulfurados

Responsável pela formação de diversos compostos com funções fisiológicas, a Met possui um metabolismo complexo e extremamente importante no organismo dos animais (Figura 7). O seu ciclo pode ser dividido em três etapas distintas: metilação (conversão da Met em homocisteína), remetilação (conversão da homocisteína em Met) e, transulfuração (conversão da homocisteína em cisteína) (Stipanuk, 2004; Pillai et al., 2006; Oliveira Neto, 2014).

O processo de metilação, como o próprio nome já diz, envolve a transferência de grupos metil (CH_3). Em reação catalisada pela enzima metionina-adenosil-transferase (MAT) ocorre a transferência da adenosina, proveniente de uma molécula de adenosina trifosfato (ATP) para a Met dietética, transformando-a na sua forma ativa, a S-adenosilmetionina (SAM) (Oliveira Neto, 2014). Posteriormente, em reação favorecida pela metiltransferase, a SAM transfere seu grupo metil para um aceptor, formando a S-adenosil-homocisteína (SAH) (Saeed et al., 2017). Segundo Brosnan e Brosnan (2006), a SAM, por fornecer grupo metil, é considerada o cofator mais importante na etapa de metilação, sendo essencial para vários processos metabólicos, como biossíntese de componentes celulares e na síntese de poliaminas. No final desse processo, a hidrólise da SAH, gerada nas reações de metilação pela enzima adenosil-homocisteína-hidroxilase (SAHH), leva à formação de homocisteína e adenosina (Stipanuk, 2004).

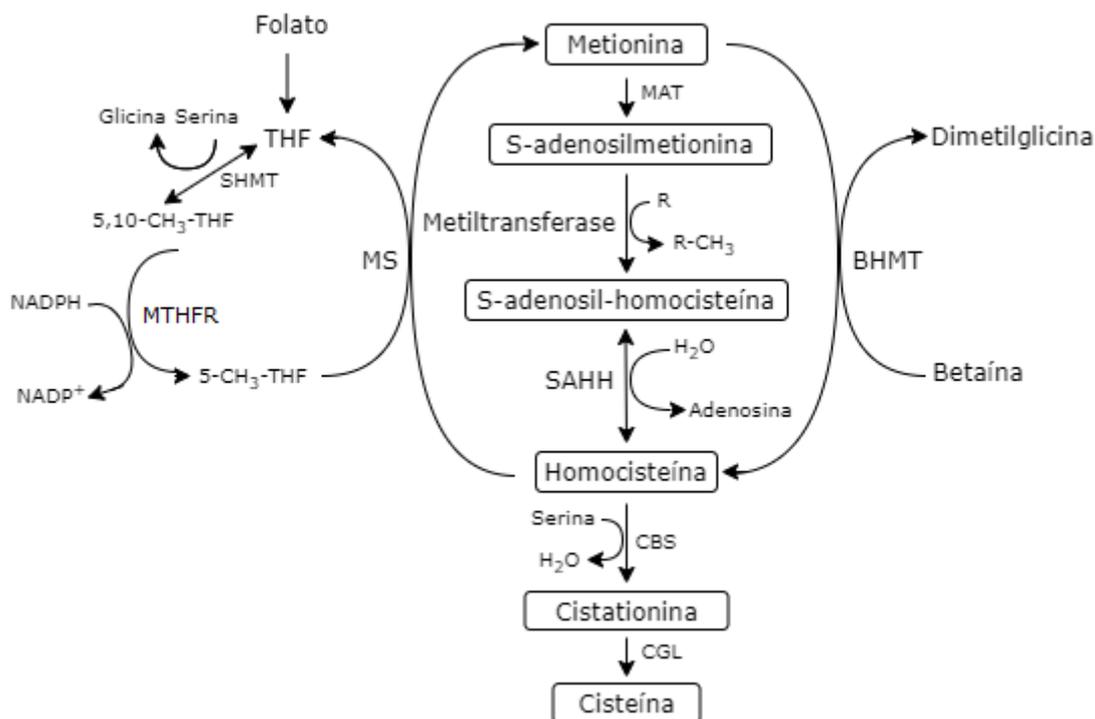


Figura 7. Metabolismo da metionina (adaptado e expandido de Barroso et al., 2017).

No processo de remetilação, a homocisteína, biossintetizada a partir da Met, ao receber um grupo metil pode retornar à Met mediante duas vias, sendo uma delas o ciclo do folato, em que o N^5 -metiltetraidrofolato, ao sofrer ação da metionina sintase (MS), enzima dependente de vitamina B_{12} , libera um grupo metil para a molécula de homocisteína para formação de Met e de tetraidrofolato (THF) que, depois de oxidado, atua na síntese de nucleotídeos (Nelson e Cox, 2009). Em uma reação catalisada pela enzima serina-hidroximetil-transferase (SHMT), a Ser perde seu carbono e é convertida em Gli, produzindo N^5 , N^{10} -metilenotetraidrofolato. Em seguida, em reação irreversível, a enzima N^5 , N^{10} -metileno-tetraidrofolato-redutase (MTHFR), utilizando o NADH como doador de elétrons converte o N^5 , N^{10} -metilenotetraidrofolato em N^5 -metiltetraidrofolato (Nelson e Cox, 2009). A outra via é a da betaína que, ao perder seu grupo metil por ação da enzima betaína-homocisteína-metiltransferase (BHMT), resulta na formação de Met e dimetilglicina (Pillai et al., 2006; Halsted e Medici, 2012). Todavia, a via de metilação da homocisteína a partir da betaína é considerada menos eficiente, provavelmente em decorrência da distribuição de BHMT ser limitada no organismo (Pillai et al., 2006).

No processo de transulfuração, a homocisteína transfere seu grupo de enxofre para a Ser, obtendo como produto uma molécula de cisteína (Figura 7). Na primeira fase desta via, a homocisteína é transformada em cistationina ao se condensar com a Ser por ação

da enzima cistationa β -sintase (CBS) (Pillai et al., 2006). Posteriormente, a enzima cistationa γ -liase (CGL) hidrolisa a cistationina, produzindo cisteína, que é fundamental para a formação de vários componentes corporais como a Cis (Stipanuk, 2004; Nelson e Cox, 2009).

Segundo Oliveira Neto (2014), a Cis é obtida através de um mecanismo de transulfuração, um processo que não pode ser revertido, justificando o fato de as recomendações nutricionais serem expressas como Met+Cis. Embora a cisteína seja considerada um aminoácido não essencial, cuja disponibilidade é dependente da ingestão de Met, ou seja, esta pode ser convertida em cisteína para suprir a sua deficiência, o contrário não ocorre (Oliveira Neto, 2014). Portanto, uma vez que a Cis não supre as necessidades dietéticas de Met, além de garantir o mínimo de aminoácidos sulfurados na dieta, é recomendado manter o mínimo de Met, evitando que prejuízos sejam causados aos processos fisiológicos e ao desempenho do animal (Stipanuk, 2004; Nelson e Cox, 2009).

1.5 Referências

- Aftab, U., M. Ashraf, and Z. Jiang. 2006. Low protein diets for broilers. *World's Poultry Science Journal* 62:688–701.
- Akagi, S., K. Sato, and S. Ohmori. 2004. Threonine metabolism in Japanese quail liver. *Amino Acids* 26:235–242.
- Akinde, D. O. 2014. Amino acid efficiency with dietary glycine supplementation: Part 1. *World's Poultry Science Journal* 70:461–474.
- Allen, P. J. 2012. Creatine metabolism and psychiatric disorders: Does creatine supplementation have therapeutic value?. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 36:1442–1462.
- Andres, R. H., A. D. Ducray, U. Schlattner, T. Wallimann, and H. R. Widmer. 2008. Functions and effects of creatine in the central nervous system. *Brain Research Bulletin* 76:329–343.
- Arnstein, H. R., and D. Keglevic. 1956. A comparison of alanine and glucose as precursors of serine and glycine. *Biochemical Journal* 62:199–205.
- Awad, E. A., I. Zulkifli, A. F. Soleimani, and T. C. Loh. 2015. Individual non-essential amino acids fortification of a low-protein diet for broilers under the hot and humid tropical climate. *Poultry Science* 94:2772–2777.
- Badenhorst, C. P. S., R. Van Der Sluis, E. Erasmus, and A. A. Van Dijk. 2013. Glycine conjugation: importance in metabolism, the role of glycine N-acyltransferase, and factors that influence interindividual variation. *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology* 9:1139–1153.
- Baker, D. H., and M. Sugahara. 1970. Nutritional investigation of the metabolism of Glycine and its precursors by chicks fed a crystalline amino acid diet. *Poultry Science* 49:756–760.
- Barroso, M., D. E. Handy, and R. Castro. 2017. Link between hyperhomocysteinemia and hypomethylation. *Journal of Inborn Errors of Metabolism and Screening* 5:1–5.

- Bernardino, V. M. P., L. F. T. Albino, H. S. Rostagno, M. D. A. Oliveira, F. Q. Mendes, C. M. C. Pereira, I. M. Ferreira, and R. C. Maia. 2011. Effect of different digestible threonine: digestible lysine ratios, with or without glycine supplementation, on the enzymatic activity in broiler chicks. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40:2732–2738.
- Berres, J., S. L. Vieira, W. A. Dozier, M. E. M. Cortes, R. de Barros, E. T., Nogueira and M. Kutschenko. 2010. Broiler responses to reduced-protein diets supplemented with valine, isoleucine, glycine, and glutamic acid. *The Journal of Applied Poultry Research*, 19:68–79.
- Berres, J., S. L. Vieira, J. L. B. Coneglian, A. R. Olmos, D. M. Freitas, T. C. K. Bortolini, and G. X. Silva. 2007. Respostas de frangos de corte a aumentos graduais na relação entre treonina e lisina. *Ciência Rural* 37:510–517.
- Bertechini, A. G. 2012. *Nutrição de monogástricos*. 2.ed. Lavras: Editora UFLA 1:373.
- Bolek, K. J., and M. E. Persia. 2013. The effect of chick methionine status on broiler performance and physiological response to acute and chronic heat stress. *Animal Industry Report* 659:57.
- Bortoluzzi, C., S. J. Rochell, and T. J. Applegate. 2017. Threonine, arginine, and glutamine: Influences on intestinal physiology, immunology, and microbiology in broilers. *Poultry Science* 97:937–945.
- Bregendahl, K., J. L. Sell, and D. R. Zimmerman. 2002. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science* 81:1156–1167.
- Brosnan, J. T., and M. E. Brosnan. 2006. The sulfur-containing amino acids: an overview. *Journal of Nutrition* 136:1636S–1640S.
- Brosnan, J. T., R. P. Da Silva, and M. E. Brosnan. 2011. The metabolic burden of creatine synthesis. *Amino Acids* 40:1325–1331.
- Brosnan, J. T., E. P. Wijekoon, L. Warford-Woolgar, N. L. Trottier, M. E. Brosnan, J. A. Brunton, and R. F. Bertolo. 2009. Creatine synthesis is a major metabolic process in neonatal piglets and has important implications for amino acid metabolism and methyl balance. *The Journal of Nutrition* 139:1292–1297.
- Brosnan, M. E., L. MacMillan, J. R. Stevens, and J. T. Brosnan. 2015. Division of labour: how does folate metabolism partition between one-carbon metabolism and amino acid oxidation?. *Biochemical Journal* 472:135–146.
- Bunchasak, C. 2009. Role of dietary methionine in poultry production. *Poultry Science* 46:169–179.
- Butzen, F. M., M. M. Vieira, A. M. Kessler, P. C. Aristimunha, F. R. Marx, L. Bockor, and A. M. L. Ribeiro. 2015. Early feed restriction in broilers. II: Body composition and nutrient gain. *The Journal of Applied Poultry Research* 24:198–205.
- Chao F. C., C. C. Delwiche, and D. M. Greenberg. 1953. Biological precursors of glycine. *Biochimica et Biophysica Acta* 10:103–109.
- Chen, N., Y. Liu, C. D. Greiner, and J. L. Holtzman. 2000. Physiologic concentrations of homocysteine inhibit the human plasma GSH peroxidase that reduces organic hydroperoxides. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 136:58–65.
- Corzo, A., M. Kidd, W. Dozier, L. Shack, and S. Burgess. 2006. Protein expression of pectoralis major muscle in chickens in response to dietary methionine status. *British Journal of Nutrition* 95:703–708.
- Corzo, A., M. T. Kidd, D. J. Burnham, and B. J. Kerr. 2004. Dietary glycine need of broiler chicks. *Poultry Science* 83:1382–1384.
- Corzo, A., M. T. Kidd, W. A. Dozier III, and B. J. Kerr. 2009. Dietary glycine and threonine interactive effects in broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 18:79–84.

- Costa, F. G. P., H. S. Rostagno, L. F. T. Albino, P. C. Gomes, R. S. Toledo, and J. G. D. Vargas Junior. 2001. Níveis dietéticos de proteína bruta para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 42 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30:1498–1505.
- Da Silva, R. P., K. Clow, J. T. Brosnan, and M. E. Brosnan. 2014. Synthesis of guanidinoacetate and creatine from amino acids by rat pancreas. *British Journal of Nutrition* 111:571–577.
- Da Silva, R. P., I. Nissim, M. E. Brosnan, and J. T. Brosnan. 2009. Creatine synthesis: hepatic metabolism of guanidinoacetate and creatine in the rat in vitro and in vivo. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 296:E256–E261.
- Dale, R. A. 1978. Catabolism of threonine in mammals by coupling of L-threonine 3-dehydrogenase with 2-amino-3-oxobutyrate-CoA ligase. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 544:496–503.
- Davis, A. T., and R. E. Austic. 1982. Threonine imbalance and the threonine requirement of the chicken. *Journal of Nutrition* 112:2170–2176.
- De Blas, C., A. I. Garcia, and R. Carabaño. 2000. Necesidades de treonina en animales monogástricos. XVI Curso de Especialización – Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal: FEDNA 1:1–24.
- De Blas, C., A. I. Garcia, and R. Carabaño. 2004. Necesidades de treonina en animales monogástricos. In: Curso de Especialización Necesidades de Treonina en Animales Monogástricos. Universidad Politécnica de Madrid, 22p.
- De Koning, T. J., K. Snell, M. Duran, R. Berger, B. T. Poll-The, and R. Surtees. 2003. L-serine in disease and development. *Biochemical Journal* 371:653–661.
- Dean, D. W., T. D. Bidner, and L. L. Southern. 2006. Glycine supplementation to low protein, amino acid-supplemented diets supports optimal performance of broiler chicks. *Poultry Science* 85:288–296.
- Dean, D. W., T. D. Bidner, and L. L. Southern. 2006. Glycine supplementation to low protein, amino acid-supplemented diets supports optimal performance of broiler chicks. *Poultry Science* 85:288–296.
- Deminice, R., G. V. Portari, H. Vannucchi, and A. A. Jordao. 2008. Effects of creatine supplementation on homocysteine levels and lipid peroxidation in rats. *British Journal of Nutrition* 102:110–116.
- Dilger, R. N., K. Bryant-Angeloni, R. L. Payne, A. Lemme, and C. M. Parsons. 2012. Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks. *Poultry Science* 92:171–177.
- Egan, A. R., J. C. MacRae, and C. S. Lamb. 1983. Threonine metabolism in sheep: 1. Threonine catabolism and gluconeogenesis in mature blackface wethers given poor quality hill herbage. *British Journal of Nutrition* 49:373–383.
- Eklund, M., E. Bauer, J. Wamatu, and R. Mosenthin. 2005. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutrition Research Reviews* 18:31–48.
- Finkelstein, J. D. 1998. The metabolism of homocysteine: pathways and regulation. *European Journal of Pediatrics* 157:S40–S44.
- Fukada, S., Y. Shimada, T. Morita, and K. Sugiyama. 2006. Suppression of methionine-induced hyperhomocysteinemia by glycine and serine in rats. *Bioscience Biotechnology Biochemistry* 70:2403–2409.
- Fuller, M. F., 1994. Amino acid requirements for maintenance, body protein accretion and reproduction in pigs. In: D’Mello J. P. F. *Amino Acids in Farm Animal Nutrition*, CAB International, p.155–184.

- Garbati, P., A. Salis, E. Adriano, A. Galatini, G. Damonte, M. Balestrino, and E. Millo. 2013. A new method to synthesize creatine derivatives. *Amino Acids* 45:821–833.
- Gous, R. M. 2017. Nutritional and environmental effects on broiler uniformity. *World's Poultry Science Journal* 74:21–34.
- Graber, G., and D. H. Baker. 1973. The essential nature of glycine and proline for growing chickens. *Poultry Science* 52:892–896.
- Gregg, K., and G. E. Rogers. 1986. Feather keratin: composition, structure and biogenesis. In *Biology of the integument*. Springer, Berlin, Heidelberg 1:666–694.
- Gualano, B., E. S. Rawson, D. G. Candow, and F. D. Chilibeck. 2016. Creatine supplementation in the aging population: effects on skeletal muscle, bone and brain. *Amino Acids* 48:1793–1805.
- Halsted, C. H., and V. Medici. 2012. Aberrant hepatic methionine metabolism and gene methylation in the pathogenesis and treatment of alcoholic steatohepatitis. *International Journal of Hepatology* 2012:1–7.
- Hartshorne, D., and D. M. Greenberg. 1964. Studies on liver threonine dehydrogenase. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 105:173–178.
- House, J. D., B. N. Hall, and J. T. Brosnan. 2001. Threonine metabolism in isolated rat hepatocytes. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 281:300–307.
- Huang, X., X. Lv, H. Song, Q. Yang, Y. Sun, W. Zhang, X. Yu, S. Dong, W. Yao, Y. Li, Q. Wang, B. Wang, L. Ma, G. Huang, and Y. Gao. 2017. The relationship between S-adenosylhomocysteine and coronary artery lesions: A case control study. *Clinica Chimica Acta* 471:314–320.
- Jiang, Q., P. W. Waldroup, and C. A. Fritts. 2005. Improving the utilization of diets low in crude protein for broiler chicken. 1. Evaluation of special amino acid supplementation to diets low in crude protein. *International Journal of Poultry Science* 4:115–122.
- Kidd, M. T., and B. J. Kerr. 1996. L-threonine for poultry: A review. *Journal of Applied Poultry Research* 5:358–367.
- Kikuchi, G., Y. Motokawa, T. Yoshida, and K. Hiraga. 2008. Glycine cleavage system: Reaction mechanism, physiological significance, and hyperglycinemia. *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B, Physical and Biological Sciences* 84:246–263.
- Leeson, S., and J. D. Summers. 2001. *Nutrition of the chicken* 4th Ed. Ontario: University of Guelph, 482.
- Leite, R. S., J. S. R. Rocha, B. C. Michel, L. J. C. Lara, E. A. Ornelas, S. V. Caçado, and N. C. Baião. 2009. Efeitos de planos nutricionais e de fontes de metionina sobre o desempenho, rendimento e composição de carcaças de frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 61:1120–1127.
- Lewis, R. M., K. M. Godfrey, A. A. Jackson, I. T. Cameron, and M. A. Hanson. 2005. Low serine hydroxymethyltransferase activity in the human placenta has important implications for fetal glycine supply. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 90:1594–1598.
- Li, P., Y-L. Yin, D. Li, S. W. Kim, and G. Wu. 2007. Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition* 98:237–252.
- Lu, S. C., and J. M. Mato. 2012. S-adenosylmethionine in liver health, injury, and cancer. *Physiological Reviews* 92:1515–1542.
- Malinovsky, A. V. 2017. Reason for indispensability of threonine in humans and other mammals in comparative aspect. *Biochemistry (Moscow)* 82:1055–1060.

- Mardinoglu, A., R. Agren, C. Kampf, A. Asplund, M. Uhlen, and J. Nielsen. 2014. Genome-scale metabolic modelling of hepatocytes reveals serine deficiency in patients with non-alcoholic fatty liver disease. *Nature Communications* 5:3083.
- Meléndez-Hevia, E., P. De Paz-Lugo, A. Cornish-Bowden, and M. L. Cárdenas. 2009. A weak link in metabolism: the metabolic capacity for glycine biosynthesis does not satisfy the need for collagen synthesis. *Bioscience Journal* 34:853–872.
- Moran Jr, E. T. 1994. Response of broiler strains differing in body fat to inadequate methionine: live performance and processing yields. *Poultry Science* 73:1116–1126.
- Moughan, P. J., and M. F. Fuller. *Modelling Amino Acid Metabolism and the Estimation of Amino Acid Requiriments*. 2003. *Amino Acids in animal nutrition*. 2.ed. Wallingford: CAB International, 411–426.
- Murray, R. K., D. K. Granner, P. A. Mayes, and V. W. Rodwell. 2003. *Harper's Illustrated Biochemistry*, 26^a ed., São Paulo, Ed. Atheneu, 693p.
- Namroud, N. F., M. Shivazad, and M. Zaghari. 2008. Effects of fortifying low crude protein diet with crystalline amino acids on performance, blood ammonia level, and excreta characteristics of broiler chicks. *Poultry Science* 87:2250–2258.
- Naseem, S., and A. J. King. 2018. Ammonia production in poultry houses can affect health of humans, birds, and the environment-techniques for its reduction during poultry production. *Environmental Science and Pollution Research* 25:15269–15293.
- Nelson, D. L., and M. M. Cox. 2009. *Lehninger: principles of biochemistry*. 5th ed. New York: H. W. Freeman and Company.
- Neto, R. C. L. 2010. 107f. Níveis de treonina, glicina+serina e suas relações para pintos de corte. Tese de Doutorado - Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará, Areia.
- Ngo, A., C. N. Coon, and G. R. Beecher. 1977. Dietary glycine requirements for growth and cellular development in chicks. *The Journal of Nutrition* 107:1800–1808.
- Oliveira Neto, A. R. 2014. Nutrição de não ruminantes. In: Oliveira Neto A.R. *Metabolismo e exigência de metionina*. Jaboticabal/Brazil: Funep. p. 218–239.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. R. A. Duarte, C. Eyng, C. A. L. Oliveira, and V. Janeiro. 2014. Valine, isoleucine, arginine and glycine supplementation of low-protein diets for broiler chickens during the starter and grower phases. *British Poultry Science* 55:766–773.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. Eyng, R. V. Nunes, C. R. A. Duarte, and M. D. Vargas. 2012. Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine+ serine: lysine. *Poultry Science* 91:3148–3155.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. A. L. Oliveira, and A. F. Q. G. Guerra. 2013. Supplemental glycine and threonine effects on performance, intestinal mucosa development, and nutrient utilization of growing broiler chickens. *Poultry Science* 92:2724–2731.
- Payne, R. L. 2007. The potential for using low crude protein diets for broilers and turkeys. *Degussa AminoNews* 8:2–13.
- Pillai, P. B., A. C. Fanatico, K. W. Beers, M. E. Blair, and J. L. Emmert. 2006. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline and betaine. *Poultry Science* 85:90–95.
- Powell, S., T. D. Bidner, and L. L. Southern. 2011. Effects of glycine supplementation at varying levels of methionine and cystine on the growth performance of broilers fed reduced crude protein diets. *Poultry Science* 90:1023–1027.

- Ren, W., Y. Li, Y. Yin, and F. Blachier. 2013. Structure, metabolism and functions of amino acids: an overview. *Nutritional and Physiological Functions of Amino Acids in Pigs*, 7:91–108.
- Robertson, A. P., R. P. Hoxey, T. G. M. Demmers, S. K. Welch, R. W. Sneath, K. F. Stacey, A. Forthergill, D. Filmer, and C. Fisher. 2002. Commercial-scale studies of the effect of broiler-protein intake on aerial pollutant emissions. *Biosystems Engineering* 82:217–225.
- Saeed, M., D. Babazadeh, M. Naveed, M. A. Arain, F. U. Hassan, and S. Chao. 2017. Reconsidering betaine as a natural anti-heat stress agent in poultry industry: a review. *Tropical Animal Health and Production* 49:1329–1338.
- Shemin, D. 1950. Some aspects of the biosynthesis of amino acids. *Cold Spring Harbor Symposia* 14:161–167.
- Shirisha, R., B. U. Umesh, and K. Prashanth. 2018. Effect of L-threonine supplementation on broiler chicken: A review. *Journal Pharma Innovation* 7:490–493.
- Siegert, W., and M. Rodehutschord. 2019. The relevance of glycine and serine in poultry nutrition: a review. *British Poultry Science* 60:579–588.
- Sim, W.-C., I. Han, W. Lee, Y.-J. Choi, K.-Y. Lee, D. G. Kim, S.-H. Jung, S.-H. Oh, and B.-H. Lee. 2016. Inhibition of homocysteine-induced endoplasmic reticulum stress and endothelial cell damage by L-serine and glycine. *Toxicology in Vitro* 34:138–145.
- Sohail, S. S., M. M. Bryant, and D. A. Roland Sr. 2003. The effect of glycine supplementation on performance of broilers fed sub-marginal protein with adequate synthetic methionine and lysine. *International Journal of Poultry Science* 2:394–397.
- Stevens, L. 1996. Protein and amino acid metabolism. In: *Avian Biochemistry and Molecular Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK 1:65–81.
- Stipanuk, M. H. 2004. Sulfur amino acid metabolism: pathways for production and removal of homocysteine and cysteine. *Annual Review of Nutrition* 24:539–577.
- Stover, P. J., L. H. Chen, J. R. Suh, D. M. Stover, and K. Keyomarsi. 1997. Molecular cloning, characterization, and regulation of the human mitochondrial serine hydroxymethyltransferase gene. *Journal of Biological Chemistry* 272:1842–1848.
- Suida, D. 2001. Formulação por proteína ideal e consequências técnicas, econômicas e ambientais. In *Simpósio Internacional de Nutrição Animal: Proteína ideal, energia líquida e modelagem*. Santa Maria: Embrapa 1:27–43.
- Tesseraud, S., S. M. Coustard, A. Collin, and I. Seiliez. 2009. Role of sulfur amino acids in controlling nutrients metabolism and cell functions: implications of nutrition. *British Journal of Nutrition* 101:1132–1139.
- Wang, W., Z. Wu, Z. Dai, Y. Yang, J. Wang, and G. Wu. 2013. Glycine metabolism in animals and humans: implications for nutrition and health. *Amino Acids* 45:463–477.
- Wen, C., X. Chen, G. Y. Chen, P. Wu, Y. P. Chen, Y. M. Zhou, and T. Wang. 2014. Methionine improves breast muscle growth and alters myogenic gene expression in broilers. *Journal of Animal Science* 92:1068–1073.
- Willke, T. 2014. Methionine production -a critical review. *Applied Microbiology and Biotechnology* 98:9893–9914.
- Wu, G. 2010. Functional amino acids in growth, reproduction and health. *Advances in Nutrition* 1:31–37.
- Wu, G. 2013. *Amino acids: biochemistry and nutrition*. Boca Raton: CRC Press.
- Wyss, M., and R. Kaddurah-Daouk. 2000. Creatine and creatinine metabolism. *Physiological Reviews* 80:1107–1213.

- Zhang, Q., X. Chen, S. D. Eicher, K. M. Ajuwon, and T. J. Applegate. 2017. Effect of threonine on secretory immune system using a chicken intestinal ex vivo model with lipopolysaccharide challenge. *Poultry Science* 96:3043–3051.
- Zhang, S., B. Saremi, E. R. Gilbert, and E. A. Wong. 2017. Physiological and biochemical aspects of methionine isomers and a methionine analogue in broilers. *Poultry Science* 96:425–439.

II – OBJETIVOS GERAIS

Esta pesquisa objetivou estudar o efeito da suplementação de glicina sobre o desempenho, rendimento de carcaça, bioquímica sanguínea, creatina muscular e estabilidade oxidativa da carne de frangos de corte na fase de crescimento alimentados com dietas com redução do teor proteico e diferentes níveis de metionina+cistina (Met+Cis) e treonina (Tre) digestíveis (dig).

2.1 Objetivos específicos

1. Determinar os níveis dietéticos de Gli+Ser total em dietas com redução do nível proteico, e as interações com a Met+Cis dig sobre o desempenho, rendimento de carcaça, bioquímica sanguínea, conteúdo de creatina no músculo peitoral e estabilidade oxidativa da carne de frangos de corte na fase de 21 a 42 dias de idade (Capítulo III);
2. Determinar os níveis dietéticos de Gli+Ser total em dietas com redução do nível proteico, e as interações com a Tre dig sobre o desempenho, rendimento de carcaça, bioquímica sanguínea, conteúdo de creatina no músculo peitoral e estabilidade oxidativa da carne de frangos de corte na fase de 21 a 42 dias de idade (Capítulo IV).

III – Suplementação de glicina e metionina e suas interações em dietas com redução do nível proteico para frangos de corte na fase de crescimento¹

RESUMO: Objetivou-se estudar a suplementação de glicina e metionina e suas interações em dietas com redução do nível proteico sobre o desempenho, bioquímica sanguínea, conteúdo de creatina no músculo peitoral e estabilidade oxidativa da carne de frangos de corte de 21 a 42 dias de idade. Foram utilizados 1.500 pintos de corte machos, de 21 dias de idade, da linhagem comercial Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×3 (Gli+Ser total \times Met+Cis dig), com cinco repetições e 20 aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de Gli+Ser total (1,38; 1,48; 1,58; 1,68 e 1,78%) e três níveis de Met+Cis dig (0,67; 0,79 e 0,91%). Aos 42 dias foi observada interação ($P < 0,05$) entre os níveis Gli+Ser total e Met+Cis dig para as concentrações séricas de ácido úrico, albumina e proteínas totais. Os níveis crescentes de Gli+Ser aumentaram ($P < 0,05$) as concentrações séricas de ácido úrico, albumina e proteínas totais nas dietas deficientes em Met+Cis, assim como a concentração de proteínas totais nas dietas com excesso de Met+Cis dig. Os níveis crescentes de Gli+Ser total resultaram em melhor ($P < 0,05$) ganho de peso e a conversão alimentar. Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de Gli+Ser para o conteúdo de creatina no músculo do peito e concentração sérica de triglicerídeos, sendo estimado nível ótimo de 1,61 e 1,50% de Gli+Ser total, respectivamente. Entretanto, os níveis de Gli+Ser total resultaram em efeito linear ($P < 0,05$) sobre as concentrações plasmáticas de creatinina. Os níveis de Met+Cis dig influenciaram ($P < 0,05$) o conteúdo de creatina nos músculos peitorais, a concentração sérica de triglicerídeos e glicose. Dessa forma, a recomendação mínima de Gli+Ser total para bom desempenho é de 1,78% independente do nível de Met+Cis dig utilizado em dietas com redução do nível proteico para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade.

Palavras-chave: glicina, aminoácidos sulfurados, desempenho, bioquímica sanguínea.

¹Artigo redigido de acordo com as normas para publicação da revista Journal of Poultry Science

III – Glycine and methionine supplementation and their interactions in low protein diets for broiler chickens in the growth phase

ABSTRACT: The objective was to study the glycine and methionine supplementation in low crude protein diets on performance, blood biochemistry, pectoral muscle creatine content and oxidative stability of meat of broiler chickens from 21 to 42 days of age. A total of 1,500 twenty-one-day-old Cobb-Vantress® male broiler chickens were distributed in a completely randomized 5×3 factorial arrangement (Gly+Ser \times Met+Cys), with five replicates of 20 birds each. The treatments consisted of five levels of total Gly+Ser (1.38, 1.48, 1.58, 1.68 and 1.78%) and three levels of dig Met+Cys (0.67, 0.79 and 0.91%). At 42 days, an interaction ($P < 0.05$) was observed between total Gly+Ser and dig Met+Cys levels for serum concentrations of uric acid, albumin and total protein. The increase in Gly+Ser levels increased ($P < 0.05$) serum concentrations of uric acid, albumin and total protein on diets with deficient Met+Cys, as did the total protein concentrations in the diets with high dig Met+Cys. Increasing levels of total Gly+Ser improved ($P < 0.05$) weight gain and feed conversion. There was a quadratic effect ($P < 0.05$) of Gly+Ser levels for pectoral muscle creatine content and serum triglycerides concentrations, with an estimated optimal level of 1.61 and 1.50% of total Gly+Ser, respectively. However, the total Gly+Ser levels resulted in a linear effect ($P < 0.05$) on serum creatinine concentrations. Met+Cys dig levels influenced ($P < 0.05$) pectoral muscle creatine content and serum concentrations of triglycerides and glucose. Thus, the minimum total Gly+Ser recommendation to improve performance is 1.78% regardless of dig Met+Cys levels used in low crude protein diets for broiler chickens from 21 to 42 days of age.

Keywords: glycine, sulfur amino acids, performance, blood biochemistry.

INTRODUÇÃO

A redução da proteína dietética tem sido de interesse na indústria avícola global. As dietas com menor teor proteico demonstraram ter capacidade de reduzir os custos de alimentação, os problemas relacionados à sanidade e o bem-estar das aves, além de melhorar a utilização da ração (Hilliar e Swick, 2018). Ainda, pesquisas evidenciaram que dietas de baixa proteína diminuem a quantidade de nitrogênio excretado no ambiente pelos animais (Ospina-Rojas et al., 2014; Kriseldi et al., 2018).

Contudo, o potencial de crescimento ou produtivo do animal pode ser prejudicado em dietas com baixo nível proteico pelos aminoácidos limitantes não essenciais, uma vez que a metabolização endógena será muito lenta ou pela escassez de precursores metabólicos para sintetizá-lo (Berres et al., 2010).

Em dietas com redução da proteína bruta à base de milho e farelo de soja para frangos de corte, a glicina (Gli) é o primeiro aminoácido limitante não essencial (Ospina-Rojas et al., 2012), sendo considerado como o quarto limitante de todos os aminoácidos após metionina+cistina (Met+Cis), lisina (Lis) e treonina (Tre) nessas rações (Ospina-Rojas et al., 2014).

Além de ser um precursor eficaz, a serina (Ser) é capaz de desempenhar funções equivalentes a Gli em base equimolar quando adicionado à dieta basal, deficiente nesses aminoácidos (Sugahara e Kandatsu, 1976). Devido a capacidade de interconversão endógena de Ser e Gli (Sugahara e Kandatsu, 1976), esses dois aminoácidos são apresentados em conjunto (Siegert et al., 2015).

A fim de determinar o valor nutritivo de uma dieta é imprescindível avaliar as concentrações dietéticas de Gli e de Ser e, ao avaliar os efeitos dos níveis de Gli+Ser no desempenho dos animais, deve-se levar em consideração as vias fisiológicas de ambos os aminoácidos e não de cada um deles separadamente. Isso porque a exigência nutricional de um aminoácido é influenciada pela necessidade dietética do outro (Siegert et al., 2015).

A Met e Cis apresentam enxofre em suas estruturas químicas, que confere a classificação desses aminoácidos como sulfurados (Silva et al., 2014). Relacionados metabolicamente, a Met doa seu grupo metil para reações biológicas resultando em composto com enxofre, a homocisteína (Nelson e Cox, 2014). A homocisteína, por sua vez, utiliza a cistationina, Met e Ser para originar a Cis (Pillai et al., 2006). Dessa forma, excessos de Met na dieta podem gerar maior demanda metabólica de Ser e, portanto, um aumento da necessidade dietética de Gli. Sendo assim, o desempenho de mamíferos e

aves pode ser influenciado de forma prejudicial quando há excesso ou deficiência de Met ou Cis na dieta (Han e Baker, 1993; Bin et al., 2017).

Quando o farelo de soja é a principal fonte de proteína na dieta de frangos de corte, a DL-Met é adicionada a fim de suprir as necessidades de Met e de outros aminoácidos sulfurados (Leeson e Summers, 2000). Entretanto, em dietas à base de milho e farelo de soja suplementadas com Met, a Cis é considerada como um aminoácido limitante (Baker, 2005). Logo, a necessidade de Cis nas dietas de frangos de corte pode ser suprida quando níveis de Gli, Ser e Met estão prontamente disponíveis (Powell et al., 2009). Contudo, em condições que exigem alta demanda fisiológica, por exemplo, para máxima deposição proteica, a Gli pode ser boa alternativa com o intuito de melhorar a disponibilidade de grupos metila, permitindo que a Met esteja disponível para as reações de metilação (Ohta e Ishibashi, 1995; Finkelstein, 1998) e conectando metabolicamente estes dois aminoácidos.

Com base nessas informações, o presente estudo foi conduzido a fim de determinar o nível ideal de Gli+Ser total em dietas com baixo nível proteico com diferentes concentrações de Met+Cis digestível (dig) para frangos de corte na fase de 21 a 42 dias de idade.

MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos adotados foram previamente aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual de Maringá (protocolo nº 7501230419/2019).

Animais, instalações e manejo

O experimento foi conduzido no Setor de Avicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM), utilizando 1.500 frangos de corte machos, de 21 dias de idade, da linhagem comercial Cobb-Vantress®.

As aves foram alojadas em galpão convencional climatizado, com ventilação de pressão negativa e placa evaporativa, em boxes de 1,0 x 2,0 metros, com utilização de cama nova de casca de arroz. A água foi fornecida em bebedouros do tipo *nipple* e a ração em comedouros tubulares, fornecidos *ad libitum* durante todo o período experimental. O programa de iluminação adotado foi o contínuo de 24 horas diárias de luz.

Delineamento experimental e dietas

Os animais foram distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 5×3 (Gli+Ser total \times Met+Cis dig), com cinco repetições e 20 aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de Gli+Ser total (1,38; 1,48; 1,58; 1,68 e 1,78%) e três níveis de Met+Cis dig (0,67; 0,79 e 0,91%).

As aves receberam uma dieta convencional na fase inicial, de 1 a 21 dias de idade, e as dietas experimentais na fase de crescimento, de 21 a 42 dias de idade. As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas à base de milho e farelo de soja e, suplementadas com aminoácidos sintéticos para atender o conceito de proteína ideal para frangos de corte machos de desempenho médio sugerido por Rostagno et al. (2017). As demais rações experimentais foram obtidas mediante a suplementação desses aminoácidos na ração basal em substituição ao inerte.

Tabela 1. Composição percentual e calculada da dieta basal para frangos de corte na fase de crescimento (21 a 42 dias de idade).

Ingredientes (%)	
Milho 8,8%	71,22
Farelo de soja 45%	19,58
Óleo de soja	3,22
Fosfato bicálcico	1,41
Calcário	0,72
Sal comum	0,48
Cloreto de potássio	0,025
Supl. Min - Vit ¹	0,40
Inerte (Caulim) ²	0,88
DL-Met 99%	0,366
L-Lis HCL 78,5%	0,55
L-Tre 98%	0,204
L-Val 98%	0,241
L-Ile 98%	0,191
L-Arg 99%	0,298
L-Trp 98%	0,040
L-Gli 97%	0,202
Composição calculada	
PB (%)	16,22 (16,70)
EM (kcal/kg)	3175
Cálcio (%)	0,70
Fósforo disponível (%)	0,34
Sódio (%)	0,20
Cloro (%)	0,44
Potássio (%)	0,60
Lis total (%)	1,18 (1,18)
Met+Cis total (%)	0,87 (0,83)
Tre total (%)	0,74 (0,73)
Trp total (%)	0,21 (0,17)
Ile total (%)	0,73 (0,71)
Leu total (%)	1,47 (1,44)
Val total (%)	0,93 (0,88)
Arg total (%)	1,24 (1,21)
Gli+Ser total (%)	1,61 (1,57)

¹Suplemento vitamínico e mineral para fase de crescimento (conteúdo por kg de dieta): vit. A, 2148 UI; vit. D3, 1225 UI; vit. E, 3100 UI; vit. K3, 1,5 mg; vit. B1, 1,6 mg; vit. B12, 16,7 µg; riboflavina, 5,3 mg; piridoxina, 2,5 mg; niacina, 36 mg; ácido pantotênico, 13 mg; ácido fólico, 0,8 mg; D-biotina, 0,1 mg; cloreto de colina, 270; BHT, 5,8; ferro, 50 mg; cobre, 12 mg; iodo, 0,9 mg; zinco, 50 mg; manganês, 60 mg; selênio, 0,2 mg; cobalto, 0,2 mg;

²Inerte (Caulim) – A adição de aminoácidos sintéticos foi em substituição ao inerte;

³Os valores analisados para aminoácidos totais estão entre parênteses.

Desempenho produtivo

Semanalmente foram realizadas as pesagens das rações experimentais e das aves para que as variáveis de peso médio, ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar fossem calculadas. Sempre que detectada mortalidade, as possíveis causas

foram determinadas por meio de necropsia e, a identificação do box, a contabilização de aves mortas, o peso corporal das mesmas e as sobras da ração foram registrados para que o consumo de ração das aves fosse ajustado e, a taxa de mortalidade do lote determinada.

Rendimento de carcaça e de cortes

Aos 42 dias de idade, uma ave de cada unidade experimental foi selecionada de acordo com peso médio ($\pm 5\%$) da repetição, para a análise de rendimento de carcaça, cortes e percentual de gordura abdominal. Após serem submetidas ao jejum de 6 horas para esvaziamento do trato gastrointestinal, estas aves foram abatidas por insensibilização com choque elétrico, pesadas e submetidas à sangria. Em seguida, as aves passaram pelo processo de escaldagem, depenagem e evisceração, e as carcaças (sem cabeça, pescoço, pés e gordura abdominal) foram pesadas em balança digital. O rendimento de carcaça foi obtido pela relação do peso da carcaça eviscerada com o peso vivo da ave, expresso em porcentagem. Para o rendimento dos cortes (peito, coxa+sobrecoxa e asas), todos com pele e ossos, foi determinado pela relação do peso absoluto de cada corte com o peso da carcaça eviscerada, expressos em porcentagem. Para a porcentagem de gordura abdominal foi considerada toda a gordura aderida à cloaca, moela+proventrículo e aos músculos abdominais adjacentes, de acordo com a metodologia descrita por Smith (1993), sendo posteriormente pesada e, seu peso absoluto relacionado ao peso vivo da ave.

Bioquímica sanguínea

Aos 42 dias de idade, uma ave por unidade experimental foi selecionada aleatoriamente pelo peso médio ($\pm 5\%$) para que fossem colhidas amostras de sangue (± 2 ml/ave) da veia jugular dessas aves. Posteriormente, as amostras foram submetidas a análises para determinar as concentrações séricas de triglicerídeos, ácido úrico, albumina, proteínas totais, creatinina e glicose mediante processo enzimático-colorimétrico, com a utilização de kits comerciais (Gold Analisa Ltda, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) com leitura em espectrofotômetro modelo BIOPLUS 2000 (Bioplus Ltda). A amônia sérica foi determinada conforme descrito por Ishihard et al. (1972), procedimento no qual a amônia reage com o 2-cetoglutarato e NADH em reação catalisada pela enzima glutamato desidrogenase, ocorrendo oxidação do NADH a NAD^+ .

Conteúdo de creatina muscular e peso relativo de órgãos

Aos 42 dias de idade, uma ave por unidade experimental foi sacrificada e eviscerada por meio de corte abdominal para a retirada do peito, fígado e pâncreas, os quais foram pesados individualmente em balança de precisão para obtenção do peso relativo (%) em relação ao peso vivo da ave. Em seguida, amostras do músculo do peito das aves selecionadas foram coletadas, pesadas e trituradas em moinho tipo mixer para posterior determinação do conteúdo de creatina muscular com a utilização de kits comerciais (Gold Analisa Ltda, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) com leitura em espectrofotômetro modelo BIOPLUS 2000 (Bioplus Ltda), utilizando a metodologia proposta por Rose et al. (1927) e modificada por Chamruspollert et al. (2002).

Estabilidade oxidativa da carne

Para avaliação da estabilidade oxidativa da carne foram coletadas amostras de carne do peito, utilizando a metodologia de TBARS – *Thiobarbituric Acid Reactive Substance*, de acordo com Sørensen e Jørgensen (1996). Após a amostra ser triturada em um multiprocessador de alimentos, 5 g da mesma foi colocada em tubos de vidro e adicionados 15 ml de solução de ácido tricloroacético (7,5%), ácido gálico (0,1%) e EDTA (0,1%) e homogeneizados em Turax para que a solução formada fosse filtrada em papel filtro qualitativo (12,5 mm). Posteriormente, 1,5 ml da solução filtrada foi transferida para um tubo de ensaio e misturada com 1,5 ml de TBA (0,02 M) e aquecida em banho-maria a 100°C por 40 minutos. Em seguida, os tubos foram resfriados e centrifugados a 3000 rpm durante 10 minutos. Após a centrifugação, a leitura foi realizada em espectrofotômetro de duplo feixe, em comprimento de onda de 540 nm para determinação do teor de hidroperóxidos e da oxidação lipídica, que foi calculada utilizando uma curva padrão de MDA, cujos resultados foram expressos em mg de MDA/kg de carne.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com auxílio do procedimento General Linear Model (GLM) do programa estatístico SAS® University Edition. Quando detectado efeito significativo dos níveis de Gli+Ser total, seus graus de liberdade foram desdobrados por regressão polinomial a 5% de probabilidade. Para comparação das médias entre os tratamentos foi utilizado teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 42 dias de idade não foi observada interação ($P>0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig para o ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar. O ganho de peso e a conversão alimentar foram melhores ($P<0,05$) à medida que aumentaram os níveis de Gli+Ser total dietéticos (Tabela 2). O consumo de ração não foi influenciado ($P>0,05$) pelos níveis de Gli+Ser total.

Estudos recentes demonstraram que, além de atender as exigências de aminoácidos essenciais, frangos de corte alimentados com dietas de reduzido teor proteico podem exigir uma concentração total mínima de Gli+Ser na ração para atingir desempenho de crescimento semelhante àqueles alimentados com dietas com alto teor de proteína bruta (Corzo et al., 2005; Dean et al., 2006; Awad et al., 2017). Pelo fato que a redução do nível proteico da dieta pode resultar em menor concentração de aminoácidos menos limitante após a Met, Lis e Tre.

Durante os primeiros dias de vida das aves ocorre rápido desenvolvimento do trato gastrointestinal, que exige maior demanda proteica do que quando estão em fases mais avançadas (Lilburn e Loeffler, 2015). Dean et al. (2006) e Ospina-Rojas et al. (2012) demonstraram que a suplementação de Gli+Ser foi capaz de restabelecer totalmente o ganho de peso e a conversão alimentar de frangos de corte durante a fase inicial de criação, fatores prejudicados em aves cujas dietas continham baixo nível de proteína bruta.

Tabela 2. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig na fase de 21 a 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Met+Cis dig (%)	Ganho de peso (g)	Consumo de ração (g)	Conversão alimentar (g/g)
1,38		2097,75	3450,51	1,646
1,48		2080,83	3348,56	1,605
1,58	0,67	2140,32	3362,31	1,617
1,68		2195,77	3457,68	1,576
1,78		2084,25	3352,88	1,609
1,38		2012,23	3264,33	1,623
1,48		2154,66	3498,69	1,623
1,58	0,79	2093,04	3305,23	1,606
1,68		2102,70	3372,75	1,604
1,78		2150,20	3350,17	1,558
1,38		2024,59	3353,16	1,657
1,48		2093,63	3400,47	1,624
1,58	0,91	2121,62	3306,89	1,594
1,68		2109,44	3380,91	1,603
1,78		2115,18	3357,03	1,588
EPM		35,71	53,23	0,015
CV (%)		3,54	3,30	1,88
Gli+Ser total (%)				
1,38		2044,85	3356,00	1,642
1,48		2109,70	3415,91	1,618
1,58		2118,32	3324,81	1,605
1,68		2135,97	3403,78	1,594
1,78		2116,54	3353,36	1,585
EPM		20,64	30,77	0,008
Met+Cis dig (%)				
0,67		2119,78	3394,39	1,610
0,79		2102,56	3358,24	1,603
0,91		2092,89	3359,69	1,613
EPM		15,98	23,83	0,006
ANOVA			<i>P-valor</i>	
Gli+Ser total		L ¹ (0,0387)	0,2006	L ² (0,0002)
Met+Cis dig		0,5055	0,4974	0,5066
Gli+Ser × Met+Cis		0,2248	0,2382	0,1640

EPM: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação; L: efeito linear;

¹Y = 1847,88385 + 163,16994x (R² = 0,83);

²Y = 1,82813 - 0,13886x (R² = 0,71).

A Gli é necessária para alcançar taxas de desempenho semelhantes as conseguidas com as dietas de maior nível proteico, principalmente em frangos de corte em fases iniciais (Ospina-Rojas et al., 2013; Ospina-Rojas et al., 2014; Awad et al., 2017) e, a partir

deste estudo, durante a fase de crescimento, o desempenho das aves suplementadas com Gli também se mostrou positivo.

Suplementando aminoácidos sintéticos para atender as necessidades de frangos de corte em dietas com redução dos níveis proteicos (18,5%), Hilliar et al. (2020) concluíram que, na fase de crescimento a suplementação de 0,71% de Gli melhorou o ganho de peso e a conversão alimentar.

Não houve interação ($P > 0,05$) dos níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig sobre o peso relativo do fígado, pâncreas, o conteúdo de creatina no músculo peitoral, o rendimento de carcaça, cortes e a porcentagem de gordura abdominal (Tabela 3 e 4). Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de Gli+Ser total sobre o conteúdo de creatina no músculo peitoral, sendo estimado o nível ótimo de 1,61% de Gli+Ser total para esta variável.

A creatina é considerada fundamental na mobilização e geração de energia na forma de ATP nas células musculares (Mousavi et al., 2013). Em combinação com o fosfato, converte-se em fosfocreatina essencial para o fornecimento de ATP, quando detectada deficiência energética em curto prazo no organismo do animal (Cain e Davies, 1962).

Tabela 3. Conteúdo de creatina no músculo peitoral e peso relativo do fígado e pâncreas de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Met+Cis dig (%)	Creatina no músculo peitoral (mg/g músculo)	Fígado (%)	Pâncreas (%)
1,38		4,36	1,73	0,15
1,48		4,28	1,60	0,15
1,58	0,67	4,39	1,62	0,13
1,68		4,37	1,78	0,14
1,78		4,28	1,72	0,14
1,38		4,39	1,63	0,14
1,48		4,67	1,54	0,13
1,58	0,79	4,54	1,66	0,14
1,68		4,66	1,66	0,14
1,78		4,41	1,60	0,13
1,38		4,11	1,64	0,14
1,48		4,19	1,71	0,14
1,58	0,91	4,18	1,80	0,14
1,68		4,66	1,71	0,14
1,78		4,26	1,79	0,12
EPM		0,11	0,08	0,01
CV (%)		7,28	9,65	10,47
Gli+Ser total (%)				
1,38		4,28	1,67	0,14
1,48		4,38	1,62	0,14
1,58		4,37	1,69	0,14
1,68		4,57	1,72	0,14
1,78		4,32	1,70	0,13
EPM		0,07	0,05	0,004
Met+Cis dig (%)				
0,67		4,33 b	1,69	0,14
0,79		4,53 a	1,62	0,14
0,91		4,28 b	1,73	0,14
EPM		0,05	0,04	0,003
ANOVA		<i>P-valor</i>		
Gli+Ser total		Q ¹ (0,0314)	0,4914	0,3769
Met+Cis dig		0,0015	0,1056	0,5117
(Gli+Ser) × (Met+Cis)		0,2331	0,7440	0,4521

^{ab}Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação. Q: efeito quadrático;

¹Y = - 6,23402 + 13,27936x - 4,11411x² (R² = 0,77); ponto de máxima: 1,61% Gli+Ser.

As dietas à base de produtos de origem vegetal apresentam deficiência de creatina (Tossenberger et al., 2016). Ringel et al. (2007) afirmam que a queda no desempenho zootécnico pode ocorrer pela ausência de creatina nas plantas, uma vez que ela apresenta

papel imprescindível no aporte de energia para o bom desenvolvimento dos animais. Deste modo, a Gli, arginina e, em alguns casos, a Met, aminoácidos utilizados para a síntese endógena da creatina, têm suas exigências aumentadas nas dietas fornecidas às aves que, frequentemente, são compostas por ingredientes de origem vegetal (Wyss e Kaddurah-Daouk, 2000).

As concentrações de Met+Cis dig influenciaram ($P < 0,05$) o conteúdo de creatina muscular. Aves alimentadas com o nível abaixo (0,67%) e acima (0,91%) da exigência de Met+Cis tiveram valores semelhantes, contudo, aves que receberam a dieta contendo o nível recomendado de Met+Cis apresentaram maior conteúdo de creatina nos músculos peitorais. O excesso de Met pode reduzir a eficiência com que o aminoácido é utilizado pelo organismo, resultando em elevado gasto de energia para eliminação do excesso de nitrogênio. Assim, deve-se fornecer níveis adequados de Met na dieta para que haja a síntese de creatina, que é eficaz em aumentar o desempenho, sendo fonte de energia importante para o tecido muscular (Walker, 1960).

Majdeddin et al. (2019) ao suplementarem 0,39% de Met, ou seja, 0,04% a mais que a exigência de Met para aminoácidos sulfurados em dietas à base de produtos de origem vegetal para frangos de corte na fase de 10-25 dias de idade, encontraram maior peso relativo do peito e de coxa. No entanto, os mesmos autores perceberam que o aumento dos níveis de Met diminuiu os pesos relativos da asa e gordura abdominal.

Tabela 4. Rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Met+Cis dig (%)	Carcaça (%)	Peito (%)	Coxa+sobrecoxa (%)	Asa (%)	Gordura abdominal (%)
1,38		72,05	40,46	31,11	10,02	1,79
1,48		72,90	40,90	31,70	10,08	1,84
1,58	0,67	73,68	41,53	31,06	10,00	1,88
1,68		72,93	40,67	32,28	9,86	2,08
1,78		72,13	41,34	30,62	10,55	1,97
1,38		72,58	41,72	31,00	10,31	1,81
1,48		73,18	42,96	31,17	9,66	2,15
1,58	0,79	72,63	42,97	30,70	10,25	1,97
1,68		72,19	41,76	31,00	9,94	2,08
1,78		72,37	40,80	31,60	10,06	1,98
1,38		72,14	41,22	32,81	10,24	2,03
1,48		72,17	41,50	31,35	10,08	1,83
1,58	0,91	73,53	41,31	32,30	10,16	2,01
1,68		73,20	41,28	31,65	9,96	2,17
1,78		72,72	40,96	31,10	10,15	2,03
EPM		0,712	0,772	0,690	0,156	0,156
CV (%)		2,10	3,67	4,72	3,36	15,35
Gli+Ser total (%)						
1,38		72,26	41,13	31,64	10,19	1,87
1,48		72,75	41,79	31,41	9,94	1,94
1,58		73,28	41,94	31,35	10,14	1,95
1,68		72,78	41,24	31,64	9,92	2,11
1,78		72,41	41,03	31,11	10,25	1,99
EPM		0,41	0,45	0,40	0,09	0,09
Met+Cis dig (%)						
0,67		72,74	40,98	31,36	10,10	1,91
0,79		72,59	42,04	31,09	10,05	2,00
0,91		72,75	41,25	31,84	10,12	2,01
EPM		0,32	0,35	0,31	0,07	0,07
ANOVA		<i>P-valor</i>				
Gli+Ser total		0,4364	0,5211	0,8774	0,1369	0,4180
Met+Cis dig		0,9251	0,0928	0,2299	0,7630	0,5553
Gli+Ser × Met+Cis		0,8467	0,8351	0,4922	0,1379	0,8180

EPM: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação.

Para os parâmetros séricos, houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig apenas sobre as concentrações de ácido úrico, albumina e proteínas totais (Tabela 5).

Tabela 5. Triglicerídeos (mg dL⁻¹), ácido úrico (mg dL⁻¹), albumina (g dL⁻¹), proteínas totais (g dL⁻¹), creatinina (mg dL⁻¹), glicose (mg dL⁻¹) e amônia (mg dL⁻¹) séricos de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Met+Cis dig (%)	Triglicerídeos (mg dL ⁻¹)	Ácido úrico (mg dL ⁻¹)	Albumina (g dL ⁻¹)	Proteínas totais (g dL ⁻¹)	Creatinina (mg dL ⁻¹)	Glicose (mg dL ⁻¹)	Amônia (mg dL ⁻¹)
1,38		84,71	2,77	1,26	3,18	0,31	279,75	3,52
1,48		76,38	3,41	1,33	3,38	0,29	274,88	3,47
1,58	0,67	79,29	3,58	1,31	3,43	0,28	275,67	3,86
1,68		87,78	3,66	1,44	3,68	0,32	282,50	3,63
1,78		90,75	4,19	1,52	3,71	0,33	277,70	3,48
1,38		91,50	3,87	1,60	3,64	0,29	292,25	3,48
1,48		84,70	4,28	1,35	3,37	0,30	281,70	3,47
1,58	0,79	81,83	3,67	1,42	3,26	0,30	270,70	3,26
1,68		93,50	3,44	1,30	3,25	0,35	272,30	3,34
1,78		88,88	3,88	1,41	3,64	0,34	285,43	3,74
1,38		88,30	4,28	1,58	3,24	0,33	292,00	3,66
1,48		89,10	3,46	1,45	3,58	0,28	297,17	3,47
1,58	0,91	94,17	3,40	1,46	3,62	0,35	293,38	3,62
1,68		93,83	3,96	1,43	3,70	0,35	280,86	3,89
1,78		97,00	3,48	1,53	3,78	0,34	286,75	3,40
EPM		2,79	0,22	0,04	0,07	0,02	4,98	0,20
CV (%)		8,58	15,62	8,77	5,28	18,26	4,75	15,81
Gli+Ser total (%)								
1,38		88,17	3,64	1,48	3,35	0,31	288,00	3,55
1,48		83,39	3,80	1,38	3,44	0,29	284,58	3,47
1,58		85,10	3,33	1,40	3,40	0,31	279,91	3,57
1,68		91,70	3,53	1,39	3,54	0,34	278,55	3,62
1,78		92,21	3,85	1,48	3,58	0,34	283,29	3,54
EPM		1,62	0,13	0,03	0,04	0,01	2,90	0,12

Met+Cis dig (%)								
0,67	83,78 b	3,34 b	1,37 b	3,45	0,31	278,10 b	3,59	
0,79	88,08 b	3,83 a	1,42 b	3,43	0,32	280,48 b	3,46	
0,91	92,48 a	3,71 ab	1,49 a	3,50	0,33	290,03 a	3,61	
EPM	1,26	0,10	0,02	0,03	0,01	2,25	0,09	
ANOVA				<i>P-valor</i>				
Gli+Ser total	Q ¹ (0,0001)	Q ² (0,0170)	Q ³ (0,0030)	L ⁴ (0,0006)	L ⁵ (0,0074)	0,2066	0,9175	
Met+Cis dig	<.0001	0,0019	0,0001	0,2418	0,1455	0,0009	0,4413	
Gli+Ser × Met+Cis	0,1404	<.0001	<.0001	<.0001	0,4700	0,1166	0,3480	

^{ab}Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação; Q: efeito quadrático;

¹Y = 315,57138 - 307,27537x + 102,46111x² (R² = 0,82); ponto de mínima: 1,50% Gli+Ser;

²Y = 24,70920 - 26,96678x + 8,55181x² (R² = 0,64); ponto de mínima: 1,58% Gli+Ser;

³Y = 7,55471 - 7,84216x + 2,48617x² (R² = 0,83); ponto de mínima: 1,58% Gli+Ser;

⁴Y = 2,45900 + 0,63836x (R² = 0,72);

⁵Y = 0,14962 + 0,10585x (R² = 0,84).

Desdobrando a interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig para ácido úrico, observa-se que a menor concentração foi obtida no nível de 1,38% de Gli+Ser com 0,67% de Met+Cis (Tabela 6). As dietas contendo o nível abaixo do recomendado de Met+Cis (0,67%) indicam que a suplementação até 1,68% de Gli+Ser pode melhorar a eficiência de utilização dos outros aminoácidos encontrados na ração, e que altos níveis de Gli+Ser não são necessários em dietas com níveis adequados e/ou altos de Met+Cis, uma vez que estas irão resultar em alto gasto de energia metabólica pelo aumento de excreção de ácido úrico (Powell et al., 2009).

Aos 42 dias, a interação ($P < 0,05$) dos níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig indica que as dietas com os menores níveis de ambos os aminoácidos, 1,38% e 0,67%, respectivamente, resultaram em aves com menor ($P < 0,05$) concentração sérica de albumina. A dieta contendo o nível abaixo da exigência de Met+Cis (0,67%), quando suplementada com nível acima de 1,68% de Gli+Ser, permitiu aumentar ($P < 0,05$) a concentração de albumina no sangue. Para proteínas totais, quando se utilizou o nível da exigência de Met+Cis (0,79%), as menores concentrações séricas de proteínas totais foram obtidas com os níveis 1,58 e 1,68% de Gli+Ser total, assim como quando se utilizou nível abaixo ou acima da exigência de Met+Cis dig com o nível 1,38% de Gli+Ser total. No entanto, a suplementação de Gli+Ser acima de 1,48% nas dietas com os níveis fora do nível recomendado de Met+Cis permitiu aumentar ($P < 0,05$) a concentração sérica de proteínas totais.

As concentrações séricas de albumina e proteínas totais são dependentes do teor proteico contido nas dietas. Estes parâmetros bioquímicos são considerados as principais proteínas transportadoras no soro dos animais, além de serem utilizados como indicativo da proporção de síntese proteica celular e retratarem o estado nutricional das aves (Law et al., 2018). Resultados semelhantes para as concentrações séricas de albumina e proteínas totais foram encontrados por Elahi et al. (2020), que estudaram a resposta de frangos de corte à redução de farelo de soja na dieta com inclusão de Gli e Cis na deficiência marginal de aminoácidos sulfurados.

Tabela 6. Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig sobre os parâmetros bioquímicos séricos de frangos de corte com 42 dias de idade.

Met+Cis dig (%)	Gli+Ser total (%)				
	1,38	1,48	1,58	1,68	1,78
Ácido Úrico					
0,67	2,77 Bb	3,41 Aab	3,58 Aab	3,66 Aab	4,19 Aa
0,79	3,87 ABa	4,28 Aa	3,67 Aa	3,44 Aa	3,88 Aa
0,91	4,28 Aa	3,46 Aa	3,40 Aa	3,96 Aa	3,48 Aa
Albumina					
0,67	1,26 Bb	1,33 Aab	1,31 Aab	1,44 Aab	1,52 Aa
0,79	1,60 Aa	1,35 Ab	1,42 Aab	1,30 Ab	1,41 Aab
0,91	1,58 Aa	1,45 Aa	1,46 Aa	1,43 Aa	1,53 Aa
Proteínas Totais					
0,67	3,18 Bb	3,38 Aab	3,43 Aa	3,68 Aa	3,71 Aa
0,79	3,64 Aa	3,37 Aab	3,26 Bb	3,25 Bb	3,64 Aa
0,91	3,24 Bb	3,58 Aa	3,62 Aa	3,70 Aa	3,78 Aa

^{AaBb}Médias seguidas por diferentes letras, maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha, diferem entre si (P<0,05).

Houve efeito quadrático (P<0,05) dos níveis de Gli+Ser total sobre a concentração sérica de triglicerídeos, sendo estimado o nível ótimo de 1,50% de Gli+Ser total e, efeito linear (P<0,05) sobre a concentração de creatinina. A Met+Cis também influenciou (P<0,05) a concentração de triglicerídeos no sangue (Tabela 5).

De acordo com Kamran et al. (2010), aves, cuja alimentação apresenta redução do nível de proteína, utilizam os carboidratos como a principal fonte de energia e, por não utilizarem os ácidos graxos livres como primeira opção, apresentaram altos níveis de triglicerídeos no plasma.

A concentração mais elevada de Met estimula o pâncreas para a secreção de insulina no sangue (Murray et al., 1998). Ao contrário do que acontece em mamíferos, em aves domésticas a insulina não é um hormônio antilipolítico, pelo contrário, pode desempenhar função do glucagon na liberação de ácidos graxos e aminoácidos estocados no organismo dos animais promovendo a síntese proteica (Handique et al., 2019).

Assim, como os níveis isolados de Gli+Ser afetaram o conteúdo de creatina muscular, as concentrações de creatinina no sangue também foram influenciadas (P<0,05) por eles. Contrário aos achados deste estudo, Ospina-Rojas et al. (2013) encontraram valores significativos sobre o conteúdo de creatina no músculo, mas não sobre os níveis séricos de creatinina. A creatinina é o produto do fosfato de creatina no tecido muscular, e sua produção e excreção é proporcional à massa muscular, recebendo pouca influência

da dieta (Corzo et al., 2005). Além disso, a reação não enzimática que converte creatina em creatinina é praticamente constante (Wyss e Kaddurah-Daouk, 2000).

As aves alimentadas com o nível acima da exigência de Met+Cis apresentaram maior ($P < 0,05$) concentração de glicose no plasma sanguíneo. Este aumento na concentração sérica de glicose pode ser explicado pelo fato da Met ser um aminoácido glicogênico, ou seja, é precursor da glicose ao ser degradada produzindo succinil-CoA, através de reações de transaminação e descarboxilação.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig e, também não foi observado efeito isolado dos níveis dos aminoácidos para a oxidação lipídica da carne, mensurada pela quantidade de MDA pelo método de TBARS (Tabela 7).

Além de suas principais funções, a Gli e os aminoácidos sulfurados desempenham papel crucial na manutenção do equilíbrio e da estabilidade dos radicais livres no organismo por estarem envolvidos no processo de sintetização de metabólitos antioxidantes (Tesseraud et al., 2009; Bin et al., 2017).

Tabela 7. Valores de TBARS expressos como mg de MDA/kg da carne do peito de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Met+Cis dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Met+Cis dig (%)	MDA/kg (mg)
1,38		1,60
1,48		1,50
1,58	0,67	1,89
1,68		1,57
1,78		1,58
1,38		1,62
1,48		1,72
1,58	0,79	1,84
1,68		1,69
1,78		1,76
1,38		1,56
1,48		1,63
1,58	0,91	1,70
1,68		1,97
1,78		1,74
EPM		0,19
CV (%)		17,74
Gli+Ser total (%)		
1,38		1,60
1,48		1,61
1,58		1,81
1,68		1,74
1,78		1,69
EPM		0,11
Met+Cis dig (%)		
0,67		1,63
0,79		1,73
0,91		1,72
EPM		0,08
ANOVA		<i>P-valor</i>
Gli+Ser total		0,6123
Met+Cis dig		0,6554
Gli+Ser × Met+Cis		0,9247

EPM: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação.

CONCLUSÃO

A recomendação mínima de Gli+Ser total para o bom desempenho é de 1,78%, independente do nível de Met+Cis dig utilizado em dietas com redução do nível proteico para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade.

REFERÊNCIAS

- Awad, E. A., I. Zulkifli, A. F. Soleimani, and A. Aljuobori. 2017. Effects of feeding male and female broiler chickens on low-protein diets fortified with different dietary glycine levels under the hot and humid tropical climate. *Italian Journal of Animal Science* 16:453–461.
- Baker, D. H. 2005. Comparative nutrition and metabolism: Explication of open questions on protein and amino acids. *National Academy of Sciences* 102:17897–17902.
- Berres, J., S. L. Vieira, W. A. Dozier III, M. E. M. Cortês, R. de Barros, E. T. Nogueira, and M. Kutschenko. 2010. Broiler responses to reduced-protein diets supplemented with valine, isoleucine, glycine, and glutamic acid. *Journal of Applied Poultry Research* 19:68–79.
- Bin, P., R. Huang, and X. Zhou. 2017. Oxidation resistance of the sulfur amino acids: methionine and cysteine. *Biomed Research International* 2017:1–6.
- Cain, D. F., and R. E. Davies. 1962. Breakdown of adenosine triphosphate during a single contraction of working muscle. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 8:361–366.
- Corzo, A., C. A. Fritts, M. T. Kidd, and B. J. Kerr. 2005. Response of broiler chicks to essential and non-essential amino acid supplementation of low crude protein diets. *Animal Feed Science and Technology* 118:319–327.
- Dean, D. W., T. D. Bidner, and L. L. Southern. 2006. Glycine supplementation of low protein, amino acid-supplemented diets supports equal performance of broiler chicks. *Poultry Science* 85:288–296.
- Elahi, U., J. Wang, Y. Ma, S. Wu, G. Qi, and H. Zhang. 2020. The response of broiler chickens to dietary soybean meal reduction with glycine and cysteine inclusion at marginal sulfur amino acids (SAA) deficiency. *Animals* 10:1686.
- Finkelstein, J. D. 1998. The metabolism of homocysteine: pathways and regulation. *European Journal of Pediatrics* 157:S404.
- Han, Y., and D. H. Baker. 1993. Effects of excess methionine or lysine for broilers fed a corn-soybean meal diet. *Poultry Science* 72:1070–1074.
- Handique, B., R. Yengkhom, L. K. Maurya. 2019. Lysine and methionine supplementation in commercial broiler chicken: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7:193–196.
- Hilliar, M., and R. A. Swick. 2018. The need for low protein diets. *Australian Poultry Science Symposium, Sydney, Australia*, 29:8–11.
- Hilliar, M., G. Hargreave, C. K. Girish, R. Barekatin, S.-B. Wu, and R. A. Swick. 2020. Using crystalline amino acids to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poultry Science* 99:1551–1563.
- Kamran, Z., M. Sarwar, M. Un-Nisa, M. A. Nadeem, and S. Mahmood. 2010. Effect of low levels of dietary crude protein with constant metabolizable energy on nitrogen excretion, litter composition and blood parameters of broilers. *International Journal of Agriculture & Biology* 12:401–405.
- Kriseldi, R., P. B. Tillman, Z. Jiang, and W. A. Dozier. 2018. Effects of feeding reduced crude protein diets on growth performance, nitrogen excretion, and plasma uric acid concentration of broiler chicks during the starter period. *Poultry Science* 97:1614–1626.
- Law, F. L., I. Zulkifli, A. F. Soleimani, J. B. Liang, and E. A. Awad. 2018. The effects of low-protein diets and protease supplementation on broiler chickens in a hot and humid tropical environment. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 31:1291–1300.

- Leeson, S., and J. D. Summers. 2001. *Nutrition of the Chicken*. 4th edition. University Books, 591p.
- Lilburn, M. S., and S. Loeffler. 2015. Early intestinal growth and development in poultry. *Poultry Science* 94:1569–1576.
- Majdeddin, M., A. Golian, H. Kermanshahi, J. Michiels, and S. De Smet. 2019. Effects of methionine and guanidinoacetic acid supplementation on performance and energy metabolites in breast muscle of male broiler chickens fed corn-soybean diets. *British Poultry Science* 60:554–563.
- Mousavi, S. N., A. Afsar, and H. Lotfollahian. 2013. Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy contents. *Journal of Applied Poultry Research* 22:47–54.
- Murray, R. K., D. K. Granner, P. A. Mayes, and V. W. Rodwell. 2000. *Harper's Biochemistry*. Stamford, CT: Appleton & Lange. 927p.
- Nelson, D. L., and M. M. Cox. 2014. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*. 6th ed., Artmed, Porto Alegre.
- Ohta, Y., and T. Ishibashi. 1995. Effects of dietary glycine on reduced performance by deficient and excessive methionine in broilers. *Japanese Poultry Science* 31:81–89.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. R. A. Duarte, C. Eyng, C. A. L. Oliveira, and V. Janeiro. 2014. Valine, isoleucine, arginine and glycine supplementation of low-protein diets for broiler chickens during the starter and grower phases. *Poultry Science* 55:766–73.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. Eyng, R. V. Nunes, C. R. Duarte, and M. D. Vargas. 2012. Commercially available amino acid supplementation of low-protein diets for broiler chickens with different ratios of digestible glycine+serine:lysine. *Poultry Science* 91:3148–3155.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, I. Moreira, K. P. Picoli, R. J. B. Rodrigueiro, and A. C. Furlan. 2013. Dietary glycine+serine responses of male broilers given low-protein diets with different concentrations of threonine. *British Poultry Science* 54:486–493.
- Pillai, P. B., A. C. Fanatico, K. W. Beers, M. E. Blair, and J. L. Emmert. 2006. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline and betaine. *Poultry Science* 85:90–95.
- Powell, S., T. D. Bidner, and L. L. Southern. 2009. The interactive effects of glycine, total sulfur amino acids, and lysine supplementation to corn-soybean meal diets on growth performance and serum uric acid and urea concentrations in broilers. *Poultry Science* 88:1407–1412.
- Ringel, J. A., A. Lemme, J. Knox, J. Mc Nab, and M. S. Redshaw. 2007. Effects of graded levels of creatine and guanidinoacetic acid in vegetable-based diets on performance and biochemical parameters in muscle tissue. *World Poultry Science Association, Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition, Strasbourg, France*, p. 387–390.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, M. I. Hannas, J. L. Donzele, N. K. Sakomura, F. G. Perazzo, A. Saraiva, M. L. Teixeira, P. B. Rodrigues, R. F. Oliveira, S. L. T. Barreto, and C. O. Brito. 2017. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 4.ed. Viçosa: UFV/DZO.
- SAS Institute. 2016. *SAS University Edition Software*. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Siegert, W., H. Ahmadi, and M. Rodehutschord. 2015. Meta-analysis of the influence of dietary glycine and serine, with consideration of methionine and cysteine, on growth and feed conversion of broilers. *Poultry Science* 94:1853–1863.

- Silva, J. H. V., F. G. P. Costa, and R. B. De Lima. 2014. Digestão e absorção de proteínas. In: Sakomura, N. K., Vilar Da Silva, J. H., Perazzo-Costa, F. G., Fernandes, J. B. K., Hauschild, L. Nutrição de não ruminantes, Jaboticabal: FUNEP, p. 95–109.
- Sugahara, M., and M. Kandatsu. 1976. Glycine serine interconversion in the rooster. *Agricultural and Biological Chemistry* 40:833–837.
- Tesseraud, S., S. M. Coustard, A. Collin, and I. Seiliez. 2009. Role of sulfur amino acids in controlling nutrients metabolism and cell functions: implications of nutrition. *British Journal of Nutrition* 101:1132–1139.
- Tossenberger, J., M. Rademacher, K. Németh, V. Halas, and A. Lemme. 2016. Digestibility and metabolism of dietary guanidino acetic acid fed to broilers. *Poultry Science* 95:2058–2067.
- Walker, J. B. 1960. Metabolic control of creatine biosynthesis. I. Effect of dietary creatine. *Journal of Biological Chemistry* 235:2357–2361.
- Wyss, M., and R. Kaddurah-Daouk. 2000. Creatine and creatinine metabolism. *Physiological Reviews* 80:1107–1213.

IV – Suplementação de glicina e treonina e suas interações em dietas com redução do nível proteico para frangos de corte na fase de crescimento¹

RESUMO: Objetivou-se estudar a suplementação de glicina e treonina e suas interações em dietas com redução do nível proteico sobre o desempenho, bioquímica sanguínea, creatina no músculo peitoral e na estabilidade oxidativa da carne de frangos de corte de 21 a 42 dias de idade. Foram utilizados 1.500 pintos de corte machos de 21 dias de idade, da linhagem comercial Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×3 (Gli+Ser total \times Tre dig), com cinco repetições e 20 aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de Gli+Ser total (1,38; 1,48; 1,58; 1,68 e 1,78%) e três níveis de Tre dig (0,58; 0,68 e 0,78%). Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig para o ganho de peso, rendimento de carcaça, conteúdo de creatina nos músculos peitorais e concentração sérica de ácido úrico. Níveis iguais ou acima de 1,58 e 1,48% de Gli+Ser total permitiram melhorar ($P < 0,05$) o ganho de peso nas dietas deficientes e com o nível recomendado de Tre, respectivamente. Entretanto, a suplementação de Gli+Ser prejudicou ($P < 0,05$) o ganho de peso nas dietas com excesso de Tre. O nível adequado de Tre (0,68%) melhorou ($P < 0,05$) a conversão alimentar e o rendimento de peito em comparação com os níveis fora da exigência de Tre. Nas dietas com 0,58 e 0,68% de Tre, níveis iguais ou acima de 1,48% de Gli+Ser aumentaram ($P < 0,05$) o rendimento de carcaça. A suplementação com níveis iguais ou acima de 1,48% de Gli+Ser nas dietas com excesso de Tre resultou em aves com maior ($P < 0,05$) conteúdo de creatina nos músculos peitorais. Nas dietas com níveis marginais de Tre dig, o aumento nos níveis de Gli+Ser total resultou em menor ($P < 0,05$) concentração de ácido úrico no sangue. Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de Gli+Ser total para o conteúdo de creatina nos músculos peitorais, rendimento de peito e concentrações séricas de proteínas totais, sendo estimado o nível ótimo de 1,69, 1,59 e 1,62% de Gli+Ser total, respectivamente. O teor de gordura abdominal reduziu linearmente ($P < 0,05$) com o aumento dos níveis de Gli+Ser nas dietas. Para avaliação da oxidação lipídica da carne foi observada interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig, sendo a menor concentração de malonaldeído (MDA) encontrada nas dietas com 1,58% de Gli+Ser com o nível adequado de Tre. Assim sendo, o nível dietético de Gli+Ser total para o bom desempenho em dietas com redução do nível proteico é de 1,48% com níveis adequados de Tre dig (0,68%) e 1,58% com níveis marginais de Tre dig para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade.

Palavras-chave: aminoácidos, desempenho, glicina, treonina, bioquímica sanguínea.

¹Artigo redigido de acordo com as normas para publicação da revista Journal of Poultry Science

IV – Glycine and threonine supplementation and their interactions in low crude protein diets for broiler chickens in the growth phase

ABSTRACT: The objective was to study the glycine and threonine supplementation in low crude protein diets on performance, blood biochemistry, pectoral muscle creatine content and oxidative stability of meat of broiler chickens from 21 to 42 days. A total of 1,500 twenty-one-day-old Cobb-Vantress® male broiler chickens were distributed in a completely randomized 5 × 3 factorial arrangement (Gly+Ser × Thr) with five replicates of 20 birds each. The treatments consisted of five levels of total Gly+Ser (1.38; 1.48; 1.58; 1.68 and 1.78%) and three levels of dig Thr (0.58; 0.68 and 0.78%). There was an interaction ($P < 0.05$) between total Gly+Ser and dig Thr levels for weight gain, carcass yield, pectoral muscle creatine content and serum concentrations of uric acid. Levels equal to or above 1.58 and 1.48% of total Gly+Ser improved ($P < 0.05$) weight gain in the deficient diets and with the recommended Thr level, respectively. However, Gly+Ser supplementation impaired ($P < 0.05$) weight gain in the diets with high Thr. The adequate Thr level (0.68%) improved ($P < 0.05$) feed conversion and breast yield compared to the levels outside the Thr requirement. In diets with 0.58 and 0.68% of Thr, levels equal to or above 1.48% of Gly+Ser increased ($P < 0.05$) carcass yield. Supplementation with levels equal to or above 1.48% of Gly+Ser in diets with high Thr resulted in birds with higher ($P < 0.05$) pectoral muscle creatine content. In diets with marginal levels of Thr dig, increased levels of total Gly+Ser resulted in lower ($P < 0.05$) blood uric acid concentration. There was a quadratic effect ($P < 0.05$) of total Gly+Ser levels for pectoral muscle creatine content, breast yield, and serum total protein concentrations, and the optimal level was estimated to be 1.69, 1.59, and 1.62% of total Gly+Ser, respectively. The abdominal fat content decreased linearly ($P < 0.05$) with increasing Gly+Ser levels in diets. To evaluate the lipid oxidation of the meat, an interaction ($P < 0.05$) was observed between total Gly+Ser and Thr dig levels, and the lowest concentration of malondialdehyde (MDA) was found in diets with 1.58% Gly+Ser with adequate Thr level. Therefore, the dietary level of total Gly+Ser to improve performance in low crude protein diets is 1.48% with adequate levels of dig Thr (0.68%) and 1.58% with marginal levels of dig Thr for broiler chickens from 21 to 42 days of age.

Keywords: amino acids, glycine, threonine, performance, blood biochemistry.

INTRODUÇÃO

Ao reduzir o teor de proteína bruta das dietas para frangos de corte, estas se tornam um mecanismo capaz de diminuir custos dietéticos e, também, emissões de nitrogênio provenientes da produção de produtos cárneos (Hilliar e Swick, 2018). Contudo, dietas com baixo nível proteico tendem a prejudicar o desempenho diminuindo o ganho de peso, piorando a conversão alimentar e aumentando o conteúdo de gordura na carcaça (Bregendahl et al., 2002). A exigência em proteína na dieta das aves envolve tanto a necessidade de aminoácidos essenciais quanto o suprimento dos aminoácidos não essenciais ou de nitrogênio.

Atender às exigências nutricionais dos aminoácidos essenciais, permite reduzir cautelosamente a proteína bruta da dieta sem acarretar prejuízos ao desempenho das aves (Dean et al., 2006). A preocupação em atender somente as necessidades dos aminoácidos essenciais aumenta a chance de um aminoácido não essencial se tornar limitante na dieta, pela quantidade de precursores para determinado aminoácido ser insuficiente ou pela demora dos processos metabólicos (Berres et al., 2010). A suplementação dietética de Gli, que é um aminoácido não essencial, mostrou ser capaz de promover melhora nos parâmetros produtivos de frangos de corte de 1 a 17 dias de idade (Dean et al., 2006).

Mesmo com a capacidade das aves em sintetizar a Gli de forma endógena, essa síntese pode não ser metabolicamente eficiente para atender as exigências do aminoácido nos frangos de corte na fase inicial (Ospina-Rojas et al., 2013a). Assim, a dieta deve ser formulada para fornecer, no mínimo, 40% do requisito total de Gli, uma vez que sua síntese pode ser incapaz de suprir as grandes perdas endógenas, não atender a demanda necessária para deposição de proteínas e, ainda, falha em cumprir atividades voltadas às suas moléculas constituintes, como, ácido úrico, creatina, glutatona, colágeno etc. (Graber e Baker, 1973).

A treonina (Tre), assim como a serina (Ser), também serve como precursor metabólico da Gli. A Tre ao ser degradada pela enzima Tre aldolase gera subproduto acetaldeído ou via Tre desidrogenase com 2-amino-3-cetobutirato como etapa intermediária gerando acetil-CoA, pode ser diretamente convertida em Gli (Davis e Austic, 1994; Corzo et al., 2009).

Considerada como o terceiro aminoácido limitante em dietas à base de ingredientes vegetais fornecidas para frangos de corte, a Tre, além de exercer papel fundamental na síntese de proteínas e mucina, também possibilita que a menor concentração de Gli+Ser esteja contida nas dietas (Dean et al., 2006). Estudos demonstram que, principalmente

quando há níveis marginais destes aminoácidos na dieta, o que comumente é observado em dietas de baixa proteína com formulação baseada em ingredientes vegetais, este impacto pode ser compensado por quantidade moderada de Tre em dietas para frangos de corte (Corzo et al., 2009; Ospina-Rojas et al., 2013b; Siegert et al., 2015).

Se a premissa for verdadeira que ao aumentar a Tre dietética em dietas com baixo nível proteico o desempenho aumenta, isto sugere que as concentrações de Tre e Ser possam estar atuando equivalentemente como a Gli, demonstrando que esses aminoácidos podem ser cruciais para resultados satisfatórios das dietas formuladas com reduzido teor de proteína esperados pela indústria avícola. Assim, o presente estudo foi conduzido para avaliar as necessidades de Gli+Ser total de frangos de corte na fase de 21 a 42 dias de idade recebendo dietas com redução do nível proteico e níveis de Tre digestível (dig).

MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos adotados foram previamente aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual de Maringá (protocolo nº 7501230419/2019).

Animais, instalações e manejo

O experimento foi conduzido no Setor de Avicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM), utilizando 1.500 frangos de corte machos, de 21 dias de idade, da linhagem comercial Cobb-Vantress®. As aves foram alojadas em galpão convencional climatizado, com ventilação de pressão negativa e placa evaporativa, em boxes de 1,0 x 2,0 metros, com utilização de cama nova de casca de arroz. A água foi fornecida em bebedouros do tipo *nipple* e a ração em comedouros tubulares, fornecidos *ad libitum* durante todo o período experimental. O programa de iluminação utilizado foi o contínuo com 24 horas de luz por dia.

Delineamento experimental e dietas

Os animais foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×3 (Gli+Ser total \times Tre dig), com cinco repetições de 20 aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de Gli+Ser total (1,38; 1,48; 1,58; 1,68 e 1,78%) e três níveis de Tre dig (0,58; 0,68 e 0,78%).

As aves receberam uma dieta convencional na fase inicial, de 1 a 21 dias de idade, e as dietas experimentais na fase de crescimento, de 21 a 42 dias de idade. Uma dieta basal foi formulada de acordo com os valores de composição química dos alimentos e as

recomendações nutricionais para frangos de corte machos de desempenho médio sugerido por Rostagno et al. (2011), exceto para as concentrações de Gli+Ser total e Tre dig (Tabela 1). As demais rações experimentais foram obtidas mediante a suplementação desses aminoácidos na ração basal em substituição ao inerte.

Tabela 1. Composição percentual e calculada da dieta basal para frangos de corte na fase de crescimento (21 a 42 dias de idade).

Ingredientes (%)	
Milho 8,8%	71,10
Farelo de soja 45%	20,90
Óleo de soja	2,10
Fosfato bicálcico	1,20
Calcário	0,80
Sal comum	0,45
Supl. Min - Vit ¹	0,40
Inerte (Caulim) ²	1,50
DL-Met 99%	0,332
L-Lis HCL 78,5%	0,50
L-Tre 98%	0,07
L-Val 98%	0,18
L-Ile 98%	0,15
L-Arg 99%	0,24
L-Trp 98%	0,04
L-Gli 97%	-
Composição calculada	
PB (%)	16,5 (16,8)
EM (kcal/kg)	3,125
Cálcio (%)	0,69
Cloro (%)	0,32
Fósforo disponível (%)	0,32
Potássio (%)	0,58
Sódio (%)	0,20
Gli+Ser total (%)	1,38 (1,35)
Arg total (%)	1,18 (1,24)
Ile total (%)	0,77 (0,81)
Lis total (%)	1,12 (1,14)
Met+Cis total (%)	0,82 (0,80)
Tre total (%)	0,66 (0,67)
Val total (%)	0,90 (0,94)
Lis dig (%)	1,04
Met+Cis dig (%)	0,76
Tre dig (%)	0,58
Val dig (%)	0,82

¹Suplemento vitamínico e mineral para fase de crescimento (conteúdo por kg de dieta): vit. A, 2148 UI; vit. D3, 1225 UI; vit. E, 3100 UI; vit. K3, 1,5 mg; vit. B1, 1,6 mg; vit. B12, 16,7 µg; riboflavina, 5,3 mg; piridoxina, 2,5 mg; niacina, 36 mg; ácido pantotênico, 13 mg; ácido fólico, 0,8 mg; D-biotina, 0,1 mg; cloreto de colina, 270; BHT, 5,8; ferro, 50 mg; cobre, 12 mg; iodo, 0,9 mg; zinco, 50 mg; manganês, 60 mg; selênio, 0,2 mg; cobalto, 0,2 mg;

²Inerte (Caulim) – A adição de aminoácidos sintéticos foi em substituição ao inerte;

³Os valores analisados para aminoácidos totais estão entre parênteses.

Desempenho produtivo

As aves e as rações experimentais foram devidamente pesadas aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade para avaliação do desempenho (ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar). A mortalidade das aves foi registrada diariamente e, as possíveis causas foram determinadas por necropsia. Ainda, a identificação do box, a contabilização de aves mortas, o peso corporal das mesmas e as sobras da ração foram registrados para que o consumo de ração das aves fosse ajustado e, a taxa de mortalidade do lote determinada.

Rendimento de carcaça e de cortes

Aos 42 dias de idade, uma ave de cada unidade experimental foi selecionada de acordo com peso médio ($\pm 5\%$) da repetição, bem como, submetida a 6 horas de jejum, sendo abatida por insensibilização com choque elétrico e posterior sangria. Para o cálculo do rendimento de carcaça foi considerado o peso da carcaça eviscerada, sem os pés, cabeça, pescoço e gordura abdominal, em relação ao peso vivo das aves que foram pesadas individualmente antes do abate. Para o rendimento dos cortes foi considerado o rendimento do peito inteiro e pernas (coxa+sobrecoxa), que foi calculado em relação ao peso da carcaça eviscerada. A gordura abdominal, presente ao redor da cloaca, da bolsa cloacal, moela, proventrículo e dos músculos abdominais adjacentes foi retirada conforme descrito por Smith (1993), sendo pesada e tendo seu peso absoluto em relação ao peso vivo da ave.

Bioquímica sanguínea

Aos 42 dias de idade foram colhidas amostras de sangue (± 2 ml/ave) da veia jugular de duas aves por unidade experimental, selecionadas com base no peso médio do box ($\pm 5\%$). As amostras foram mantidas em gelo e centrifugadas a 3000 RPM durante 10 minutos, sendo o soro armazenado a -80°C até a realização das análises. As amostras de soro foram descongeladas a 4°C e, as concentrações séricas de triglicérides, ácido úrico, albumina, proteínas totais, albumina, creatinina e glicose foram analisadas mediante um processo enzimático-colorimétrico (Gold Analisa Diagnóstica Ltda, Belo Horizonte - Minas Gerais) com leitura em espectrofotômetro modelo BIOPLUS 2000 (Bioplus Ltda). A amônia sérica foi determinada conforme descrito por Ishihara et al. (1972), procedimento no qual a amônia reage com o 2-cetoglutarato e NADH em reação catalisada pela enzima glutamato desidrogenase ocorrendo oxidação do NADH a NAD^+ .

Conteúdo de creatina muscular e peso relativo de órgãos

Aos 42 dias de idade, uma ave por unidade experimental foi sacrificada e eviscerada por meio de corte abdominal para a extração do peito, fígado e pâncreas e foram pesados individualmente em balança de precisão para obtenção do peso relativo (%) em relação ao peso vivo da ave. Em seguida, amostras do músculo peitoral das aves selecionadas foram coletadas, pesadas e trituradas em moinho tipo mixer para posterior determinação do conteúdo de creatina muscular com a utilização de kits comerciais (Gold Analisa Ltda, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) com leitura em espectrofotômetro modelo BIOPLUS 2000 (Bioplus Ltda), utilizando a metodologia proposta por Rose et al. (1927) e modificada por Chamruspollert et al. (2002).

Estabilidade oxidativa da carne

A estabilidade oxidativa foi avaliada utilizando a metodologia de TBARS – Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico de acordo com Sørensen e Jørgensen (1996), e, verificou-se a oxidação equivalente em malonaldeído (MDA). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×3 , com três níveis de Gli+Ser total (1,38; 1,58 e 1,78%) e três níveis de Tre díg (0,58; 0,68 e 0,78%) e cinco repetições por tratamento. Utilizou-se a carne do peito de uma ave por repetição armazenadas em freezer a -18°C e, foi retirada uma amostra de 50g por repetição. As amostras foram trituradas em um processador de alimentos e reservou-se 5g, que foi acondicionada em um tubo de vidro. Foram adicionados 15 mL de solução de TCA (ácido tricloroacético 7,5%), ácido gálico (0,1%) e EDTA (0,1%). Posteriormente, com o auxílio de um Turax, homogeneizou-se a amostra por um minuto e foi colocada para filtrar em papel filtro (12,5 mm). Uma alíquota de 1,5 mL da solução filtrada foi adicionada a 1,5 mL de TBA (0,02 M) em tubo de ensaio e aquecidos em banho-maria a 100°C por 40 minutos. Os tubos foram resfriados e centrifugados por 10 minutos a 3000 rpm. Em seguida, foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro em comprimento de onda de 540 nm. Para a realização dos cálculos, utilizou-se a curva padrão de MDA e os resultados foram expressos em mg de MDA/kg de carne.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com auxílio do procedimento General Linear Model (GLM) do programa estatístico SAS® University Edition. Quando detectado efeito significativo dos níveis de Gli+Ser total, seus

graus de liberdade foram desdobrados por regressão polinomial a 5% de probabilidade. Para comparação das médias entre os tratamentos foi utilizado teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 42 dias de idade foi observada interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig apenas para o ganho de peso. Houve efeito isolado ($P < 0,05$) dos níveis de Tre dig sobre a conversão alimentar (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig na fase de 21 a 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Tre dig (%)	Ganho de peso (g)	Consumo de ração (g)	Conversão alimentar (g/g)
1,38	0,58	1904,7	3326,3	1,746
1,48	0,58	1926,7	3332,7	1,730
1,58	0,58	1971,9	3370,6	1,709
1,68	0,58	1986,7	3377,3	1,701
1,78	0,58	1976,5	3423,6	1,732
1,38	0,68	1903,1	3211,8	1,688
1,48	0,68	2021,7	3471,3	1,718
1,58	0,68	2020,2	3401,9	1,685
1,68	0,68	2017,9	3367,1	1,668
1,78	0,68	1987,5	3408,0	1,715
1,38	0,78	1986,9	3351,7	1,686
1,48	0,78	1929,6	3362,3	1,745
1,58	0,78	1928,4	3341,8	1,733
1,68	0,78	1920,9	3380,5	1,761
1,78	0,78	1924,0	3317,6	1,725
EPM		32,84	62,64	0,021
Gli+Ser total (%)				
1,38		1931,6	3296,6	1,707
1,48		1959,3	3388,8	1,731
1,58		1973,5	3371,4	1,709
1,68		1975,2	3375,0	1,710
1,78		1962,7	3383,1	1,724
EPM		18,96	36,17	0,013
Tre dig (%)				
0,58		1953,3 ab	3366,1	1,724 ab
0,68		1990,1 a	3372,0	1,695 b
0,78		1937,9 b	3350,8	1,730 a
EPM		14,69	28,01	0,009
ANOVA			<i>P-valor</i>	
Gli+Ser total		0,19	0,17	0,76
Tre dig		0,04	0,86	0,03
Gli+Ser × Tre		0,04	0,43	0,34

^{ab}Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$);

EPM: erro padrão da média.

Desdobrando a interação entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre o ganho de peso (Tabela 3), observou-se que no nível abaixo da exigência de Tre (0,58%) e no nível recomendado (0,68%) deste aminoácido, as aves obtiveram maior ganho de peso ($P<0,05$) quando alimentadas com níveis crescentes de Gli+Ser nas dietas. Por outro lado, dentre as dietas com o nível acima da exigência de Tre (0,78%), aves alimentadas com níveis crescentes de Gli+Ser tiveram pior ($P<0,05$) ganho de peso que os frangos que receberam a dieta com o nível deficiente (1,38%) de Gli+Ser.

Observa-se que o aumento dos níveis de Tre para 0,78% na dieta com 1,38% de Gli+Ser permitiu melhorar ($P<0,05$) o ganho de peso das aves. Desta forma, em dietas com redução de proteína bruta (16,5% PB) e deficientes em Gli (1,38%), um excesso de Tre (0,78%) poderia evitar a queda do desempenho zootécnico dos animais. Chrystal et al. (2020) observaram que a Tre, quando em deficiência no organismo reduz o consumo de ração causando prejuízos na resposta produtiva das aves.

Para melhor ganho de peso, em dietas com o nível de 0,68% de Tre, que é o nível recomendado, pode-se utilizar qualquer nível igual ou acima de 1,48% de Gli+Ser total. No entanto, em dietas deficientes em Tre é necessário nível igual ou acima de 1,58% de Gli+Ser e, nas dietas com excesso de Tre o nível para melhor ganho de peso é 1,38% de Gli+Ser total.

Tabela 3. Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre o ganho de peso de frangos de corte com 42 dias de idade.

Tre dig (%)	Gli+Ser total (%)				
	1,38	1,48	1,58	1,68	1,78
	Ganho de peso (g)				
0,58	1904,7 Bb	1926,7 Bb	1971,9 ABa	1986,7 ABa	1976,5 ABa
0,68	1903,1 Bb	2021,7 Aa	2020,2 Aa	2017,9 Aa	1987,5 Aab
0,78	1986,9 Aa	1929,6 Bb	1928,4 Bb	1920,9 Bb	1924,0 Bb

^{AaBb}Médias seguidas por diferentes letras, maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha, diferem entre si ($P<0,05$).

Os resultados obtidos para ganho de peso indicam que a resposta positiva dos frangos de corte a níveis acima da exigência de Tre (0,78%) ocorrerá apenas quando houver níveis deficientes de Gli+Ser. Algumas pesquisas demonstraram que, na presença de Tre, diminui a necessidade de Gli, visto que as enzimas Tre aldolase e Tre desidrogenase são capazes de degradar a Tre em Gli (Corzo et al., 2009; Ospina-Rojas et al., 2013a; Hilliar et al., 2019).

Efeitos interativos entre a ingestão de Gli+Ser total e Tre dig têm sido frequentemente relatados na literatura. Ospina-Rojas et al. (2013b) fornecendo dietas com 0,84-0,92% de Tre e 1,44-1,76% de Gli+Ser observaram interação entre os níveis de Gli e os níveis de Tre para conversão alimentar, mas não para ganho de peso, em frangos de corte com 21 a 35 dias de idade. Por outro lado, Corzo et al. (2009) trabalhando com frangos de corte na fase de crescimento, alimentados com dietas contendo 0,72-0,81% de Tre e 1,64-1,76% de Gli+Ser obtiveram interação para ganho de peso, mas não para conversão alimentar.

A conversão alimentar foi influenciada ($P<0,05$) pelas concentrações de Tre dig. Os valores encontrados revelam que aves que receberam a ração com o nível acima da exigência de Tre (0,78%) apresentaram pior ($P<0,05$) conversão alimentar. Alguns estudos têm demonstrado que a conversão alimentar das aves melhorou quando receberam a concentração adequada deste aminoácido (Ospina-Rojas et al., 2013a; Min et al., 2017; Rasheed et al., 2018).

Segundo Bernardino et al. (2011), a suplementação de Gli diminui a atividade das enzimas que catabolizam a Tre, poupando que esta seja degradada para obtenção de Gli. A conversão alimentar das aves que receberam o nível adequado (0,68%) de Tre pode ter melhorado pela função de estabilização e manutenção do trato intestinal desempenhada pela Tre favorecendo a digestão de nutrientes (Ospina-Rojas et al., 2013b; Najafi et al., 2017). Estes mesmos autores apontam que níveis adequados permitem que o sistema digestório seja beneficiado pela maior secreção de amilase e produção de mucinas melhorando a digestibilidade dos nutrientes presentes na dieta. Em vista disso, altos níveis de Tre (0,78%) não são necessários em dietas com níveis adequados e/ou altos de Gli, pois em quantidade excessiva, a Tre compromete o desempenho produtivo dos animais, elevando a eliminação de ácido úrico, já que este processo exige consumo alto de energia metabólica.

Houve interação ($P<0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig para o conteúdo de creatina nos músculos peitorais e, nenhum efeito para peso relativo do fígado e pâncreas aos 42 dias (Tabela 4). Foi observado efeito quadrático ($P<0,05$) dos níveis de Gli+Ser total para o conteúdo de creatina muscular, sendo estimado o nível ótimo de 1,69% de Gli+Ser total.

Tabela 4. Conteúdo de creatina no músculo peitoral e peso relativo do fígado e pâncreas de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Tre dig (%)	Creatina no músculo peitoral (mg/g músculo)	Fígado (%)	Pâncreas (%)
1,38	0,58	3,84	2,70	0,25
1,48	0,58	4,15	2,58	0,26
1,58	0,58	4,72	2,64	0,26
1,68	0,58	4,22	2,48	0,26
1,78	0,58	4,19	2,44	0,23
1,38	0,68	4,31	2,54	0,28
1,48	0,68	3,94	2,33	0,24
1,58	0,68	4,86	2,80	0,27
1,68	0,68	5,31	2,53	0,26
1,78	0,68	4,85	2,60	0,27
1,38	0,78	3,33	2,49	0,26
1,48	0,78	4,52	2,40	0,23
1,58	0,78	5,00	2,64	0,27
1,68	0,78	5,24	2,59	0,25
1,78	0,78	5,26	2,41	0,24
EPM		0,32	0,14	0,02
Gli+Ser total (%)				
1,38		3,83	2,58	0,26
1,48		4,20	2,44	0,24
1,58		4,86	2,69	0,27
1,68		4,92	2,53	0,26
1,78		4,77	2,48	0,25
EPM		0,20	0,09	0,01
Tre dig (%)				
0,58		4,23 b	2,57	0,25
0,68		4,66 a	2,56	0,26
0,78		4,67 a	2,51	0,25
EPM		0,15	0,09	0,01
ANOVA		<i>P</i> -valor		
Gli+Ser total		Q ¹ (0,008)	0,50	0,62
Tre dig		0,048	0,29	0,85
Gli+Ser × Ter		0,033	0,30	0,80

^{ab}Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM: erro padrão da média; Q: efeito quadrático;

¹Y = - 28,871 + 39,968x - 11,827x² (R² = 0,95); ponto de máxima: 1,69% Gli+Ser.

Dentre as dietas contendo os níveis de 0,58 e 0,78% de Tre, as aves apresentaram maior (P<0,05) conteúdo de creatina no músculo peitoral quando alimentadas com nível igual ou acima de 1,48% de Gli+Ser (Tabela 5). Contudo, em dietas com o nível da

exigência de Tre (0,68%), o conteúdo de creatina muscular foi menor apenas nas dietas contendo 1,48% de Gli+Ser.

Tabela 5. Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre o conteúdo de creatina no músculo peitoral de frangos de corte com 42 dias de idade.

Tre dig (%)	Gli+Ser total (%)				
	1,38	1,48	1,58	1,68	1,78
	Creatina no músculo peitoral (mg/g)				
0,58	3,84 ABb	4,15 Aab	4,72 Aa	4,22 Bab	4,19 Bab
0,68	4,31 Aab	3,94 Ab	4,86 Aab	5,31 Aa	4,85 ABab
0,78	3,33 Bb	4,52 Aa	5,00 Aa	5,24 Aa	5,26 Aa

^{AaBb}Médias seguidas por diferentes letras, maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha, diferem entre si ($P < 0,05$).

A creatina, além de apresentar importância considerável no aumento do desempenho de crescimento, pode também ser considerada uma fonte de energia importante para o tecido muscular, uma vez que permite a ressíntese imediata de ATP (Silva e Cancellero, 2006; Guimarães-Ferreira, 2014). Além disso, quando a quantidade de creatina peitoral é aumentada, observa-se melhor aproveitamento dos nutrientes para o incremento muscular neste tecido (Lemme et al., 2007).

A maior parte da creatina necessária para as aves é obtida de maneira endógena, correspondendo aproximadamente de 66 a 75%, sendo necessária complementação a partir da dieta para fornecer o restante da proteína faltante (Ringel et al., 2007). Contudo, as dietas à base de produtos de origem vegetal não fornecem a quantidade suficiente de creatina exigida pelas aves, pois apresenta carência de creatina disponível. Por isso, a fim de suprir esse déficit, maiores quantidades de Gli são exigidas para sintetizar a creatina (Tossenberger et al., 2016). Sendo assim, o aumento de Gli+Ser total na dieta através da suplementação adequada de Gli, pode ser favorável como fonte de creatina no peito, aprimorando a utilização de nutrientes e de energia para o crescimento muscular apropriado neste tecido (Lemme et al., 2007).

O peso relativo do fígado e do pâncreas não foram influenciados ($P > 0,05$) pelos níveis de Gli+Ser total e Tre dig nas dietas fornecidas durante a fase de crescimento das aves. Segundo Azzam e El-Gogary (2015), o peso do fígado é utilizado como indicador de deficiência proteica ou de aminoácidos, além disso, o aumento do peso do fígado pode ser considerado um indicador de condições de estresse. Porém, observa-se que os pesos relativos dos órgãos do trato gastrointestinal não foram influenciados pelos tratamentos, mostrando que os valores de Tre nas dietas e o desequilíbrio entre os aminoácidos não foram

suficientes para alterar esses órgãos. Estudos anteriores também não encontraram efeito dos níveis dietéticos de Tre sobre o peso relativo do fígado e pâncreas (Azzam e El-Gogary, 2015; Jiang et al., 2018).

Houve interação ($P<0,05$) entre as concentrações dietéticas de Gli+Ser total e Tre dig apenas para o rendimento de carcaça e, efeito isolado dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig apenas para o rendimento de peito e porcentagem de gordura abdominal (Tabela 6).

Houve efeito quadrático ($P<0,05$) dos níveis de Gli+Ser total para o rendimento de peito, sendo estimado o nível ótimo de 1,59% de Gli+Ser total. Por outro lado, os níveis de Gli+Ser resultaram em efeito linear decrescente ($P<0,05$) sobre a porcentagem de gordura abdominal.

Tabela 6. Rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Tre dig (%)	Carcaça (%)	Peito (%)	Coxa+sobrecoxa (%)	Gordura abdominal (%)
1,38	0,58	70,41	40,72	34,25	2,80
1,48	0,58	70,94	41,74	34,10	2,71
1,58	0,58	71,50	41,07	35,15	2,60
1,68	0,58	71,72	42,09	35,14	2,31
1,78	0,58	72,50	42,57	34,11	2,28
1,38	0,68	70,79	41,4	34,07	3,31
1,48	0,68	71,66	43,89	33,81	2,35
1,58	0,68	73,03	43,69	34,30	2,28
1,68	0,68	71,80	42,46	33,79	2,20
1,78	0,68	71,44	40,89	35,48	1,96
1,38	0,78	72,23	42,54	34,61	2,52
1,48	0,78	72,01	41,69	34,82	2,71
1,58	0,78	71,25	43,23	34,77	2,00
1,68	0,78	70,61	41,54	34,66	2,31
1,78	0,78	70,09	40,97	34,95	2,58
EPM		0,67	0,76	0,54	0,27
Gli+Ser total (%)					
1,38		71,14	41,55	34,31	2,88
1,48		71,54	42,44	34,24	2,59
1,58		71,93	42,66	34,74	2,29
1,68		71,37	42,03	34,53	2,27
1,78		71,34	41,48	34,85	2,27
EPM		0,39	0,44	0,31	0,16
Tre dig (%)					
0,58		71,41	41,64 b	34,55	2,54
0,68		71,74	42,47 a	34,29	2,42
0,78		71,24	41,99 ab	34,76	2,42
EPM		0,30	0,34	0,24	0,12

ANOVA	<i>P</i> -valor			
Gli+Ser total	0,82	Q ¹ (0,03)	0,99	L ² (0,01)
Tre dig	0,44	0,05	0,53	0,70
Gli+Ser × Ter	0,002	0,08	0,59	0,10

^{ab}Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$);

EPM: erro padrão da média; L: efeito linear; Q: efeito quadrático;

¹ $Y = 39,825 + 40,09x - 12,601x^2$ ($R^2 = 0,93$); ponto de máxima: 1,59% Gli+Ser;

² $Y = 4,8577 - 1,518x$ ($R^2 = 0,81$).

Nas dietas com 0,58 e 0,68% de Tre, qualquer nível igual ou acima de 1,48% de Gli+Ser favoreceu o aumento no rendimento de carcaça, assim como para o nível de 0,78% de Tre os níveis de 1,38 e 1,48% de Gli+Ser (Tabela 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Corzo et al. (2009) para o qual o menor nível de Gli+Ser fornecido resultou em valores de rendimento de carcaça mais baixos que melhoraram apenas quando a Tre dietética foi aumentada.

Tabela 7. Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre o rendimento de carcaça de frangos de corte com 42 dias de idade.

Tre dig (%)	Gli+Ser total (%)				
	1,38	1,48	1,58	1,68	1,78
Rendimento de carcaça (%)					
0,58	70,41 Bb	70,94 Aab	71,50 ABab	71,72 Aab	72,50 Aa
0,68	70,79 ABb	71,66 Aab	73,03 Aa	71,80 Aab	71,44 ABab
0,78	72,23 Aa	72,01 Aa	71,25 Bab	70,61 Bab	70,09 Bb

^{AaBb}Médias seguidas por diferentes letras, maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha, diferem entre si ($P < 0,05$).

Os resultados obtidos para o rendimento de carcaça sugerem que a Tre dietética teve efeito de compensação sob o menor nível de Gli+Ser na dieta das aves. Já que as enzimas Tre aldolase e Tre desidrogenase tem a habilidade de catabolizar o excesso de Tre em Gli, a Tre conseguiria diminuir as exigências de Gli. No entanto, em situações de níveis marginais de Gli em dieta à base de produtos de origem vegetal com reduzido teor proteico, a Tre pode ser considerada uma fonte relevante de Gli (Ospina-Rojas et al., 2013b; Siegert et al., 2015). Ainda, Baker et al. (1972) mencionaram quando Tre se mostrava em excesso moderado, o efeito poupador em Gli por Tre dietético foi encontrado.

O efeito isolado dos níveis de Gli+Ser sobre o rendimento de peito pode estar associado ao incremento do conteúdo de creatina nos músculos peitorais em resposta à suplementação de Gli, pois a creatina é considerada uma fonte energética importante na

alimentação animal (Silva e Cancellero, 2006) e, ainda, em virtude da Gli que ao poupar Tre, permite a disponibilidade de maiores concentrações de Tre dietética para outras finalidades, como síntese de proteína muscular.

A suplementação com Gli+Ser diminuiu linearmente ($P < 0,05$) o teor de gordura abdominal. Estudos ilustram o desafio ao fornecer dietas com baixa proteína bruta, uma vez que estas comprometem a conversão alimentar e ocasionam maior deposição de gordura (Namroud et al., 2010).

De acordo com Ospina-Rojas et al. (2013b), a digestão da gordura proveniente da dieta é favorecida pela suplementação de Gli, considerando que este aminoácido é componente dos sais biliares, constituindo a cerca de 90% do total de aminoácidos presentes na bile. Além disso, com os avanços da genética e da nutrição voltados para o crescimento rápido, com máxima deposição proteica, o metabolismo dos frangos de corte ficou ainda mais acelerado, com maior gasto de energia, melhor utilização dos nutrientes da dieta e boas conversões alimentares, e pode explicar esta redução na porcentagem de gordura abdominal.

Diferentemente dos subprodutos de origem animal, os ingredientes de origem vegetal não atendem a exigência nutricional necessária ao desempenho das aves, aumentando as necessidades de Gli, aminoácido utilizado para a síntese endógena de creatina. Portanto, a suplementação de Gli pode ser essencial para que resultados positivos no desempenho das aves sejam obtidos quando estas recebem dietas exclusivamente vegetais e com redução do nível proteico (Lemme et al., 2007).

Foi observado efeito dos níveis dietéticos de Tre dig ($P < 0,05$) sobre o rendimento de peito, que o nível da exigência (0,68%) influenciou de forma positiva esse parâmetro (Tabela 6). O rendimento de carcaça e outros cortes não foi influenciado ($P > 0,05$) pelos níveis de Tre dig.

Aos 42 dias, para as variáveis sanguíneas não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig, exceto para o ácido úrico (Tabela 8).

Tabela 8. Triglicerídeos (mg dL⁻¹), ácido úrico (mg dL⁻¹), albumina (g dL⁻¹), proteínas totais (g dL⁻¹), creatinina (mg dL⁻¹), glicose (mg dL⁻¹) e amônia (mg dL⁻¹) séricos de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Tre dig (%)	Triglicerídeos (mg dL ⁻¹)	Ácido úrico (mg dL ⁻¹)	Albumina (g dL ⁻¹)	Proteínas totais (g dL ⁻¹)	Creatinina (mg dL ⁻¹)	Glicose (mg dL ⁻¹)	Amônia (mg dL ⁻¹)
1,38	0,58	68,21	4,78	1,60	1,67	0,22	265,09	3,27
1,48	0,58	84,50	4,65	1,53	1,74	0,22	303,73	2,86
1,58	0,58	79,32	3,00	1,62	1,96	0,25	262,02	3,48
1,68	0,58	64,83	2,47	1,48	1,83	0,21	267,84	3,12
1,78	0,58	57,8	2,25	1,52	1,75	0,23	242,6	3,05
1,38	0,68	58,10	2,91	1,47	1,79	0,24	245,91	3,20
1,48	0,68	75,94	2,54	1,51	1,83	0,23	257,99	3,01
1,58	0,68	53,93	3,09	1,57	1,84	0,26	261,47	4,13
1,68	0,68	47,33	2,49	1,54	1,93	0,23	252,46	4,45
1,78	0,68	67,72	3,88	1,62	1,92	0,23	256,32	3,51
1,38	0,78	57,38	2,75	1,52	1,82	0,27	257,34	3,08
1,48	0,78	64,74	3,31	1,58	1,82	0,23	256,79	3,57
1,58	0,78	65,52	3,27	1,73	2,05	0,25	257,29	3,47
1,68	0,78	60,87	3,03	1,42	1,92	0,26	252,40	3,19
1,78	0,78	56,96	2,78	1,54	1,80	0,25	250,30	3,65
EPM		13,25	0,58	0,09	0,08	0,02	15,31	0,46
Gli+Ser total (%)								
1,38		61,23	3,48	1,53	1,76	0,25	256,11	3,19
1,48		75,06	3,50	1,54	1,80	0,23	272,84	3,15
1,58		66,25	3,12	1,64	1,95	0,25	260,26	3,69
1,68		57,67	2,67	1,48	1,89	0,23	257,57	3,59
1,78		60,83	2,97	1,56	1,82	0,24	249,74	3,40
EPM		7,50	0,33	0,05	0,05	0,01	8,84	0,32
Tre dig (%)								
0,58		70,93	3,43	1,55	1,79	0,23	268,26	3,16
0,68		60,6	2,98	1,54	1,86	0,24	254,83	3,66
0,78		61,09	3,03	1,56	1,88	0,25	254,82	3,39

EPM	5,73	0,26	0,04	0,04	0,01	6,85	0,26
ANOVA				<i>P-valor</i>			
Gli+Ser total	0,29	0,08	0,95	Q ¹ (0,04)	0,48	0,31	0,25
Tre dig	0,17	0,35	0,96	0,22	0,12	0,27	0,16
Gli+Ser × Ter	0,87	0,002	0,38	0,68	0,14	0,35	0,80

EPM: erro padrão da média; Q: efeito quadrático;

¹ $Y = -5,9542 + 9,7239x - 3,0059x^2$ ($R^2 = 0,76$); ponto de máxima: 1,62% Gli+Ser.

Desdobrando a interação para ácido úrico, nas dietas deficientes em Tre com níveis iguais ou acima de 1,58% de Gli+Ser, observou-se diminuição nas concentrações séricas de ácido úrico, sendo a menor ($P<0,05$) concentração obtida com o nível mais alto (1,78%) de Gli+Ser testado (Tabela 9). No entanto, aves alimentadas com o nível da exigência de Tre contendo nível acima de 1,58% de Gli+Ser, apresentaram valores séricos de ácido úrico mais elevados e, nas dietas com excesso de Tre, o nível de 1,38% de Gli+Ser total resultou em frangos com menor ($P<0,05$) concentração sérica de ácido úrico.

Tabela 9. Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre a concentração sérica de ácido úrico de frangos de corte com 42 dias de idade.

Tre dig (%)	Gli+Ser total (%)				
	1,38	1,48	1,58	1,68	1,78
	Ácido úrico (mg/dL)				
0,58	4,78 Aa	4,65 Aa	3,00 Ab	2,47 Ab	2,25 Bb
0,68	2,91 Ba	2,54 Bab	3,09 Aa	2,49 Ab	3,88 Aa
0,78	2,75 Ba	3,31 ABa	3,27 Aa	3,03 Aa	2,78 ABa

^{AaBb}Médias seguidas por diferentes letras, maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha, diferem entre si ($P<0,05$).

Estes resultados obtidos revelam que dietas baixas em proteína bruta com menor concentração de Tre, um requisito de Gli+Ser total na dieta acima de 1,58% diminui os níveis séricos de ácido úrico em frangos de corte podendo refletir em maior eficiência na utilização dos aminoácidos. O aumento da concentração sérica de ácido úrico nas dietas com 0,78% de Tre em resposta à suplementação de Gli+Ser pode ser decorrente do desequilíbrio de aminoácidos.

A avaliação das concentrações séricas de ácido úrico nas aves é utilizada para diagnóstico de alterações na função renal desses animais. Concentrações séricas de ácido úrico superiores a 15 mg/dL sugerem alterações da função renal, indicando o nível de 70 a 80% de comprometimento dos rins (Campbell, 2004). Nas aves, a premissa de que o ácido úrico é o principal produto da excreção de nitrogênio e que para a formação de cada molécula de ácido úrico se perde uma molécula de Gli, maior requerimento metabólico de Gli para frangos de corte é necessário (Sonne et al., 1946). Isso poderia explicar a importância da suplementação de dietas baixas em proteína bruta com níveis adequados de aminoácidos essenciais e não essenciais para que a taxa de oxidação aminoacídica diminua a fim de poupar mais proteína para obtenção de melhor desempenho das aves (Powell et al., 2011).

Dentre as variáveis sanguíneas estudadas, houve efeito apenas para a concentração sérica de proteínas totais, em que os níveis de Gli+Ser apresentaram efeito quadrático ($P < 0,05$), sendo estimado o nível ótimo de 1,62% de Gli+Ser total para esta variável (Tabela 8). Isto é um indicativo de que a suplementação de níveis adequados de Gli+Ser na dieta é necessária para que haja a otimização na síntese proteica celular, visto que as proteínas totais podem ser utilizadas como marcadores do estado nutricional proteico (Hilliar et al., 2020).

O teste bioquímico, denominado proteínas totais, agrupa todas as proteínas circulantes no plasma. Dentre as funções que podem ser atribuídas às proteínas, destacam seu papel na regulação da pressão coloidosmótica para manutenção do volume sanguíneo, na proteção do organismo como anticorpos, catalisação de reações químicas por meio de enzimas, na manutenção do pH do sangue, além de serem fundamentais no transporte de diversas substâncias como lipídeos e hormônios (Melillo, 2013).

Em aves, as concentrações de proteínas totais costumam ser menores quando comparadas com as dos mamíferos, variando de 2,5 a 4,5 g/dL (Campbell, 2004). Uma variedade de fatores pode influenciar na concentração sérica de proteínas totais nas aves, dentre eles, pode-se citar a idade, sazonalidade, manejo e doenças, inclusive hepáticas, considerando que a grande maioria das proteínas é sintetizada no fígado (Lumeji, 1997).

Opoola et al. (2017) considerando a concentração sérica de glicose, evidenciaram que a suplementação de aminoácidos em dietas com redução proteica não acometeu o metabolismo de carboidratos.

Em frangos de corte, os níveis séricos de triglicerídeos estão correlacionados à deposição de gordura na carcaça (Nukreaw e Bunchasak, 2015). Fornecendo dietas com menor teor de proteína bruta, Kamran et al. (2010) destacaram que as aves tiveram, como resultado, maiores concentrações de triglicerídeos no plasma, pois utilizaram os carboidratos como fonte energética ao invés de ácidos graxos livres, o que não foi observado no presente estudo.

Os aminoácidos da dieta, quando em excesso ou em desequilíbrio são desaminados em esqueleto de carbono e amônia que, por sua alta toxicidade para os tecidos animais, é eliminada como ácido úrico pelas aves (Sigolo et al., 2017). Segundo Noda (1975), a regulação do apetite em ratos é influenciada pelas concentrações circulantes de amônia no sangue, entretanto, mais estudos são necessários para investigar este mecanismo envolvido na ingestão alimentar sobre o nível de amônia em frangos de corte.

Aos 42 dias, foi observada interação ($P < 0,05$) entre os níveis de Gli+Ser total e Tre dig para a estabilidade oxidativa da carne do peito (Tabela 10).

Tabela 10. Valores de TBARS expressos como mg de MDA/kg da carne do peito de frangos de corte alimentados com dietas com redução proteica e níveis de Gli+Ser total e Tre dig aos 42 dias de idade.

Gli+Ser total (%)	Tre dig (%)	MDA/kg (mg)
1,38	0,58	0,701
1,58	0,58	0,869
1,78	0,58	0,545
1,38	0,68	0,819
1,58	0,68	0,401
1,78	0,68	0,577
1,38	0,78	0,706
1,58	0,78	0,778
1,78	0,78	0,481
EPM		0,09
Gli+Ser total (%)		
1,38		0,742
1,58		0,683
1,78		0,535
EPM		0,05
Tre dig (%)		
0,58		0,705
0,68		0,599
0,78		0,655
EPM		0,05
ANOVA		<i>P</i> -valor
Gli+Ser total		0,03
Tre dig		0,81
Gli+Ser × Ter		0,05

EPM: erro padrão da média.

Desdobrando a interação para a estabilidade oxidativa, em dietas contendo o nível recomendado de Tre (0,68%) o nível necessário de Gli+Ser para se obter o menor ($P < 0,05$) valor de MDA, ou seja, melhor estabilidade oxidativa, é igual ou acima de 1,58%. Nas dietas contendo níveis abaixo (0,58%) e acima (0,78%) da exigência de Tre com níveis abaixo de 1,78% de Gli+Ser, os resultados foram semelhantes para maiores valores de MDA (Tabela 11).

Tabela 11. Desdobramento das interações dos níveis de Gli+Ser total e Tre dig sobre os valores de TBARS expressos como mg de MDA/kg da carne do peito de frangos de corte com 42 dias de idade.

Tre dig (%)	Gli+Ser total (%)		
	1,38	1,58	1,78
0,58	0,701 Aab	0,869 Aa	0,545 Ab
0,68	0,819 Aa	0,401 Bb	0,577 Ab
0,78	0,706 Aa	0,778 Aa	0,481 Ab

^{AaBb}Médias seguidas por diferentes letras, maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha, diferem entre si (P<0,05).

Para a quantificação do MDA, um dos principais produtos formados durante o processo oxidativo em alimentos cárneos, tem se utilizado o método de TBARS - substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico.

Embora a principal função da Gli seja favorecer a excreção do excesso de nitrogênio doando carbono e nitrogênio para a síntese do ácido úrico, este aminoácido também está envolvido no processo de sintetização de glutatona que desempenha função antioxidante no organismo dos animais (Kidd e Kerr, 1996; McCarty et al., 2018). Isto poderia explicar o porquê da suplementação de Gli ter influenciado positivamente os resultados encontrados para oxidação lipídica.

CONCLUSÃO

O nível dietético de Gli+Ser total para o bom desempenho em dietas com redução do nível proteico é de 1,48% com níveis adequados de Tre dig (0,68%) e, 1,58% com níveis marginais de Tre dig para frangos de corte de 21 a 42 dias de idade.

REFERÊNCIAS

- Azzam, M. M. M., and M. R. El-Gogary. 2015. Effects of dietary threonine levels and stocking density on the performance, metabolic status and immunity of broiler chickens. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 10:215–225.
- Baker, D. H., T. M. Hill, and J. M. Kleiss. 1972. Nutritional evidence concerning formation of glycine from threonine in the chick. *The Journal of Animal Science* 34:582–586.
- Bernardino, V. M. P., L. F. T. Albino, H. S. Rostagno, M. G. A. Oliveira, F. Q. Mendes, C. M. C. Pereira, I. M. Ferreira, and R. C. Maia. 2011. Effect of different digestible threonine: digestible lysine ratios, with or without glycine supplementation, on the enzymatic activity in broiler chicks. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40:2732–2738.
- Berres, J., S. L. Vieira, W. A. Dozier, M. E. M. Cortês, R. de Barros, E. T. Nogueira, M. Kutschenko. 2010. Broiler responses to reduced-protein diets supplemented with valine, isoleucine, glycine, and glutamic acid. *Journal of Applied Poultry Research* 19:68–79.

- Bregendahl, K., J. L. Sell, and D. R. Zimmerman. 2002. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry Science* 81:1156–1167.
- Campbell, T. W. 2004. Clinical chemistry of birds. In: Thrall, M.A., et al. *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*, p. 479-492.
- Chamruspollert, M., G. M. Pesti, and R. I. Bakalli. 2002. Dietary interrelationships among arginine, methionine, and lysine in young broiler chicks. *British Journal of Nutrition* 88:655–660.
- Chrystal, P. V., A. F. Moss, D. Yin, A. Khoddami, V. D. Naranjo, P. H. Selle, and S. Y. Liu. 2020. Glycine equivalent and threonine inclusions in reduced-crude protein, maize-based diets impact on growth performance, fat deposition, starch-protein digestive dynamics and amino acid metabolism in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 261:114387.
- Corzo, A., M. T. Kidd, W. A. Dozier, and B. J. Kerr. 2009. Dietary glycine and threonine interactive effects in broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 18:79–84.
- Davis, A. J., and R. E. Austic. 1994. Dietary threonine imbalance alters threonine dehydrogenase activity in isolated hepatic mitochondria of chicks and rats. *The Journal of Nutrition* 124:1667–1677.
- Dean, D., T. D. Bidner, and L. L. Southern. 2006. Glycine supplementation to low protein, amino acid-supplemented diets supports optimal performance of broiler chicks. *Poultry Science* 85:288–296.
- Graber, G., and D. H. Baker. 1973. The essential nature of Glycine and proline for growing chickens. *Poultry Science* 52:892–896.
- Guimarães-Ferreira, L. 2014. Role of the phosphocreatine system on energetic homeostasis in skeletal and cardiac muscles. *Einstein* 12:126–131.
- Hilliar, M., and R. A. Swick. 2018. The need for low protein diets. *Australian Poultry Science Symposium*, Sydney, Australia, 29:8–11.
- Hilliar, M., G. Hargreave, C. K. Girish, R. Barekatin, S.-B. Wu, and R. A. Swick. 2020. Using crystalline amino acids to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poultry Science* 99:1551–1563.
- Hilliar, M., N. Huyen, C. K. Girish, R. Barekatin, S. Wu, and R. A. Swick. 2019. Supplementing glycine, serine, and threonine in low protein diets for meat type chickens. *Poultry Science* 98:6857–6865.
- Ishihard, A., K. Kurahasi, and H. Uihard. 1972. Enzymatic determination of ammonia in blood and plasma. *Clinica Chimica Acta* 41:255–261.
- Jiang, G., C. Li, X. Huang, X. Zhang, Y. Hu, X. Wang, D. Hu, and Q. Dai. 2018. The effects of threonine on performance parameters, carcass traits, visceral organ indices and serum biochemical parameters of Linwu ducks, aged 4 to 8 weeks. *Brazilian Journal of Poultry Science* 20:387–392.
- Kamran, Z., M. Sarwar, M. U. Nisa, M. A. Nadeem, and S. Mahmood. 2010. Effect of low levels of dietary crude protein with constant metabolizable energy on nitrogen excretion, litter composition and blood parameters of broilers. *International Journal of Agriculture and Biology* 12:401–405.
- Kidd, M. T., and B. J. Kerr. 1996. L-threonine for poultry: a review. *Journal Applied Poultry Research* 5:358–367.
- Lemme, A., J. Ringel, H. S. Rostagno, and M. S. Redshaw. 2007. Supplemental guanidino acetic acid improved feed conversion, weight gain, and breast meat yield in male and female broilers. Presented at 16th European Symposium on Poultry Nutrition, France, p.335–338.

- Lumeij, J. T. Avian clinical biochemistry. In: Kaneko, J.J., Harvey, J.W., Bruss, M.L. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*, 5th ed., San Diego, Academic Press, 1997. p. 864–873.
- McCarty, M. F., J. H. O'Keefe, and J. J. DiNicolantonio. 2018. Dietary glycine is rate-limiting for glutathione synthesis and may have broad potential for health protection. *Ochsner Journal* 18:81–87.
- Melillo, A. 2013. Applications of serum protein electrophoresis in exotic pet medicine. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 16:211–225.
- Min, Y. N., S. G. Liu, Z. X. Qu, G. H. Meng, and Y. P. Gao. 2017. Effects of dietary threonine levels on growth performance, serum biochemical indexes, antioxidant capacities, and gut morphology in broiler chickens. *Poultry Science* 96:1290–1297.
- Najafi, R., R. Ahmar, and G. Tazehkand. 2017. Effect of different dietary threonine levels on optimal growth performance and intestinal morphology in 1-14 days old Ross 308 broilers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 19:59–66.
- Namroud, N. F., M. Shivazad, and M. Zaghari. 2010. Effects of Glycine and glutamic acid supplementation to low protein diets on performance, thyroid function and fat deposition in chickens. *South African Journal of Animal Science* 40:238–244.
- Noda, K. 1975. Possible effect of blood ammonia on food intake of rats fed amino acid imbalanced diets. *The Journal of Nutrition* 105:508–516.
- Nukreaw, R., and C. Bunchasak. 2015. Effect of supplementing synthetic amino acids in low-protein diet and subsequent re-feeding on growth performance, serum lipid profile and chemical body composition of broiler chickens. *The Journal of Poultry Science* 52:127–136.
- Opoola, E., S. O. Ogundipe, G. S. Bawaand, and P. A. Onimisi. 2017. Effect of diets formulated on the basis of four critical essential amino acids on performance and blood biochemical indices of broiler finisher chickens reared under tropical environment. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 7:303–311.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, I. Moreira, K. P. Picoli, R. J. Rodrigueiro, and A. C. Furlan. 2013a. Dietary glycine+serine responses of male broilers given low-protein diets with different concentrations of threonine. *British Poultry Science* 54:486–493.
- Ospina-Rojas, I. C., A. E. Murakami, C. A. Oliveira, and A. F. Q. G. Guerra. 2013b. Supplemental glycine and threonine effects on performance, intestinal mucosa development, and nutrient utilization of growing broiler chickens. *Poultry Science* 92:2724–2731.
- Powell, S., T. D. Bidner, and L. L. Southern. 2011. Effects of glycine supplementation at varying levels of methionine and cystine on the growth performance of broilers fed reduced crude protein diets. *Poultry Science* 90:1023–1027.
- Rasheed, M. F., M. A. Rashid, A. Saima, M. S. Mahmud, M. S. Yousaf, and M. L. Malik. 2018. Digestible threonine and its effects on growth performance, gut morphology and carcass characteristics in broiler Japanese quails (*Coturnix japonica*). *South African Journal of Animal Science* 48:425–733.
- Ringel, J. A., A. Lemme, J. Knox, J. McNab, and M. S. Redshaw. 2007. Effects of graded levels of creatine and guanidino acetic acid in vegetable-based diets on performance and biochemical parameters in muscle tissue. Presented at 16th European Symposium on Poultry Nutrition, France, The World's Poultry Science Association 16:26–30.
- Rose, W. C., O. M. Helmer, and A. Chanutin. 1927. A modified method for the estimation of total creatinine in small amounts of tissues. *Journal of Biological and Chemistry* 75:543–548.

- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. Oliveira, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, S. L. T. Barreto, and R. F. Euclides. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. p.186. Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa.
- SAS Institute. 2016. SAS University Edition Software. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Siegert, W., H. Ahmadi, A. Helmbrecht, and M. Rodehutschord. 2015. A quantitative study of the interactive effects of glycine and serine with threonine and choline on growth performance in broilers. *Poultry Science* 94:1557–1568.
- Sigolo, S., Z. Zohrabi, A. Gallo, A. Seidavi, and A. Prandini. 2017. Effect of a low crude protein diet supplemented with different levels of threonine on growth performance, carcass traits, blood parameters, and immune responses of growing broilers. *Poultry Science* 96:2751–2760.
- Silva, C. A., and K. M. Cancelliero. 2006. Effect of oral creatine supplementation in skeletal muscle of rat immobilized hindlimb. *Revista Brasileira de Nutrição Clínica* 21:17–22.
- Smith, M. O. 1993. Parts yield of broilers reared under cycling high temperatures. *Poultry Science* 72:1146–1150.
- Sonne, J. C., J. M. Buchanan, and A. M. Delluva. 1946. Biological precursors of uric acid carbon. *The Journal of Biological Chemistry* 166:395–396.
- Sørensen, G., and S. S. Jørgensen. 1996. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forshcvung* 202:205–210.
- Tossenberger, J., M. Rademacher, K. Németh, V. Halas, and A. Lemme. 2016. Digestibility and metabolism of dietary guanidino acetic acid fed to broilers. *Poultry Science* 95:2058–2067.

V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de dietas com níveis reduzidos de proteína bruta tem sido utilizada para favorecer a utilização dos nutrientes dietéticos pelos animais proporcionando melhor desempenho deles, além de minimizar a excreção de nitrogênio no ambiente.

Por outro lado, dados da literatura demonstram que, em diversas situações, ocorrem prejuízos no desempenho zootécnico e nas características de carcaça quando se reduz os níveis de proteína bruta das dietas. Entretanto, alguns trabalhos recentes, bem como o presente estudo, mostram que com a suplementação de aminoácidos essenciais e glicina nas dietas, é possível alcançar taxas de desempenho semelhantes as conseguidas com as dietas de elevado nível proteico, uma vez que este atua na síntese de proteínas celulares e, também, no fornecimento de nitrogênio não específico para síntese dos aminoácidos não essenciais.

Frente a níveis marginais de glicina+serina nas dietas, níveis acima da exigência de treonina podem ser fontes eficazes de glicina e evitar a queda do desempenho zootécnico das aves, disponibilizando a energia metabólica necessária para os processos fisiológicos de manutenção e crescimento.

Baseado nos resultados desta pesquisa é necessário que se estabeleça os níveis adequados de glicina, metionina e treonina em dietas com redução proteica avaliando minuciosamente possíveis interações sobre cada critério, para que um benefício econômico seja demonstrado, desde que o desempenho produtivo das aves e o meio ambiente não sejam prejudicados.