



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**FONTES E NÍVEIS DE METIONINA PARA FRANGOS DE CORTE**

Victor Martins

Zootecnista

Dourados - MS

Julho - 2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**FONTES E NÍVEIS DE METIONINA PARA FRANGOS DE CORTE**

Victor Martins

Zootecnista

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cinthia Eyng

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Vianna Nunes

Dissertação apresentada a Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD como parte das exigências para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós Graduação em Zootecnia.

Dourados - MS

Julho – 2017

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

M386f	Martins, Victor. Fontes e níveis de metionina. / Victor Martins. – Dourados, MS : UFGD, 2017. 52f.  Orientador: prof <sup>ª</sup> . Dr <sup>ª</sup> . Cinthia Eyng Coorientadores: prof. dr. Rodrigo Garófallo Garcia e prof. dr. Ricardo Vianna Nunes. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados.  1. Frangos de corte – Nutrição animal. 2. Avicultura – Nutrição animal. I. Título.
-------	--

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.**

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

**FONTES E NÍVEIS DE METIONINA PARA FRANGOS DE CORTE**

por

**VICTOR MARTINS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título  
de MESTRE EM ZOOTECNIA

Aprovada em: 31/07/2017



Dra. Cinthia Eyrng  
Orientadora – UNIOESTE/CCA



Dr. Newton Tavares Escocard de Oliveira  
UNIOESTE/CCA



Dra. Taciana Maria de Oliveira Bruxel  
UNIOESTE/CCA

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Victor Martins, filho de Maria Elizete Silva Martins e José Antonio de Souza Martins, nasceu em 05 de julho de 1991 na cidade de Palmeira das Missões, estado do Rio Grande do Sul. Ingressou no curso de Zootecnia no ano de 2009 pela Universidade Federal de Santa Maria, graduando-se no ano de 2013. No ano de 2015 foi aprovado no programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração em Produção Animal, iniciando o curso em março do mesmo ano.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico aos meus pais, José e Maria, pela vida, amor, incentivo e força.

Aos meus irmãos, Jady, João Vitor e Anna Carolina pelo apoio incondicional em todos os momentos. À minha namorada Fernanda pelo amor e apoio, mesmo longe se fez sempre presente e sempre me auxiliou quando precisei.

A todos os meus familiares e amigos que contribuíram até o momento em minha caminhada para o meu sucesso profissional e pessoal.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida, pela coragem de enfrentar as dificuldades e nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus pais, Maria e José, meus irmãos Jady, João Vitor e Anna Carolina, e a minha namorada e companheira Fernanda pela compreensão, ajuda e apoio em mim depositado em todos os momentos.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Cinthia Eyng pelos ensinamentos, exemplo de profissional e de vida, ajuda, paciência, amizade, confiança e credibilidade em mim depositada.

Ao meu co-orientador Dr. Ricardo Vianna Nunes pelo auxílio, parceria e confiança que em mim depositou.

A todos os professores que contribuíram de uma forma ou outra para minha formação como pessoa e profissional até o momento.

À Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados e a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, *Campus* Marechal Cândido Rondon pela disponibilidade da estrutura necessária para execução do projeto.

A CAPES pela ajuda financeira aos meus estudos.

Aos companheiros, colegas e amigos do grupo de pesquisa e a todos que me ajudaram e participaram de alguma forma da construção deste trabalho.

Meu sincero, muito obrigado.

## SÚMARIO

LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE FIGURAS .....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT .....	v
CAPÍTULO 1. METIONINA PARA FRANGOS DE CORTE .....	vi
CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	7
1. REVISÃO DE LITERATURA .....	9
1.1 Funções da metionina no metabolismo animal.....	9
1.2 Fontes de metionina.....	10
1.3 Metabolismo da metionina .....	12
1.4 Exigência em aminoácidos sulfurados .....	14
1.5 Estimativa da bioeficácia de fontes nutricionais .....	15
2. OBJETIVOS .....	18
2.1 Objetivo Geral .....	18
2.2 Objetivos Específicos .....	18
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19
CAPÍTULO 2. BIOEFICÁCIA DA MHA EM RELAÇÃO À DLM PARA FRANGOS DE CORTE.....	25
Resumo .....	26
Abstract:.....	28
INTRODUÇÃO.....	29
MATERIAL E MÉTODOS.....	30
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Composição percentual e calculada das rações experimentais (1-21 e 22-42 dias de idade).....	32
Tabela 2. Desempenho de frangos de corte de 1-21 dias de idade alimentados com dietas suplementadas com diferentes fontes de metionina (DLM e MHA). ....	35
Tabela 3. Desempenho de frangos de corte de 22-42 dias de idade alimentados com dietas suplementadas com diferentes fontes de metionina (DLM e MHA). ....	37
Tabela 4. Rendimento de carcaça (%), rendimento de cortes (%), porcentagem de gordura abdominal e peso relativo do fígado (%) de frangos de corte abatidos aos 42 dias de idade, alimentados com dietas suplementadas com diferentes fontes de metionina (DLM e MHA).....	39

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1:

Figura 1. Metabolismo da metionina etapa de metilação – remetilação. ....	13
Figura 2. Metabolismo da metionina etapa de metilação – transulfuração. ....	14
Figura 3. Relação entre o nível de suplementação de um nutriente (produto) e a resposta animal demonstrando os três segmentos da curva exponencial de dose resposta. ....	16

### Capítulo 2:

Figura 1. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso (a) e na conversão alimentar (b) em frangos de corte de 1-21 dias de idade. ....	36
Figura 2. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso (a) e na conversão alimentar (b) em frangos de corte de 22-42 dias de idade. ....	38
Figura 3. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no rendimento de carcaça (a) e peito (b) para frangos de corte de 22-42 dias.....	41
Figura 4. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no rendimento de asa (a) e perna (b) para frangos de corte de 22-42 dias.....	41
Figura 5. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no rendimento de gordura abdominal (a) e fígado (b) para frangos de corte de 22-42 dias.....	42

## RESUMO

MARTINS, V. Fontes e níveis de metionina para frangos de corte. 2017. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

O objetivo do estudo foi avaliar a bioeficácia da Metionina Hidroxi Análoga (MHA) em relação à DL-Metionina (DLM) suplementada em diferentes níveis de metionina sobre o desempenho e rendimento de carcaça para frangos de corte nos períodos de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade. Foram utilizados seis tratamentos, arrançados em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3, com duas fontes de metionina (MHA e DLM) e três níveis de inclusão e um tratamento controle. Na fase 1 (1-21 dias) foram utilizados seis repetições por tratamento com 25 aves por unidade experimental (UE) com níveis de 0,72; 0,83 e 0,94% de DLM e MHA. Na fase 2 (22-42 dias) foram utilizados seis repetições por tratamento com 20 aves por UE com níveis de 0,68; 0,78 e 0,87% de DLM e de MHA. A relação entre as fontes foi estabelecida em 65%, para cada 1g de DLM foi utilizado 1,53g de MHA. As variáveis avaliadas em ambas as fases foram: peso médio, ganho de peso médio, consumo médio de ração e conversão alimentar. Aos 42 dias, duas aves por unidade experimental foram abatidas para avaliar o rendimento de carcaça, rendimento de cortes (peito, asas e pernas), percentual de gordura abdominal e peso relativo do fígado. Não houve interação ( $P>0,05$ ) entre as fontes e os níveis de metionina sobre o peso médio, ganho de peso, consumo médio de ração e conversão alimentar. Os resultados de rendimento de carcaça para o contraste 0,68% de DLM e MHA diferiram entre si, sendo que a DLM proporcionou um rendimento de carcaça (75,91%) e perna (28,79%) superior ao MHA (74,89%) e (26,42%), respectivamente. O rendimento de peito foi superior no contraste 0,78% para a DLM em relação a MHA, obtendo os valores 36,09% e 33,27%, respectivamente. A MHA apresentou uma bioeficácia média menor tanto em desempenho (88,5%) quanto em rendimento de carcaça (70,25%) quando comparada a fonte padrão. A DLM e MHA proporcionaram desempenho semelhante para frangos de corte de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade, considerando uma relação de 65% entre DLM e MHA. A MHA apresentou bioeficácia média para desempenho de 88,5% e para rendimento de carcaça de 70,25%.

**Palavras-chave:** Aminoácido, Bioeficácia, DL-Metionina, Metionina Hidroxi Análoga.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the bioefficacy of Methionine Hydroxy Analog (MHA) in relation to DL-Methionine (DLM) supplemented at different levels of methionine on performance and carcass yield for broiler chickens from 1 to 21 and from 22 to 42 days old. Six treatments were used, arranged in a completely randomized design, in a 2x3 factorial scheme, with two sources of methionine (MHA and DLM) and three levels of inclusion and a control treatment. In phase 1 (1-21 days) six replicates were used per treatment with 25 birds with levels of 0.72; 0.83 and 0.94% DLM and MHA. In phase 2 (22-42 days) six replicates were used per treatment with 20 birds with levels of 0.68; 0.78 and 0.87% of DLM and MHA. The relationship between the sources was established in 65%, for each 1g of DLM was used 1.54g of MHA. The variables evaluated in both phases were: mean weight, mean weight gain, mean feed intake and feed conversion. At 42 days, two birds per experimental unit were slaughtered to evaluate carcass yield, cut yield (chest, wings and legs), percentage of abdominal fat and relative liver weight. There was no interaction ( $P > 0.05$ ) between sources and methionine levels on mean weight, weight gain, mean feed intake and feed conversion. The results of carcass yield for the 0.68% contrast of DLM and MHA differed from each other, with DLM providing a carcass yield (75.91%) and leg (28.79%) higher than MHA (74, 89%) and (26.42%), respectively. Chest yield was higher in the 0.78% contrast for MCL compared to MHA, obtaining values 36.09% and 33.27%, respectively. MHA showed a lower mean bioefficacy in both performance (88.5%) and carcass yield (70.25%) when compared to the standard source. DLM and MHA provided similar performance for broilers from 1 to 21 and from 22 to 42 days of age, considering a 65% relationship between MLD and MHA. The MHA presented average bioefficacy for performance of 88.5% and for carcass yield of 70.25%.

Keywords: Amino acids, bioefficacy, DL-methionine, hydroxyl analogue methionine.

## **CAPÍTULO 1. METIONINA PARA FRANGOS DE CORTE**

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil destaca-se na atividade avícola, sendo que no ano de 2016, foi o segundo maior produtor mundial de carne de frango com uma produção de 12,9 milhões de toneladas, exportando deste montante aproximadamente 35%. O consumo de carne de frango também se destaca no mercado interno quando comparado às demais proteínas animais apresentando um consumo *per capita* em 2016 de 41,1 kg/habitante ano (ABPA, 2017).

Apesar do constante crescimento da cadeia avícola, o objetivo do setor não se limita apenas em aumentar o volume produzido, mas em obter um produto de qualidade e com custo de produção reduzido. Para tanto, avanços na genética, nutrição, manejo, sanidade e ambiência têm sido a base para manter esta eficiente produção. De todos os custos envolvidos na produção das aves, a alimentação é responsável pela maior parcela. Assim, os nutricionistas têm buscado constantemente programas nutricionais que atendam às exigências dos animais, proporcionando bom desempenho, com a melhor relação custo/benefício (PINHEIRO et al., 2011).

Com a disponibilidade de aminoácidos industriais e o conhecimento do valor de digestibilidade dos aminoácidos presentes nos alimentos, surgiu o conceito de proteína ideal, que se refere às dietas que possuem o perfil de aminoácidos nas proporções exatas, ou seja, sem deficiências ou excessos, garantindo a exigência para a manutenção e deposição máxima de proteína corporal pelo animal, garantindo uma redução dos custos de produção, pois possibilita a redução de proteína bruta da dieta (BERTECHINI, 2012).

A metionina é um aminoácido sulfurado essencial, considerado o primeiro aminoácido limitante para as aves, juntamente com a cistina. Estes aminoácidos participam da síntese de proteínas e outras funções fisiológicas (LIU et al., 2004; MUKWEVHO et al., 2014). Além disso, a metionina desempenha outra importante função no metabolismo dos seres vivos, pois é um dos aminoácidos codificados pelo código genético, sendo, um dos componentes das proteínas dos seres vivos, participando do início da codificação do RNA mensageiro (KIMBALL & JEFFERSON, 2004; FLORA et al., 2017).

Existem diversas fontes de metionina disponíveis comercialmente, sendo a DL-Metionina (DLM) e a metionina hidróxi análoga (MHA) as mais utilizadas na fabricação de rações. Essas duas fontes possuem diferenças tanto nas características físicas quanto químicas e metabólicas, sendo fundamental o conhecimento da utilização

biológica pela ave de cada uma delas (ELWERT et al., 2008; LEITE et al., 2009; SANGALI et al., 2014).

Diante disso, este estudo foi conduzido com o objetivo de comparar as fontes DLM e MHA de metionina na alimentação de frangos de corte. Sabe-se que a MHA tem de 88% de capacidade de fornecimento de metionina, entretanto segundo Jasman et al (2003) e outros autores, a capacidade de fornecimento da MHA é menor do que 88%, ficando em torno de 65%, dito isso, a comparação desse estudo foi com base numa bioeficácia de MHA de 65%.

A dissertação encontra-se dividida em dois capítulos. O Capítulo I apresenta uma revisão de literatura abordando aspectos relevantes sobre as fontes de metionina e sua utilização na nutrição de frangos de corte e sua bioeficácia. O Capítulo II, intitulado “Bioeficácia da MHA em relação à DLM para frangos de corte” teve como objetivo verificar a bioeficácia da MHA em comparação com a DLM, sendo suplementada em 3 níveis crescentes na dieta de frangos de corte.

## **1. REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.1 Funções da metionina no metabolismo animal**

A metionina é um aminoácido essencial sulfurado, considerado o primeiro limitante na nutrição de aves, indispensável nos processos fisiológicos das aves (LIU et al., 2004). No organismo do animal destaca-se por participar da síntese de proteínas, atua como precursora de aminoácidos sulfurados, como a cisteína, possuindo papel importante na formação das penas e pele (BUNCHASAK, 2009; MUKWEVHO et al., 2014; WEN et al., 2014; ZHANG et al., 2008).

Na síntese de proteína ela atua na formação do RNA mensageiro, que posteriormente se tornará DNA, pois o códon inicial da polimerização das proteínas é o AUG, que traduz a metionina. Sendo assim, toda polimerização se inicia com a adição do aminoácido metionina (FLORA et al., 2017).

Além disso, a metionina quando metabolizada no organismo do animal gera diversos metabólitos, dentre eles temos a S-adenosilmetionina que é o principal doador de radicais metil para o organismo do animal, sendo fundamentais para a biossíntese de diversas substâncias (creatina, carnitina, poliaminas, melatonina, epinefrina e colina) importantes para o crescimento e desenvolvimento das aves (NELSON & COX, 2014; ZHANG et al., 2008). Além disso, a metionina desempenha um papel importante no metabolismo dos fosfolipídios, onde seus radicais são utilizados na formação deste composto orgânico, sendo que sua falta acarreta em problemas hepáticos e renais (BUNCHASAK, 2009; METZLER-ZEBELI et al., 2009; KALINOWSKI et al., 2003).

A utilização de aminoácidos essenciais na formulação de dietas pelas indústrias possibilitou reduzir o nível de proteína bruta na ração, conseqüentemente diminuindo o custo de produção. Entretanto, a redução da proteína bruta acarreta numa diminuição de substrato para o organismo animal para a produção dos aminoácidos não essenciais, tornando-os muitas vezes essenciais. Quando ocorre essa falta de substrato, o organismo acaba por utilizar os aminoácidos essenciais para a produção dos não essenciais, aumentando a exigência do mesmo, com isso, se torna importante o fornecimento de aminoácidos não essenciais na dieta (BERTECHINI, 2012).

Um exemplo dessa utilização é o caso da cisteína, onde caso ocorra sua falta na dieta, o organismo do animal utiliza a metionina para converter em cisteína, todavia,



essa conversão não pode ser revertida, ou seja, o organismo não consegue catabolizar a cisteína em metionina (BROSNAN & BROSNAN, 2006; WU & DAVIS ALLEN, 2005). Além disso, a metionina e a cisteína são necessárias para a síntese de taurina, que é responsável por fornecer enxofre para o organismo animal.

Considerando o papel importante deste aminoácido no metabolismo do animal, dietas deficientes em metionina diminuem a eficiência alimentar, o teor de proteína da carcaça e ganho do peso do animal, além disso, podem estimular o consumo de ração, causando uma pior conversão alimentar e uma maior deposição de gordura pelas aves (CAREW et al., 2003).

## 1.2 Fontes de metionina

Existem diferentes fontes de metionina disponíveis no mercado, passíveis de serem utilizadas na fabricação de rações animais. Dentre elas destaca-se a DL-Metionina (DLM) na forma em pó ou na forma líquida e a metionina hidróxi análoga (MHA), também encontrada na forma em pó (MHA-Ca) como na forma líquida (MHA-FA) (LEMME et al., 2002).

Inúmeros trabalhos relatam as diferenças entre essas duas fontes, quanto sua eficiência, biodisponibilidade e bioeficácia (MEIRELLES et al., 2003; LIU et al., 2004; HOEHLER et al., 2005; PAYNE et al. 2006; SAUER et al., 2008; ELWERT et al., 2008; VIANA et al. 2009; ZELENKA et al. 2013). De fato, além das características físicas, as duas fontes apresentam diferença quanto a forma como o organismo animal absorve o aminoácido presente no produto (DREW et al., 2003).

Ao observar a estrutura química destas moléculas, a principal diferença entre a DLM em relação à MHA é a ausência do radical amina ( $\text{NH}_2$ ), que na MHA é substituído por uma hidroxila (OH), essas substâncias apresentam dois isômeros, ou seja, possuem a mesma fórmula molecular (carbono alfa assimétrico), sendo um desses isômeros na forma L (Levógira) e outro na forma D (Destrógira) (MOURA et al., 2010).

No entanto, a forma D é inativa biologicamente para o organismo, sendo assim, os isômeros D, após a absorção, precisam ser convertidos no fígado para a forma L para serem utilizados como componentes de proteína (RICHARDS et al., 2005; PILLAI et al., 2006; BERTECHINI, 2012).

Apesar do organismo do animal ser capaz de realizar esta conversão, existe um gasto energético, visto que há necessidade de produção das enzimas catalíticas

utilizadas nestas reações. Assim, durante o processo de conversão das formas dos isômeros no organismo animal parte da metionina pode ser perdida reduzindo a disponibilidade ativa deste aminoácido para a ave (WILLEMSSEN et al., 2011).

Todavia, para que os isômeros sejam convertidos na forma L (biologicamente ativa), as fontes de metionina precisam ser absorvidas pelo organismo animal. Essa absorção tem a membrana das células epiteliais como barreira natural. Essa membrana é composta de lipídios, fazendo com que os nutrientes solúveis em água (hidrofílicos) e moléculas polares que se ionizam no pH fisiológico necessitem de um sistema de transporte específico (BERTECHINI, 2012).

Para o nutriente passar por essa barreira natural existem diferentes sistemas de transportes, que podem demandar energia, chamados de transporte ativo, ou serem independentes de energia (transporte mediado por “carreadores”) ou ainda por difusão passiva, onde a passagem do nutriente ocorre de um meio com maior concentração para um meio com menor concentração (NELSON & COX, 2014).

A DL-Metionina é absorvida por transporte ativo (co-transporte ativo de sódio), enquanto a MHA utiliza o transporte mediado por carreadores. Esta diferença quanto ao sistema utilizado entre as fontes (DLM e MHA) se deve ao fato de não possuírem a mesma estrutura química, já o transporte mediado por carreadores, nesse caso, é menos eficiente do que o transporte ativo (DREW et al., 2003; NELSON & COX, 2014).

Além dos isômeros, o fato da DLM possuir um grupo amina e a MHA possuir um grupo hidroxila em sua estrutura molecular pode influenciar no aproveitamento das fontes de metionina pelo animal, devido o grupo hidroxila não ser absorvido como metionina, sendo necessária a substituição do OH pela NH<sub>2</sub> para que ocorra a absorção, conferindo a denominação de precursor de metionina aos análogos e não de aminoácido (LEITE et al., 2009; SANGALI et al., 2014).

Esta substituição é realizada no fígado das aves, onde os isômeros sofrem oxidação e posteriormente são convertidos em L-Metionina pelo processo de transaminação, reação esta que converte o MHA em uma molécula de metionina, com todas as suas funções biológicas (MARTÍN-VENEGAS et al., 2006; MOURA et al., 2010).

Nesse sentido, o isômero L da DLM não necessita sofrer alteração para ser utilizado na síntese proteica. No entanto, o isômero D da DLM e os isômeros L e D da MHA necessitam sofrer alterações metabólicas para que se convertam para a forma L-

metionina, tornando disponível sua utilização na síntese proteica (ROMBOLA et al., 2008; LEITE et al., 2009; MOURA et al., 2010).

### 1.3 Metabolismo da metionina

Após a absorção da fonte de metionina e posteriormente a sua conversão para a forma ativa L-Metionina, o organismo do animal consegue utilizá-la em diversas funções. Destaca-se, de um modo geral, a formação de proteína corporal, que é responsável por permitir com que o animal consiga expressar o máximo do seu potencial genético tanto para ganho de peso como para conversão alimentar (NELSON & COX, 2014; OLIVEIRA NETO, 2014).

O seu metabolismo é complexo e extremamente importante, pois a partir dele diversos compostos com funções fisiológicas são formados. O seu ciclo pode ser dividido em duas etapas, sendo que em cada uma ocorrem dois processos, entretanto nada impede que ocorram as duas etapas ao mesmo tempo, pois ambas estão interligadas, a primeira é a metilação com posterior remetilação (Figura 1). A segunda é a metilação com posterior transulfuração (Figura 2) (PILLAI et al., 2006; WATERLAND, 2006; OLIVEIRA NETO, 2014). O metabolismo da metionina tem sido definido em três etapas subsequentes (metilação, remetilação e transulfuração), reforçando assim a sua interligação entre os processos.

A metilação é a via onde a metionina é convertida em homocisteína e doa um grupo metil (CH<sub>3</sub>) para organismo animal, por isso o nome da etapa é metilação, esse grupo é utilizado na biossíntese e síntese de diversos compostos. Para que ocorra essa etapa, é necessária a transferência de adenosina para a metionina, sendo que a responsável por isso é a enzima metionina-adenosil-transferase, que utiliza uma molécula de adenosina trifosfato (ATP) como fonte de adenosina, transformando então a metionina em S-adenosil-metionina (SAM). Após essa transformação, outra enzima entra no processo, a metil-transferase (MT), responsável pela doação do grupo metil para o organismo do animal, com a saída desse grupo da SAM e a formação da S-adenosil-homocisteína (SAH). A última etapa desse processo de conversão é quando a enzima adenosil-homocisteína-hidroxilase hidrolisa a SAH, obtendo então a homocisteína (MUDD, et al., 2007; NELSON & COX, 2014).

A remetilação é o processo onde ocorre a introdução de um grupo metil na molécula de homocisteína e ela retorna a metionina e pode ocorrer por duas vias, sendo uma delas pelo ciclo do folato, onde o doador do metil é o N<sup>5</sup>-metiltetraidrofolato, que

após sofrer ação da enzima metionina-sintase (MS) o libera para a molécula de homocisteína, ao final de ciclo temos a formação de metionina e de tetraidrofolato (THF) que depois de oxidado atua na síntese de nucleotídeos. A outra via é a da betaína, onde a enzima betaína-homocisteína-metil-transferase (BHMT) catalisa o grupo metil ( $\text{CH}_3$ ) da betaína, formando a metionina e dimetilglicina, sendo essa a via menos eficiente devido a distribuição de BHMT ser limitada no organismo. Esse processo é importante para que se mantenha a metionina disponível e se obtenha outros compostos funcionais para o organismo (PILLAI et al., 2006; MUDD et al., 2007; WATERLAND, 2006; NELSON & COX, 2014; OLIVEIRA NETO, 2014).

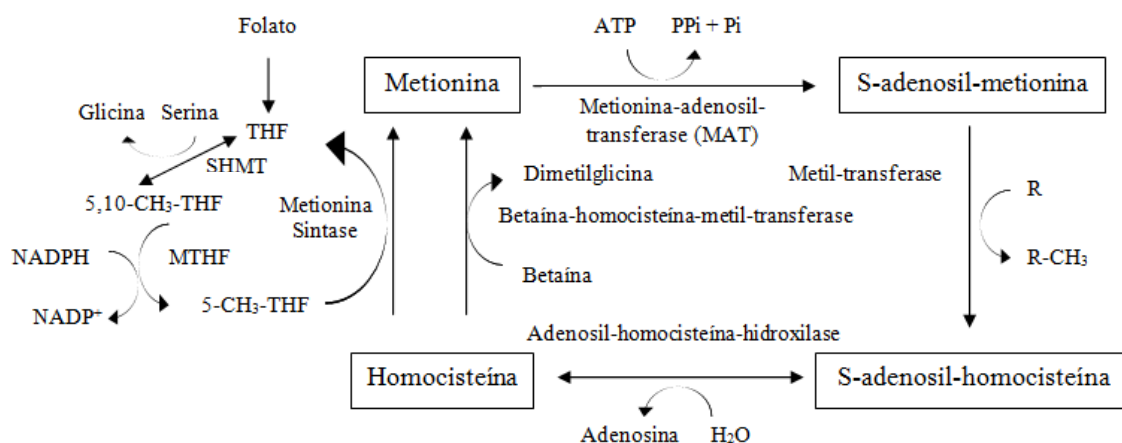


Figura 1. Metabolismo da metionina etapa de metilação – remetilação.

Fonte: Adaptado de Sangali (2016).

Quando a homocisteína não é convertida em metionina, ela segue para via de transulfuração, em que se obtêm como produto final uma molécula de cisteína, que ao se ligar com outra resulta na cistina. Nesse processo a homocisteína é transformada em cistationina primeiramente pela enzima cistationa  $\beta$ -sintase (CBS) transferindo o grupamento de enxofre (S) para uma molécula de serina. Posteriormente, a enzima cistationa  $\beta$ -liase (CGL) hidrolisa a cistationina, obtendo como um dos produtos finais a cisteína (PILLAI et al., 2006; MUDD et al., 2007).

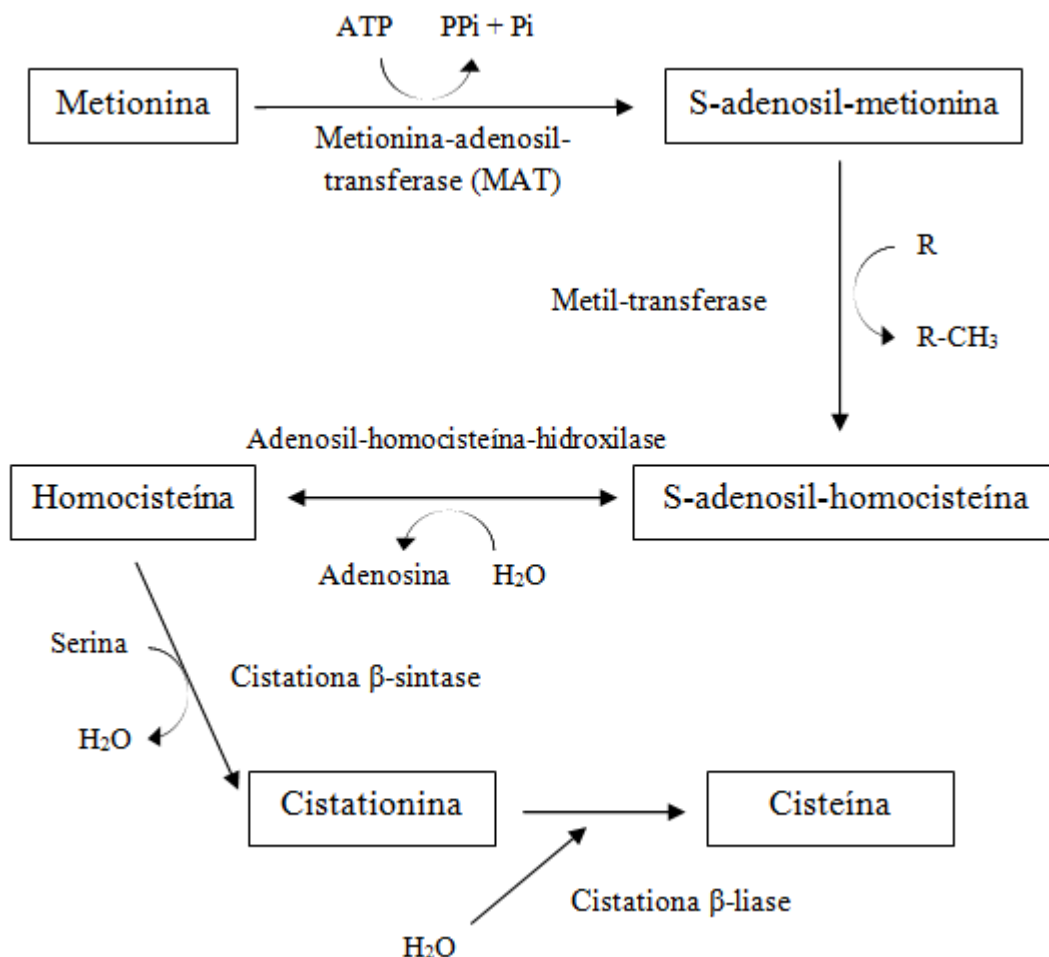


Figura 2. Metabolismo da metionina etapa de metilação – transulfuração.  
Fonte: Adaptado de Sangali (2016).

É importante salientar que os dois processos ocorridos na transulfuração são irreversíveis, mostrando o motivo das recomendações nutricionais relacionadas à metionina serem expressas como metionina+cistina, pois a metionina pode ser convertida em cisteína para suprir sua falta no organismo, entretanto o contrário não ocorre, prejudicando os processos fisiológicos e o desempenho do animal (OLIVEIRA NETO, 2014).

#### 1.4 Exigência em aminoácidos sulfurados

A exigência de um determinado nutriente é a quantidade necessária para que o animal possa suprir suas demandas de manutenção e produção em condições ambientais favoráveis (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2016).

Desta forma, à medida que a eficiência produtiva do animal aumenta embasada em avanços tecnológicos nas áreas da genética, ambiência, sanidade e equipamentos, a

exigência nutricional do animal também se modifica. Neste sentido, se compararmos as exigências de metionina + cistina digestível apresentada por Rostagno et al. (2011) para frangos de corte machos de desempenho regular, médio e superior para as fases pré-inicial, inicial, crescimento e final observamos valores de 0,939; 0,822; 0,763 e 0,707%, para frangos de desempenho regular, 0,944; 0,846; 0,787 e 0,737% para frangos de desempenho médio e 0,953; 0,876; 0,826 e 0,774%, para frangos de desempenho superior.

Mais recentemente, Rostagno et al. (2017) atualizaram as recomendações apresentando valores de exigência para o referido aminoácido para frangos de corte machos de desempenho regular-médio e médio-superior para as fases pré-inicial, inicial, crescimento e final de 0,967; 0,929; 0,832; 0,750% e 0,989; 0,966; 0,914; 0,790%, respectivamente. Sabendo desta variação, a utilização de diferentes dietas para aves se faz necessária para suprir as exigências em cada fase de desenvolvimento, proporcionando nutrientes para que o animal possa expressar o seu potencial genético.

Para determinar as exigências de frangos de corte, os fatores que levamos em consideração são: a redução do peso metabólico relativo e o aumento da capacidade de consumo em relação ao peso. Em adição, determinar a exigência nas diferentes fases de vida da ave proporciona um melhor desempenho e uma economia na formulação das dietas (BERTECHINI, 2012).

O sexo também é levado em consideração na exigência de frangos de corte, pois os machos apresentam um maior peso corporal em relação às fêmeas, além de possuírem metabolismo mais acelerado. Devido a isso, os machos são mais exigentes em nutrientes em comparação com as fêmeas (LANA et al, 2005).

### **1.5 Estimativa da bioeficácia de fontes nutricionais**

O termo bioeficácia pode ser definido como a eficiência com que um nutriente contido no alimento é ingerido, absorvido e convertido em sua forma ativa pelo organismo animal, como é o caso do aminoácido metionina, sendo necessária a conversão da DL-Metionina em L-Metionina (CASTENMILLER & WEST, 1998; MOURA, et al., 2010).

Para determinar a bioeficácia de um nutriente, é necessário conhecer a resposta do animal à suplementação do mesmo, levando em consideração parâmetros do seu desempenho, como ganho de peso e conversão alimentar. De forma geral, o desempenho das aves a determinado nutriente limitante segue a lei dos rendimentos

mínimos, que significa que o desempenho animal aumenta a cada incremento de um nutriente até que nenhuma unidade adicional do mesmo proporcione desempenho adicional (RODEHUTSCORD & PACK, 1999) (Figura 3).

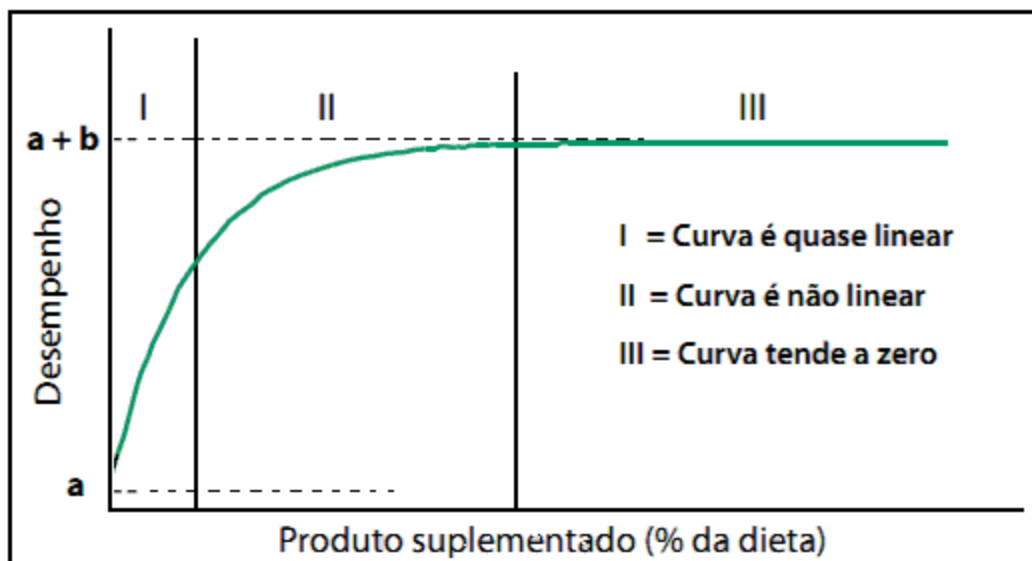


Figura 3. Relação entre o nível de suplementação de um nutriente (produto) e a resposta animal demonstrando os três segmentos da curva exponencial de dose resposta. Fonte: adaptado de Jansman et al. (2003).

A curva dose-resposta correspondente ao efeito da suplementação crescente de um aminoácido, em uma dieta deficiente do mesmo, sobre o desempenho animal, pode ser dividida em três fases. Na primeira fase, a curva aumenta praticamente de forma linear. Na segunda fase, a inclinação da curva diminui mesmo com o aumento da suplementação. Já na terceira fase, o aumento da inclinação da curva é praticamente zero, não atingindo a assíntota, ou seja, o ponto de máxima. Sendo assim, nesta fase um aumento do nível do produto suplementado não irá aumentar o desempenho do animal (TIMMLER & RODEHUTSCORD, 2003). Partindo desse ponto, para a comparação de diferentes fontes de metionina é necessário uma ração basal deficiente nesse aminoácido e no mínimo três níveis de suplementação adicionais de cada produto a ser analisado, obtendo assim as duas primeiras fases da curva de resposta (JANSMAN et al., 2003) (Figura 3).

Outro ponto essencial para uma melhor estimativa da bioeficácia de uma fonte nutricional é a escolha de modelos matemáticos que sejam adequados para analisar os dados obtidos. Conforme Littell et al. (1997), o modelo de regressão exponencial simultâneo (Equação 1) descreve de maneira eficiente as curvas de desempenho quando avaliado a suplementação com fontes diferentes de nutrientes, pois o modelo em

questão consegue determinar as estimativas imparciais da bioeficácia entre a substância de ensaio e a substância de referência. Segundo o mesmo autor, este modelo padroniza as análises estatísticas, conferindo uma precisão maior dos dados.

$$Y = a + b^{(1 - e^{-(c_1x_1 + c_2x_2)})} \dots\dots\dots(\text{Equação 1})$$

Em que: y = critério de desempenho (ganho de peso, conversão alimentar, rendimento de peito, etc), a = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto-y), b = resposta assintótica (diferença entre 'a' e assíntota), a + b = assíntota comum (nível de desempenho máximo), c1, c2, = coeficientes de regressão da curva para os produtos um e dois, respectivamente, e x1, x2, = representam o nível de suplementação de cada produto.

Entretanto, quando os dados experimentais se ajustam apenas com a primeira fase da curva de resposta (Figura 1), não se pode utilizar o modelo matemático de regressão exponencial, pois os dados não indicam uma assíntota. Logo, o conjunto de dados deve ser analisado pelo modelo de regressão linear simultânea ou *slope-ratio* (Equação 2) (LITTELL et al., 1997). Neste modelo, a bioeficácia relativa é calculada dividindo os coeficientes de regressão.

$$Y = a + (b_1x_1 + b_2x_2) \dots\dots\dots(\text{Equação 2})$$

Em que: Y = (variável analisada), a = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto-y), b1, b2, = coeficientes de regressão de cada reta e descrevem a inclinação da reta e “x1” e “x2” representam o nível de suplementação de cada produto (% da dieta).

Lemme et al. (2002) e Hoehler et al. (2005) confirmaram que a regressão linear simultânea é adequada na determinação da bioeficácia de diferentes fontes de metionina comparadas a DL-Metionina. De acordo com os resultados obtidos nestes experimentos, utilizando DL-Metionina diluída a 65%, os autores obtiveram valores de 65% e 67%, respectivamente, de bioeficácia, onde a hipótese testada era que se o modelo estivesse certo a bioeficácia da DLM diluída seria de 65%, não diferindo ou ficando muito próximo da hipótese testada. Esses resultados podem ser considerados como uma forma de validação do modelo matemático.



A utilização do modelo de regressão linear simultânea na determinação da bioeficácia dos análogos (MHA) em comparação com a DL-Metionina foi reforçada pelos trabalhos de Elwert et al. (2008) e Sauer et al. (2008).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a bioeficácia da MHA em relação à DLM e sua influência no desempenho de frangos de corte.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar a bioeficácia da MHA em comparação com a DLM e sua influência sobre o desempenho, rendimento de carcaça e cortes e peso relativo do fígado comparando os resultados obtidos em cada nível de suplementação das fontes.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA. Relatório anual ABPA 2016. Disponível em: [http://abpa-br.com.br/storage/files/versao\\_final\\_para\\_envio\\_digital\\_1925a\\_final\\_abpa\\_relatorio\\_anual\\_2016\\_portugues\\_web1.pdf](http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf). Acessado em 27 de junho 2017.

BERTECHINI, A.G. Nutrição de monogástricos. Lavras: UFLA, v.2, 2012. 373p.

BROSNAN, J.T.; BROSNAN, M.E. The sulfur-containing amino acids: an overview. *The Journal of nutrition*, v. 136, n. 6, p. 1636S-1640S, 2006.

BUNCHASAK, C. Role of dietary methionine in poultry production. *Japan Poultry Science*, v.46, p.169-179, 2009.

CAREW, L.B.; MCMURTRY, J.P.; ALSTER, F.A. Effects of methionine deficiencies on plasma levels of thyroid hormones, insulin-like growth factors -I and -II, liver and body weights, and feed intake in growing chickens. *Poultry Science*, v. 82, p. 1932-1938, 2003.

CASTENMILLER, J.J.; WEST, C.E. Bioavailability and bioconversion of carotenoids. *Annual Review of Nutrition*, v. 18, p.19-38, 1998.

DREW, M.D.; VAN KESSEL, A.G.; MAENZ, D.D. Absorption of methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid in conventional and germ-free chickens. *Poultry Science*, v. 82, p. 1149-1153, 2003.

ELWERT, C.; FERNANDES, E.A.; LEMME, A. Biological effectiveness of methionine ydroxyl-analogue calcium salt in relation to DL-Methionine in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 21, n. 10, p. 1506-1515, 2008.

FLORA, R.P.D.; DIONELLO, N.J.L.; BENITEZ, L.; GERMANO, J.M.; GOTUZZO, A.G.; FREITAS, S. IGF-I and GHR gene expression in liver and breast muscle of meat

quails supplemented with different levels of methionine in two successive generations. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.69, n.1, p. 205-213, 2017.

HOEHLER, D.; LEMME, A.; JENSEN, S.K.; VIEIRA, L. Relative Effectiveness of methionine sources in diets for broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, v.14, p.679-693, 2005.

JANSMAN, A.J.M.; KAN, C.A.; WIEBENGA, J. Comparison of the biological efficacy of DL-methionine and hydroxyl-4-methyl-thiobutanoic acid (HMB) in pigs and poultry. Centraal Veevoederbureau (CVB, Central Bureau for Livestock Feeding), The Netherlands 2003, Documentation Report No. 29.

KALINOWSKI, A.; MORAN JR., E.T.; WYATT, C. Methionine and cystine requirements of slow- and fast-feathering male broilers from three to six weeks of age. *Poultry Science*, v.82, p.1428-1437, 2003.

KIMBALL, S.R.; JEFFERSON, L.S. Amino acids as regulators of gene expression. *Nutrição & Metabolismo*, v.1, n. 3, p. 1-10, 2004.

LANA, S.R.V.; OLIVEIRA, R.F.M; DONZELE, J.L; ALBINO, L.F.T; VAZ, R.G.M.V.; REZENDE, W.O. Níveis de lisina digestível em rações para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade mantidos em ambiente de termoneutralidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, p.1614-1623, 2005.

LEITE, R.S.; ROCHA J.S.R.; MICHEL B.C.; LARA L.J.C; ORNELAS E.A.; CANÇADO S.V.; BAIÃO N.C. 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*, v. 61, n.5, p.1120- 1127, 2009.

LEMME, A.; HOEHLER, D.; BRENNAN, J.J.; MANNION, P.F. Relative effectiveness of methionine hydroxy analog compared to DL-Methionine in broiler chick. *Poultry Science*, v.81, p.838-845, 2002.

LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; LEWIS, A.J.; AMMERMAN, C.B. Estimation of relative bioavailability of nutrients using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, v. 75, p. 2672-2683, 1997.

LIU, Z.; BATEMAN, A.; BRYANT, M.; ABEBE, A.; ROLAND, D. Estimation of bioavailability of DL-Metionina hydroxy analogue relative to DL-Metionina in layers with exponential and slope-ratio models. *Poultry Science*, v.83, p.1580-1586, 2004.

MARTÍN-VENEGAS, R.; GERAERT, P.A.; FERRER, R. Conversion of the methionine hydroxy analogue DL-2-hydroxy-(4-methylthio) butanoic acid to sulfur-containing amino acids in the chicken small intestine. *Poultry Science*, v. 85, p.1932–1938, 2006.

MEIRELLES, H.T.; ALBUQUERQUE, R.; BORGATTI, L.M.O.; SOUZA, L.W.O.; MEISTER, N.C.; LIMA, F.R. Performance of broilers fed with different levels of methionine hydroxy analogue and DL-Methionine. *Brazilian Journal of Poultry Science*, v.5, p.69-74, 2003.

METZLER-ZEBELI, B.U.; EKLUND, M.; MOSENTHIN, R. Impact of osmoregulatory and methyl donor functions of betaine on intestinal health and performance in poultry. *World's Poultry Science Journal*, v. 65, n. 3, p. 419-442, 2009.

MOURA, A.M.A.; MELO, T.V.; MIRANDA, D.J.A. Utilização da DL-metionina e metionina hidroxí-análoga na alimentação de aves. *Revista de Ciência da Produção Animal*, v.67, n.1, p. 97-107, 2010.

MUDD, S.H.; BROSNAN, J.T.; BROSNAN, M.E.; JACOBS, R.L.; STABLER, S.P.; ALLEN, R.H.; VANCE, D.E.; WAGNER, C. Methyl balance and transmethylation fluxes in humans. *The American Journal Clinical Nutrition*, v. 85, p.19–25, 2007.

MUKWEVHO, E.; FERREIRA, F.; AYELESO, A. Potential role of sulfur-containing antioxidant systems in highly oxidative environments. *Molecules*, v.19 p.19376–19389, 2014.

NELSON, D.L.; COX, M.M. Princípios de Bioquímica de Lehninger. 6th ed., Artmed, Porto Alegre, 2014.

OLIVEIRA NETO, AR. Metabolismo e exigência de metionina. In: SAKOMURA, N.K., SILVA, J.H.V., COSTA, F.G.P., FERNANDES, J.B.K., HAUSCHILD, L. Nutrição de não ruminantes. Jaboticabal/Brasil: Funep, p. 186-217, 2014.

PAYNE, R.L.; LEMME, A.; SEKO, H.; HASHIMOTO, Y.; FUJISAKI, H.; KORELESKI, J.; SWIATKIEWICZ, S.; SZCZUREK, W.; ROSTAGNO, H. Bioavailability of methionine hydroxy analog-free acid relative to DL-Methionine in broilers. *Animal Science Journal*, v.77, p.427-439, 2006.

PILLAI, P.B.; FANATICO, A.C.; BEERS, K.W.; BLAIR, M.E.; EMMERT, J.L. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline and betaine. *Poultry Science*, v. 85, p.90-95, 2006.

PINHEIRO S.R.F.; SAKOMURA N.K.; NASCIMENTO D.C.N.; DOURADO L.R.B.; FERNANDES J.B.K.; THOMAZ M.C. Níveis nutricionais de fósforo disponível para aves de corte ISA Label criadas em semiconfinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 2, p. 361-369, 2011.

RICHARDS, J.D.; ATWELL, C.A.; VAQUEZ-ANON, M.; DIBNER, J.J. Comparative in vitro and in vivo absorption of 2- hydroxy-4methylthio butanoic acid and methionine in the broiler chicken. *Poultry Science*, v. 84, p. 1397-1405, 2005.

RODEHUTSCORD, M.; PACK, M. Estimates of essential amino acid requirements from dose-response studies with rainbow trout and broiler chicken: Effect of mathematical model. *Archives of Animal Nutrition*, v.52, p.223-244, 1999.

ROMBOLA, L.G.; FARIA D.E.; DEPONTI B.J.; SILVA F.H.A.; FILHO D.E.F.; JUNQUEIRA O.M. Fontes de metionina em rações formuladas com base em aminoácidos totais ou digestíveis para frangas de reposição leves e semipesadas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n.11, p.1990-1995, 2008.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 3ª u. UFV/DZO, 2011, 252p.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; ABREU, M.L.T.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 4ª ed. UFV/DZO, 2017, 488p.

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

SANGALI, C.P.; BRUNO, L.D.G.; NUNES, R.V.; OLIVEIRA NETO, A.R.D.; POZZA, P.C.; OLIVEIRA, T.M.M.D.; SCHÖNE, R.A. Bioavailability of different methionine sources for growing broilers. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 43, n. 3, p. 140-145, 2014.

SANGALI, C.P. NÍVEIS DE METIONINA + CISTINA E SUPLEMENTAÇÃO DE VITAMINA B6 PARA SUÍNOS MACHOS CASTRADOS E FÊMEAS DOS 75 AOS 100 KG. Tese (Doutorado em Zootecnia) Maringá – PR, Universidade Estadual de Maringá, 2016, 118p.

SAUER, N.; EMRICH, K.; PIEPHO, H.P.; LEMME, A.; REDSHAW, M.S.; MOSENTHIN, R. Meta-analysis of the relative efficiency of methionine-hydroxy-analogue-free-acid compared with DL - Methionine in broilers using nonlinear mixed models. Poultry Science, v.87, p. 2023-2031, 2008.

TIMMLER, R.; RODEHUTSCORD, M. Dose-response relationships for valine in the growing White Pekin duck. Poultry Science, v.82, p.1755-1762, 2003.

VIANA, M.T.S.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S.; BARRETO, S.L.T.; CARVALHO, D.C.O.; GOMES, P.C. Fontes e níveis de metionina em dietas para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.9, p.1751-1756, 2009.

WATERLAND, R.A. Assessing the effects of high methionine intake on DNA methylation. *Journal of Nutrition*, v.136, p.1706-1710, 2006.

WEN, C.; CHEN, X.; CHEN, G.Y.; WU, P.; CHEN, Y.P.; ZHOU, Y.M.; WANG, T. Methionine improves breast muscle growth and alters myogenic gene expression in broilers. *Journal of Animal Science*, v. 92, p.1068-1073, 2014.

WILLEMSSEN H.; SWENNEN Q.; EVERAERT N.; GERAERT P.A.; MERCIER Y.; STINCKENS A.; DECUYPERE E.; BUYSE J. Effects of dietary supplementation of methionine and its hydroxy analog DL-2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid on growth performance, plasma hormone levels, and the redox status of broiler chickens exposed to high temperatures. *Poultry Science*, v.90, p. 2311-2320, 2011.

WU G.; DAVIS ALLEN, D. Interrelationship among methionine, choline, and betaine in channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 36, n. 3, p. 337-345, 2005.

ZELENKA, J.; HEGER, J.; MACHANDER, V.; WILTAFSKY, M.; LEŠTÁK, M. Bioavailability of liquid methionine hydroxy analogue-free acid relative to DL-Methionine in broilers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, n. 5, p. 1513-1520, 2013.

ZHANG, L.B.; GUO, Y.M. Effects of liquid DL-2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid on growth performance and immune responses in broiler chickens. *Poultry Science*, v. 87, n. 7, p. 1370-1376, 2008.

**CAPÍTULO 2. BIOEFICÁCIA DA MHA EM RELAÇÃO À DLM PARA FRANGOS DE CORTE**



**Resumo:**

O objetivo do estudo foi avaliar a bioeficácia da Metionina Hidroxi Análoga (MHA) em relação à DL-Metionina (DLM) suplementada em diferentes níveis de metionina sobre o desempenho e rendimento de carcaça para frangos de corte nos períodos de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade. Foram utilizados seis tratamentos, arranjados em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3, com duas fontes de metionina (MHA e DLM) e três níveis de inclusão e um tratamento controle. Na fase 1 (1-21 dias) foram utilizados seis repetições por tratamento com 25 aves por unidade experimental (UE) com níveis de 0,72; 0,83 e 0,94% de DLM e MHA. Na fase 2 (22-42 dias) foram utilizados seis repetições por tratamento com 20 aves por UE com níveis de 0,68; 0,78 e 0,87% de DLM e de MHA. A relação entre as fontes foi estabelecida em 65%, para cada 1g de DLM foi utilizado 1,53g de MHA. Os parâmetros avaliados em ambas as fases foram o peso médio, ganho de peso, consumo médio de ração e conversão alimentar. Aos 42 dias, duas aves por unidade experimental foram abatidas para avaliar o rendimento de carcaça, rendimento de cortes (peito, asas e pernas), percentual de gordura abdominal e peso relativo do fígado. As variáveis observadas foram submetidas à análise de variância com posterior desdobramento em contrastes ortogonais agrupando as diferentes fontes de metionina em cada nível avaliado. A bioeficácia foi calculada utilizando os tratamentos com DLM e MHA como variável dependente (y), e o consumo de metionina da dieta basal como variável independente (x), o modelo matemático utilizado foi o de regressão linear simultâneo ou regressão exponencial simultâneo (optando pelo modelo de melhor ajuste aos dados). Não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre as duas fontes utilizadas de metionina e os níveis estudados para as variáveis de peso médio, ganho de peso, consumo médio de ração e conversão alimentar. Os resultados de rendimento de carcaça para o contraste 0,68% de DLM e MHA diferiram entre si, sendo que a DLM proporcionou um rendimento de carcaça (75,91%) e perna (28,79%) superior ao MHA (74,89%) e (26,42%), respectivamente. O rendimento de peito foi superior no contraste 0,78% da DLM em relação à MHA, obtendo os valores 36,09% e 33,27%, respectivamente. A MHA apresentou uma bioeficácia média menor tanto em desempenho (88,5%) quanto em rendimento de carcaça (70,25%) quando comparada a fonte padrão (DLM). O desempenho das aves tanto na fase de 1-21 quanto na de 22-42 dias de idade foi semelhante. Entretanto, para o rendimento de carcaça, rendimento de peito e perna a suplementação de metionina via DLM apresentou melhores resultados em relação à MHA.

**Palavras-chave:** Aminoácidos, Bioeficácia, Desempenho produtivo, DL-Metionina, Metionina Hidroxi Análoga, Rendimento de carcaça.

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the bioefficacy of Methionine Hydroxy Analog (MHA) in relation to DL-Methionine (DLM) supplemented at different levels of methionine on performance and carcass yield for broiler chickens from 1 to 21 and from 22 to 42 days old. Six treatments were used, arranged in a completely randomized design, in a 2x3 factorial scheme, with two sources of methionine (MHA and DLM) and three levels of inclusion and a control treatment. In phase 1 (1-21 days) six replicates were used per treatment with 25 birds with levels of 0.72; 0.83 and 0.94% DLM and MHA. In phase 2 (22-42 days) six replicates were used per treatment with 20 birds with levels of 0.68; 0.78 and 0.87% of DLM and MHA. The relationship between the sources was established in 65%, for each 1g of DLM was used 1.53g of MHA. The parameters evaluated in both were the average weight, weight gain, average feed intake and feed conversion. At 42 days, two birds per experimental unit were slaughtered to evaluate carcass yield, cut yields (breast, wings, legs), percentage of abdominal fat and relative liver weight. The observed variables were submitted to analysis of variance with posterior unfolding in orthogonal contrasts grouping the different sources of methionine in each evaluated level. The bioefficacy was calculated using the DLM and MHA treatments as a dependent variable (y), and the methionine consumption of the basal diet as an independent variable (x), the mathematical model used was simultaneous linear regression or simultaneous exponential regression (choosing the most adequate results obtained). There was no interaction ( $P > 0.05$ ) between the two methionine sources used and the levels studied for the variables of average weight, weight gain, mean feed intake and feed conversion. The cut yield results for contrast 0.68% of DLM and MHA differed from each other, with DLM providing a carcass yield (75.91%) and leg (28.79%) greater than MHA (74.89%) and (26.42%), respectively. The chest yield was higher in the contrast 0.78% DLM than in the MHA, obtaining values 36.09% and 33.27%, respectively. MHA showed lower bioeffectiveness mean in both performance (88.5%) and carcass yield (70.25%) when compared to the standard source (DLM). The performance of the birds in both the 1-21 and the 22-42 days of age was similar. However, for the carcass yield, breast and leg yield, methionine supplementation by DLM presented better results in relation to MHA.

**Key words:** Amino acids, Bioefficacy, Carcass yield, DL-Methionine, Productive performance, Methionine Hydroxy analogue.

## INTRODUÇÃO

A criação de frangos de corte vem crescendo nos últimos anos, resultado de pesquisas nas áreas de nutrição, melhoramento genético e de avanços tecnológicos, permitindo que as aves alcancem melhor desempenho produtivo e um maior rendimento de carcaça e cortes, visando atender às tendências do mercado consumidor e garantindo lucratividade ao setor.

No âmbito nutricional, pesquisas relativas à comparação e bioeficácia de nutrientes, principalmente de aminoácidos essenciais, permitem a otimização do desempenho dos animais e redução dos custos de produção.

O objetivo de utilizar aminoácidos industriais em larga escala visa suprir às exigências de aminoácidos das aves, sem deficiências ou excessos, com garantia de redução do custo de produção, devido a suplementação propiciar redução do nível de proteína bruta utilizado sem comprometer o desempenho das aves (BERTECHINI et al, 2012).

Dentre os aminoácidos, a metionina é classificada nutricionalmente como essencial, pertencente ao grupo dos sulfurados, considerado o primeiro aminoácido limitante para as aves, juntamente com a cistina. Estes aminoácidos são exigidos pelas aves em maior quantidade, quando comparado aos demais, por estarem envolvidos em várias funções fisiológicas, como síntese de proteínas, formação das penas e pele (BUNCHASAK; KEAWARUN 2006; MUKWEVHO et al., 2014).

Atualmente existem diversas fontes de metionina no mercado, sendo as mais utilizadas na atividade avícola a DL - Metionina (DLM) com 99% de pureza e a metionina hidróxi análoga (MHA) com 88% de substâncias ativas. Muito se tem discutido sobre a eficiência dos análogos da metionina (MHA) e sua influência no desempenho das aves (LIU et al., 2006; PAYNE et al., 2006; VIANA et al., 2009; ZELENKA et al., 2013).

Existem diversos fatores que interferem na bioeficácia das diferentes fontes de metionina. Dentre esses fatores podemos citar a diferença de estrutura química, que afeta o mecanismo de absorção e conseqüentemente as rotas metabólicas (NELSON & COX, 2014).

Quanto à bioeficácia da MHA, comumente utilizada pelos nutricionistas em suas formulações, ainda existem controvérsias entre os pesquisadores, variando entre 65% a 100% (VISENTINI et al., 2005; LEITE et al., 2009; VIANA et al., 2009; ZELENKA et

al., 2013). A falta de consenso com relação à substituição da DLM pelos análogos reforça a necessidade de pesquisas nesta área. A determinação real do valor nutritivo da MHA, bem como da sua bioeficácia, contribui para a formulação de dietas adequadas, podendo beneficiar diretamente a produção animal.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar duas fontes de metionina (DLM e MHA) com diferentes níveis de suplementação nas rações sobre o desempenho e rendimento de carcaça, percentual de gordura abdominal e peso relativo do fígado de frangos de corte bem como estimar o valor da bioeficácia da MHA em comparação a DLM.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no setor de Avicultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), *Campus* de Marechal Cândido Rondon – PR.

As aves foram alojadas em galpão de alvenaria, com pé direito de 3,0 m, contendo muretas laterais de 0,30 m, cortinas, tela, cobertura com telhas de cerâmica francesa provida de lanternim, subdividido em 42 boxes com dimensão de 1,30 x 1,35 m, com piso de cimento. Foi utilizado maravalha como cama sobreposta (altura de 10 cm). O manejo adotado para a cama consistiu em revolvimento da mesma semanalmente e substituição das partes molhadas por cama nova e seca.

Ração e água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental, utilizando comedouro tipo tubular e bebedouros tipo nipple.

O sistema de aquecimento adotado foi o elétrico, utilizando lâmpadas de infravermelho de 250 W. Foi instalada uma lâmpada por box, cuja altura e acionamento foram regulados conforme o crescimento das aves, mantendo assim os valores de temperatura o mais próximo possível da faixa de conforto térmico de cada semana de vida das aves. O programa de iluminação utilizado foi contínuo, com 24 horas de luminosidade (luz natural e artificial).

As variáveis ambientais de temperatura e umidade relativa do ar foram registradas diariamente utilizando dois termo-higrômetros de máxima e mínima, sendo as leituras realizadas três vezes ao dia, durante todo o período experimental, obtendo as médias de temperatura, mínima e máxima de 17,2°C - 29,7°C e umidade, mínima e máxima, de 43,1% - 76,9%, no período de 1 a 21 dias e 18,3°C - 33,2°C e 26,8% - 83,4%, respectivamente, para o período de 22 a 42 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3 (duas fontes de metionina (DLM e MHA) e três níveis crescentes de inclusão de cada fonte de metionina – 0,72; 0,83 e 0,94% (1-21 dias) e 0,68; 0,78 e 0,87% (22-42 dias), com seis repetições e 25 aves por unidade experimental (UE) no período de 1-21 dias de idade (Fase I) e 20 aves por UE no período de 22 a 42 dias de idade (Fase II) e mais 1 tratamento controle, com uma dieta basal, cujo dados obtidos foram utilizados apenas para calcular a bioeficácia das fontes analisadas.

As dietas experimentais foram obtidas a partir de uma ração deficiente em metionina + cistina digestível (M+C dig). As rações basais de 1 a 21 dias de idade (Tabela 1) e de 22 a 42 dias de idade (Tabela 2) foram formuladas para atender às exigências nutricionais das aves nestes períodos, segundo as recomendações de Rostagno et al. (2011), com exceção dos níveis de M+C digestíveis.

Para obtenção de todas as rações experimentais, foi utilizada a técnica da diluição proposta por Sakomura e Rostagno (2016). Assim para este procedimento apenas a ração basal e as rações contendo os níveis máximos de inclusão de cada fonte 0,94% e 0,87%, 1-21 dias e 22-42 dias, respectivamente foram processadas individualmente.

A bioequivalência, que é a capacidade de fornecimento de metionina pela fonte, utilizada foi de 65%, ou seja, a DLM foi suplementada numa relação de 65:100 em comparação aos níveis de MHA, visto que inúmeros trabalhos obtiveram um valor de 65% de capacidade de fornecimento de metionina pela MHA em comparação a DLM (LEMME et al., 2002; HOEHLER et al., 2005; SAUER et al., 2008). Com isso, admitiu-se que a capacidade de fornecimento de metionina pela MHA é inferior aos 88% descritos na fabricação do produto.

Tabela 1. Composição percentual e calculada das rações experimentais (1-21 e 22-42 dias de idade).

Ingredientes	1-21 dias de idade			22-42 dias de idade		
	Basal	DLM (0,938)	MHA (0,942)	Basal	DLM (0,874)	MHA (0,877)
Milho	57,101	56,775	56,579	63,500	63,214	63,060
Farelo de soja 45%	31,100	31,100	31,100	22,550	22,550	22,550
Óleo Soja	4,500	4,500	4,500	4,578	4,578	4,578
Farinha de Carne	3,300	3,300	3,300	3,500	3,500	3,500
Farinha de Vísceras	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Calcário	0,550	0,550	0,550	1,900	1,900	1,900
Sal comum	0,290	0,290	0,290	0,633	0,633	0,633
Bicarbonato de Sódio	0,100	0,100	0,100	0,210	0,210	0,210
DL - Metionina (99%)	0,000	0,326	0,000	0,000	0,286	0,000
MHA (88%)	0,000	0,000	0,501	0,000	0,000	0,440
L-Treonina 98%	0,069	0,069	0,090	0,366	0,366	0,366
L-Lis.HCl 78%	0,290	0,290	0,290	0,063	0,063	0,063
Suplemento mineral e vitamínico*	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
<b>Total</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>
Valores calculados (%)						
EMA (kcal/kg)	3.174	3.174	3.174	3.275	3.275	3.275
Proteína Bruta	22,50	22,50	22,50	21,00	21,00	21,00
Cálcio	0,960	0,960	0,960	0,880	0,880	0,880
Fósforo Disponível	0,480	0,480	0,480	0,440	0,440	0,440
Sódio	0,190	0,190	0,190	0,160	0,160	0,160
M+C Dig. 65	0,616	0,938	0,942	0,591	0,874	0,877
Lisina Dig.	1,250	1,250	1,250	1,150	1,150	1,150
Treonina Dig.	0,813	0,813	0,813	0,748	0,748	0,748
Triptofano Dig.	0,214	0,214	0,214	0,183	0,183	0,183
Valina Dig.	0,902	0,902	0,902	0,865	0,865	0,865
Arginina Dig	1,341	1,341	1,341	1,192	1,192	1,192
Isoleucina Dig.	0,797	0,797	0,797	0,729	0,729	0,729

\*Suplementação de vitaminas, minerais e aditivos por kg de ração: vitamina A, 10.000 UI; vitamina D3, 2.500 UI; vitamina E, 20,83 UI; vitamina K3, 1,67 mg; vitamina B1, 2,08 mg; vitamina B2, 5,42 mg; vitamina B6, 2,92 mg; vitamina B12, 15 µg; Ácido fólico, 1,00 mg; Ácido nicotínico, 35,00 mg; Ácido pantotênico, 12,05 mg; Colina, 278,44 mg; Biotina, 0,07 mg; Ferro, 45 mg; Cobre, 8 mg; Zinco, 110 mg; Zinco orgânico, 40 mg; Iodo, 0,8 mg; Selênio, 0,4 mg; Selênio orgânico, 0,1 mg; Manganês, 75 mg.

Em ambas as fases, semanalmente foram realizadas as pesagens de ração e das aves, para o cálculo do ganho de peso, consumo médio de ração e a conversão alimentar. O consumo médio de ração foi calculado em gramas (g), pela diferença entre a ração fornecida e a sobra do comedouro, em cada unidade experimental. O ganho de peso, expresso em gramas, foi calculado como a diferença entre os pesos inicial e final das aves em cada unidade experimental. A conversão alimentar (g/g) foi calculada pela divisão entre o consumo médio da ração e ganho de peso médio das aves de cada unidade experimental (UE).

Aos 42 dias de idade, duas aves foram selecionadas aleatoriamente pelo peso médio da UE ( $\pm 5\%$ ), após um jejum alimentar de seis horas, foram abatidas por deslocamento cervical, e após sangria, escaldagem, depena e evisceração, foi realizado o rendimento de carcaça, rendimento de cortes, percentagem de gordura abdominal e peso relativo do fígado (% do peso vivo).

Para o rendimento de carcaça utilizou-se o peso da carcaça eviscerada (sem cabeça, pés, pescoço e gordura abdominal) em relação ao peso da ave viva antes do abate e para o rendimento de cortes (peito, asas e pernas) foi considerado o peso da carcaça eviscerada. Como gordura abdominal foi considerada aquela depositada próxima à bolsa cloacal e moela.

O ganho de peso, conversão alimentar, rendimento de carcaça e cortes foram utilizados como critérios para a determinação da bioeficácia relativa da nas fases de 1 a 21 dias e de 22 a 42 dias de idade. A bioeficácia do rendimento de carcaça, cortes, percentual de gordura abdominal e peso relativo do fígado foi realizado considerando os dados obtidos aos 42 dias de idade.

Os modelos matemáticos utilizados para determinar a bioeficácia da MHA em relação à DLM foram o modelo de regressão exponencial simultânea para respostas não-lineares (Equação 1) e o modelo de regressão linear simultânea ou *slope-ratio* para as respostas lineares (Equação 2), como sugerido por Littell et al. (1997).

$$Y = a + b \cdot (1 - e^{-(c_1x_1 + c_2x_2)}) \dots\dots\dots(\text{Equação 1})$$

Em que: y = critério de desempenho (ganho de peso, conversão alimentar, rendimento de peito, etc), a = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto-y), b = resposta assintótica (diferença entre 'a' e assíntota), a + b = assíntota comum (nível de



desempenho máximo),  $c_1$ ,  $c_2$ , = coeficientes de regressão da curva para os produtos um e dois, respectivamente, e  $x_1$ ,  $x_2$ , = representam o nível de suplementação de cada produto.

$$Y = a + (b_1x_1 + b_2x_2) \dots\dots\dots(\text{Equação 2})$$

Em que:  $y$  = (ganho de peso, conversão alimentar, etc),  $a$  = desempenho obtido com a dieta basal (intercepto- $y$ ),  $b_1$ ,  $b_2$ , = coeficientes de regressão de cada reta e descrevem a inclinação da reta e “ $x_1$ ” e “ $x_2$ ” representam o nível de suplementação de cada produto (% da dieta).

Neste sentido, a bioeficácia pode ser determinada pela relação entre os coeficientes de regressão  $c_2/c_1$  (para respostas não lineares) e  $b_2/b_1$  (para respostas lineares) (LITTELL et al., 1997).

A metionina proveniente da DL - Metionina foi considerada como 100% disponível e os valores de bioeficácia relativa da metionina na MHA foram avaliados pela relação dos coeficientes de regressão, dividindo o valor obtido da MHA pelo valor obtido pela DLM em cada variável analisada.

As figuras com os gráficos apenas ilustram o comportamento da curva de desempenho do animal suplementado com cada uma das fontes, partindo como base dos resultados da dieta basal. As equações estão agrupando a interferência das duas fontes sobre aquela variável, porém a leitura é feita de forma separada, agrupamento esse que mostra quais são os coeficientes da DLM e MHA usados no cálculo da bioeficácia.

Os dados de desempenho foram analisados, utilizando o Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG (UFV, 2000). Foi realizado a análise de variância, e posterior desdobramento em contrastes ortogonais agrupando as diferentes fontes de metionina em cada nível avaliado, aplicando o teste F a 5% de probabilidade. Os dados de bioeficácia foram analisados utilizando o general linear models procedure (GLM) do programa computacional SAS (Statistical Analysis System, 1996).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados obtidos, observa-se que no período de 1 a 21 dias de idade (Tabela 2), as variáveis de peso médio, ganho de peso, consumo médio de ração e

conversão alimentar não apresentaram diferença ( $P>0,05$ ), pelo teste F, em cada nível de Metionina + Cistina digestível estudado, evidenciando que ambas as fontes de metionina estudadas são igualmente eficientes para o desempenho do animal.

Tabela 2. Desempenho de frangos de corte de 1-21 dias de idade alimentados com dietas suplementadas com diferentes fontes de metionina (DLM e MHA).

DLM/MHA	Peso (g)		Ganho peso (g)		Consumo ração (g)		CA (g/g)	
	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA
0,72	983,11	995,01	935,00	946,91	1169,65	1172,25	1,251	1,238
0,83	1006,76	1007,23	958,52	959,09	1177,68	1168,33	1,229	1,218
0,94	1027,17	1012,39	978,98	964,26	1165,81	1153,69	1,191	1,196
Contraste ortogonal (Teste F – $P<0,05$ )								
0,72	0,229		0,230		0,882		0,438	
0,83	0,965		0,957		0,476		0,471	
0,94	0,168		0,169		0,533		0,657	

DLM = DL-Metionina; MHA = Metionina Hidroxi Análoga; CA= Conversão Alimentar.

Em comparação com as aves alimentadas com a dieta basal, que tiveram um desempenho de 833,46 gramas para ganho de peso e 1,346 g/g para conversão alimentar, as aves suplementadas com o maior nível de DLM e MHA obtiveram um desempenho superior para ganho de peso (14,86% para DLM e 13,56% para MHA) e para conversão alimentar (11,51% para DLM e 11,14% para MHA), demonstrando que independentemente da fonte utilizada, se faz necessária a suplementação deste aminoácido na dieta animal para melhorar o seu desempenho.

Os resultados obtidos quanto ao desempenho demonstram que tanto a utilização de DL-Metionina quanto da Metionina Hidroxi Análoga, proporcionou desempenho similar em frangos de corte, desde que a inclusão nas dietas mantenha níveis com uma relação de 65% entre as fontes.

Para a bioeficácia das variáveis de ganho de peso e conversão alimentar de 1 – 21 dias (Figura 1), o modelo matemático foi o de regressão exponencial simultâneo.

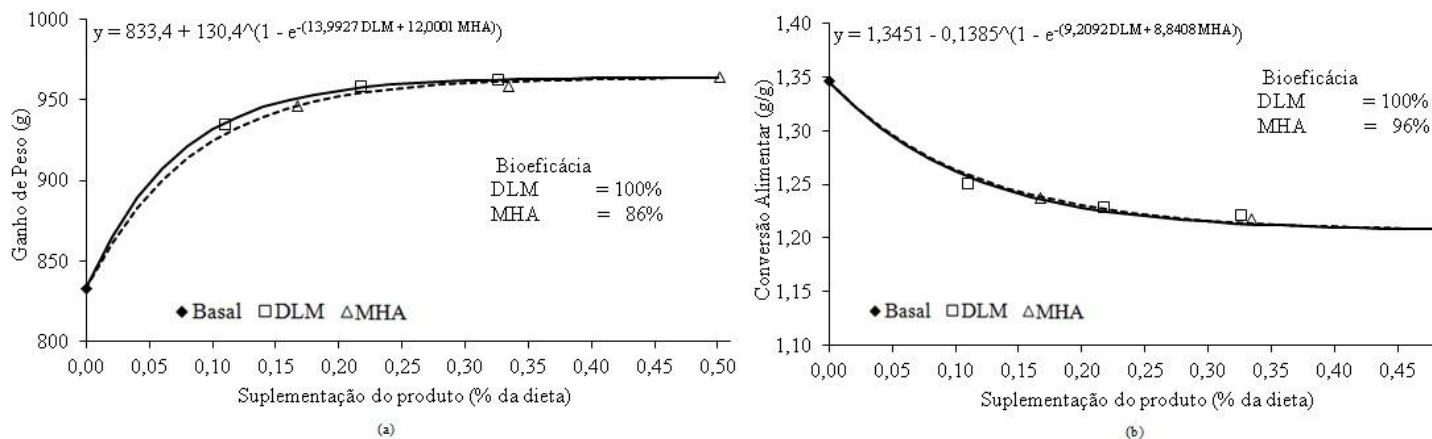


Figura 1. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso (a) e na conversão alimentar (b) em frangos de corte de 1-21 dias de idade.

A bioeficácia da fonte de metionina MHA em relação à DLM na fase de 1-21 dias de idade foi de aproximadamente 86% para ganho de peso e 96% para conversão alimentar, mostrando valores de bioeficácia inferior para MHA em comparação ao DLM.

Hoehler et al. (2005), obtiveram valores de bioeficácia relativa média do MHA para a DLM, de 64% para ganho de peso e 67% para conversão alimentar, em cinco experimentos com frangos de corte em quatro diferentes países. Klucinec (2013) apresentou valores de 72% para ganho de peso e 71% para conversão alimentar para frangos no período de 1 a 21 dias de idade. Estudos estes que utilizaram os mesmo modelos matemáticos para as análises estatísticas.

As variáveis de peso, ganho de peso, consumo médio de ração e conversão alimentar de 22 a 42 dias não apresentaram diferença ( $P > 0,05$ ), pelo teste F, em cada nível de metionina suplementado, evidenciando que as duas fontes de metionina estudadas são igualmente eficientes, desde que se mantenha a relação de 65% de DLM em relação ao MHA (Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho de frangos de corte de 22-42 dias de idade alimentados com dietas suplementadas com diferentes fontes de metionina (DLM e MHA).

DLM/MHA	Peso (g)		Ganho peso (g)		Consumo ração (g)		CA (g/g)	
	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA
0,68	2644,53	2675,00	1885,27	1915,28	3335,81	3230,44	1,769	1,687
0,78	2725,14	2712,04	1963,56	1952,78	3268,73	3304,52	1,664	1,692
0,87	2739,35	2755,26	1977,78	1996,92	3240,78	3238,93	1,639	1,622
Contraste ortogonal (Teste F – P<0,05)								
0,68	0,187		0,177		0,263		0,073	
0,78	0,419		0,524		0,421		0,069	
0,87	0,175		0,156		0,975		0,578	

DLM = DL-Metionina; MHA = Metionina Hidroxi Análoga; CA= Conversão Alimentar.

As aves alimentadas com a dieta basal obtiveram ganho de peso (1773,23 gramas) e conversão alimentar (1,869 g/g) inferior às aquelas que foram suplementadas com o maior nível de DLM e MHA, que obtiveram um percentual de 10,34% (DLM) e 11,20% (MHA) a mais de ganho de peso e 12,31% (DLM) e 13,21% (MHA) de melhora da conversão alimentar, ressaltando a importância da metionina no desempenho animal.

Da mesma forma, Meirelles et al. (2003), Elwert et al. (2008) e Zelenka et al. (2013), não encontraram diferença entre as diferentes fontes avaliadas no mesmo nível de suplementação sobre o desempenho de frangos de corte nos períodos de idade, 1 a 47, 1 a 42 e 1 a 35 dias de idade, respectivamente. Os resultados demonstram que caso a suplementação seja realizada de maneira a fornecer a quantidade necessária de aminoácidos e demais nutrientes, o desempenho do animal não será prejudicado, independentemente da fonte utilizada.

De acordo com as figuras obtidas para bioeficácia das variáveis de ganho de peso e conversão alimentar de 22 a 42 dias (Figura 2), o modelo matemático foi o de regressão exponencial simultâneo.

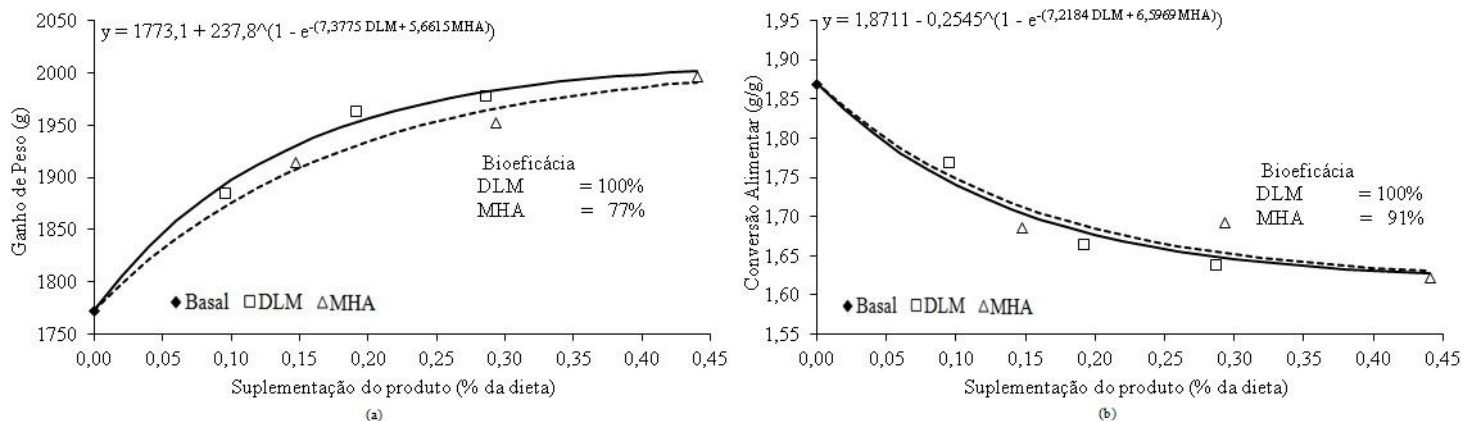


Figura 2. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no ganho de peso (a) e na conversão alimentar (b) em frangos de corte de 22-42 dias de idade.

A bioeficácia de metionina proveniente da MHA em relação à DLM na fase de 22 a 42 dias de idade foi de 77% para ganho de peso e 91% para conversão alimentar, demonstrando bioeficácia inferior da MHA em comparação com a DLM.

Lemme et al. (2002), obtiveram valores de bioeficácia relativa média do MHA em relação à DLM, de 68% para ganho de peso e 67% para conversão alimentar. Já Payne et al. (2006), obtiveram valores de bioeficácia relativa do MHA em relação à DLM, de 64% para ganho de peso e 59% para conversão alimentar. Zelenka et al. (2013), obtiveram valores de bioeficácia relativa média do MHA em relação à DLM, de 68% para ganho de peso e 69% para conversão alimentar.

Outros estudos também obtiveram uma bioeficácia inferior da MHA utilizando a DLM como fonte padrão (MEIRELLES et al., 2003; LIU et al., 2004; HOEHLER et al., 2005; SAUER et al., 2008; ELWERT et al., 2008; VIANA et al. 2009). Estas variações nos valores de bioeficácia entre os estudos são consideradas comuns e inevitáveis por serem estimadas através de ensaios biológicos.

Essa menor bioeficácia da MHA em relação à DLM pode ser atribuída a diversos fatores, dentre eles podemos citar a absorção, que ocorre por transportes diferentes, sendo que a DLM tem uma afinidade maior por transporte ativo, enquanto a MHA tem uma afinidade maior por transporte mediado por carreadores, que tem uma menor eficiência se comparado ao ativo, disponibilizando uma menor quantidade de nutriente para a formação de metionina e seus derivados (cistina, taurina, etc.) (DREW et al., 2003; NELSON & COX, 2014).

Outro fator importante é a composição das fontes, a DLM possui 99% de pureza, sendo composta apenas por monômeros, que têm uma absorção mais eficiente, enquanto

a MHA possui 88% de precursores de metionina (12% é água e impurezas), sendo necessária sua conversão para metionina pelo organismo do animal, e desta parte, 23% são dímeros e oligômeros, que têm uma absorção mais pobre em comparação com os monômeros (MARTÍN-VENEGAS et al., 2006; LEITE et al., 2009; SANGALI et al., 2014).

O rendimento de carcaça para o nível 0,68% diferiu entre as fontes, sendo que a DLM proporcionou um rendimento de carcaça (75,91%) superior ao rendimento das aves que receberam MHA (74,89%). Neste mesmo nível, o rendimento de perna também apresentou diferenças, sendo que as aves que receberam DLM apresentaram um rendimento de perna de 28,79%, enquanto as aves que receberam MHA apresentaram 26,42% (Tabela 4).

Os resultados obtidos diferem dos encontrados na literatura, onde Meirelles et al. (2003), Visentini et al. (2005) e Bunchasak e Keawarun (2006) não encontraram diferenças sobre o rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte usando fontes distintas de metionina.

O rendimento de peito foi superior para as aves que receberam DLM (36,09%) em comparação as aves que receberam MHA (33,27%), no nível 0,78% de suplementação (Tabela 4). Este resultado está de acordo com o estudo realizado por Hoehler et al. (2005), na qual também verificaram que aves alimentadas com dietas suplementadas com DLM obtiveram melhores rendimentos de peito em comparação à MHA.

Tabela 4. Rendimento de carcaça (%), rendimento de cortes (%), porcentagem de gordura abdominal e peso relativo do fígado (%) de frangos de corte abatidos aos 42 dias de idade, alimentados com dietas suplementadas com diferentes fontes de metionina (DLM e MHA).

DLM	Carcaça		Peito		Asa		Perna		Fígado		Gordura	
MHA	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA	DLM	MHA
0,68	75,91 <sup>a</sup>	74,89 <sup>b</sup>	34,60	34,01	9,89	9,67	28,79 <sup>a</sup>	26,42 <sup>b</sup>	2,29	2,38	2,09	2,39
0,78	76,17	74,58	36,09 <sup>a</sup>	33,27 <sup>b</sup>	9,56	9,32	27,81	27,49	2,23	2,31	2,20	2,33
0,87	75,74	75,36	36,60	35,81	9,72	9,50	27,05	26,90	2,15	2,26	2,10	2,27
Contraste ortogonal (Teste F – P<0,05)												
0,68	0,043		0,339		0,342		0,000		0,307		0,122	
0,78	0,121		0,006		0,195		0,742		0,214		0,508	
0,87	0,470		0,309		0,560		0,959		0,199		0,381	

DLM = DL-Metionina; MHA = Metionina Hidroxi Análoga.

De acordo com Liu e Guo (2001), para otimizar o rendimento da carcaça é necessário um maior fornecimento de nutrientes em relação as exigências de desempenho, especialmente de aminoácidos limitantes. Estes autores observaram ainda que a suplementação com níveis elevados de metionina promove maior rendimento de peito em frangos, reforçando a importância da qualidade proteica e sua interferência direta nas características de rendimentos de cortes e não apenas de desempenho.

Para a bioeficácia da variável de rendimento de carcaça de 22– 42 dias, o modelo de regressão exponencial simultâneo mostrou melhor ajuste aos dados estudados. Já para as variáveis de rendimento de peito, asas e pernas, percentual de gordura abdominal e peso relativo de fígado de 22– 42 dias, o modelo de regressão linear simultâneo mostrou melhor ajuste aos dados estudados, pois os dados não indicam uma assíntota. Neste modelo, a bioeficácia relativa é calculada dividindo os coeficientes de regressão.

A bioeficácia das variáveis de rendimento de carcaça, peito, asas e pernas foram, respectivamente, de 3%, 34%, 132% e 112% (Figura 3 e 4), com bioeficácia média de 70,25% da MHA em comparação com DLM. Para as variáveis de percentual de gordura abdominal e peso relativo do fígado foi de 35% (Figura 5), mostrando-se novamente inferior quando comparada a fonte padrão (DLM).

De acordo com alguns autores como Liu et al. (2006), Payne et al. (2006) e Viana et al. (2009), a suplementação de DLM ou MHA nas rações de frangos de corte não tem efeito sobre as variáveis de desempenho e de rendimento de carcaça.

No entanto, alguns autores também encontraram valor de bioeficácia inferior para MHA em relação à DLM. Zelenka et al. (2013) verificaram valores de 64,4% para rendimento de peito e 59,3% para rendimento de carcaça no período de 22 a 35 dias de idade e Lemme et al. (2002) apresentaram valores de bioeficácia de 48% para rendimento de carcaça e 60% para rendimento de peito, sendo esses valores superiores aos obtidos nesta pesquisa.

Várias hipóteses sobre os motivos pelos quais os análogos do aminoácido metionina possuem uma bioeficácia menor são consideradas, além dos diferentes mecanismos de absorção, o local e o tempo de absorção também podem influenciar. Segundo Drew et al. (2003), os análogos permanecem mais tempo no intestino do animal, sendo assim, passível da ação de microrganismos, reduzindo a disponibilidade do nutriente para absorção.

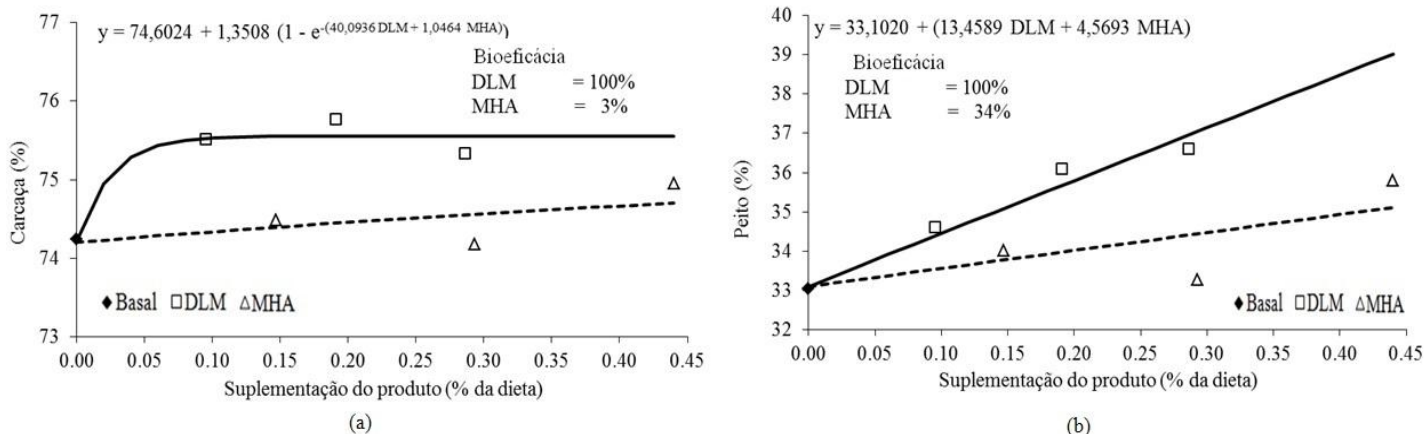


Figura 3. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no rendimento de carcaça (a) e peito (b) para frangos de corte de 22-42 dias.

Várias hipóteses sobre os motivos pelos quais os análogos do aminoácido metionina possuem uma bioeficácia menor são consideradas, além dos diferentes mecanismos de absorção, o local e o tempo de absorção também podem influenciar. Segundo Drew et al. (2003), os análogos permanecem mais tempo no intestino do animal, sendo assim, passível da ação de microrganismos, reduzindo a disponibilidade do nutriente para absorção.

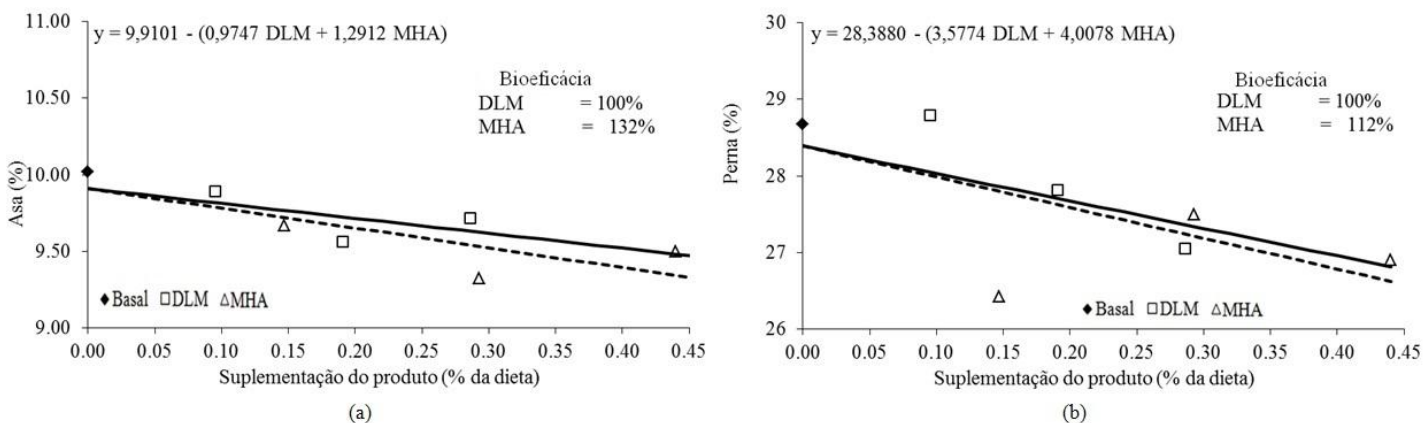


Figura 4. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no rendimento de asa (a) e perna (b) para frangos de corte de 22-42 dias.

Em adição, os análogos precisam sofrer transformações metabólicas para disponibilizar a metionina propriamente dita para o animal, pois são precursores de metionina e não contem o aminoácido na sua composição. Neste contexto, considera-se que ao longo destas transformações no organismo podem ocorrer perdas do nutriente prejudicando sua bioeficácia, além de aumentar a exigência do organismo animal para fazer as transformações necessárias, principalmente do fígado, responsável por



converter o análogo e D-metionina em L-metionina (MARTÍN-VENEGAS et al., 2006; PILLAI et al., 2006; WILLEMSSEN et al., 2011; BERTECHINI, 2012; NELSON & COX, 2014).

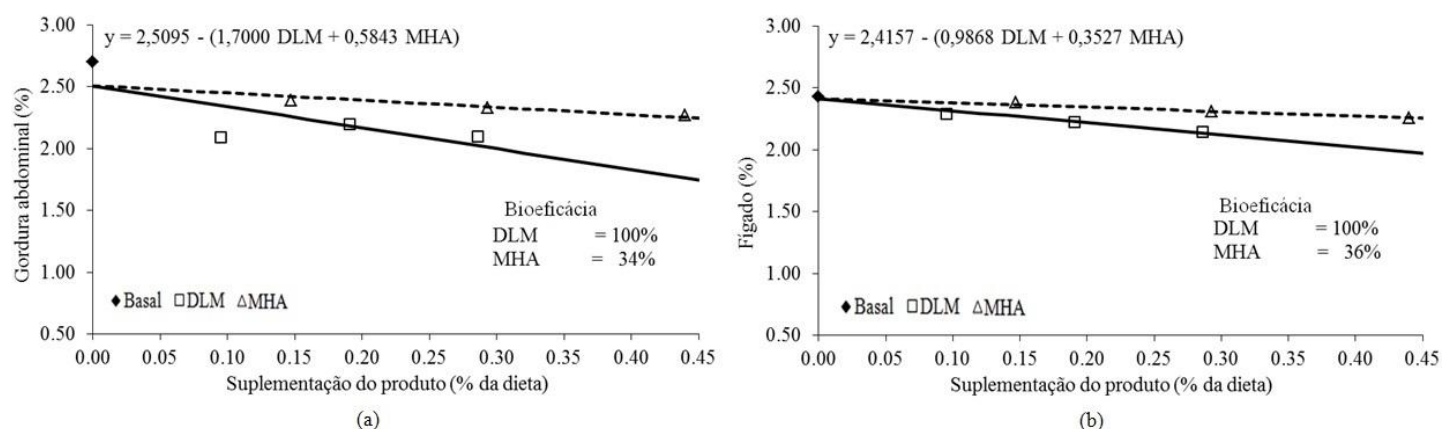


Figura 5. Bioeficácia da Metil Hidroxi-Análoga (MHA) em comparação com a DL-Metionina (DLM), com base no rendimento de gordura abdominal (a) e fígado (b) para frangos de corte de 22-42 dias.

De acordo com os dados obtidos observou-se baixa bioeficácia da MHA em relação à DLM para as variáveis de rendimento de carcaça e peito, porcentagem de gordura abdominal e peso relativo de fígado, porém apresentou uma alta bioeficácia para as variáveis de rendimento de asa e perna.

Com isso, a MHA pode ser utilizada na formulação de dietas para aves, desde que se leve em consideração que sua bioequivalência em comparação a DLM em torno de 65%, ou seja, a cada 1 grama de DLM deve-se usar 1,54 gramas de MHA, pois apresentou uma bioeficácia menor.

Todavia a fonte MHA possui um custo de mercado mais baixo em relação à DLM, sendo assim, o custo benefício da MHA pode ser usado como estratégia na sua utilização comercial.

## CONCLUSÃO

A utilização de DLM e MHA proporcionou desempenho semelhante para frangos de corte de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade, considerando relação de 65% entre as fontes. Porém a MHA apresentou bioeficácia média para desempenho de 88,5% e para rendimento de carcaça de 70,25%, inferior ao esperado pelo estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTECHINI, A.G. *Nutrição de monogástricos*. Lavras: UFLA, v.2, 2012. 373p.

BUNCHASAK, C.; KEAWARUN, N. Effect of methionine hydroxy analog-free acid on growth performance and chemical composition of liver of broiler chicks fed a corn-soybean based diet from 0 to 6 weeks of age. *Animal Science Journal*, v.77, p.95-102, 2006.

DREW, M.D.; VAN KESSEL, A.G.; MAENZ, D.D. Absorption of methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid in conventional and germ-free chickens. *Poultry Science*, v.82, p.1149-1153, 2003.

ELWERT, C.; FERNANDES, E.A.; LEMME, A. Biological effectiveness of methionine ydroxyl-analogue calcium salt in relation to DL-Methionine in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v.21, n.10, p.1506-1515, 2008.

HOEHLER, D.; LEMME, A.; JENSEN, S.K.; VIEIRA, L. Relative Effectiveness of methionine sources in diets for broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, v.14, p.679-693, 2005.

KLUCINEC, E.C. *Exigência nutricional e bioeficácia de metionina + cistina digestível em pintos de corte*. 2013. Dissertação (mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus Marechal Cândido Rondon*.

LEITE, R.S.; ROCHA J.S.R.; MICHEL B.C.; LARA L.J.C; ORNELAS E.A.;CANÇADO S.V.; BAIÃO N.C. 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*, v. 61, n.5, p.1120- 1127, 2009.

LEMME, A.; HOEHLER, D.; BRENNAN, J.J.; MANNION, P.F. Relative effectiveness of methionine hydroxy analog compared to DL-Methionine in broiler chick. *Poultry Science*, v.81, p.838-845, 2002.

LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; LEWIS, A.J.; AMMERMAN, C.B. Estimation of relative bioavailability of nutrients using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, v.75, p.2672-2683, 1997.

LIU, S.J.; GUO, Y.M. Effects of lysine and Met levels on carcass quality of female broiler chicks. *Chinese Journal of Animal Science*, v.37, p.5-8, 2001.

LIU, Z., A. BATEMAN, M. BRYANT, A. et al. Estimation of bioavailability of DL-Metionina hydroxy analogue relative to DL-Metionina in layers with exponential and slope-ratio models. *Poultry Science*, v.83, p.1580-1586, 2004.

LIU, Y. L., SONG, G.L., YI, G. F. et al. Effect of supplementing 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and DL-Methionine in corn-soybean-cottonseed meal diets on growth performance and carcass quality of broilers. *Asian –Australasian Journal of Animal Science*, v.19, n.8, p. 1197-1205, 2006.

MARTÍN-VENEGAS, R.; GERAERT, P.A.; FERRER, R. Conversion of the methionine hydroxy analogue DL-2-hydroxy-(4-methylthio) butanoic acid to sulfur-containing amino acids in the chicken small intestine. *Poultry Science*, v. 85, p.1932–1938, 2006.

MEIRELLES, H.T.; ALBUQUERQUE, R.; BORGATTI, L.M.O.; SOUZA, L.W.O.; MEISTER, N.C.; LIMA, F.R. Performance of broilers fed with different levels of methionine hydroxy analogue and DL-Methionine. *Brazilian Journal of Poultry Science*, v.5, p.69-74, 2003.

MITCHELL, M.A.; LEMME, A. Examination of the composition of the luminal fluid in the small intestine of broilers and absorption of amino acids under various ambient temperatures measured in vivo. *International Journal of Poultry Science*, v.7, n.3, p.223-233, 2008.

MUKWEVHO, E., Z. FERREIRA, AND A. AYELESO. Potential role of sulfur-containing antioxidant systems in highly oxidative environments. *Molecules*, v.19 p.19376–19389, 2014.

NELSON, D.L., COX, M.M., 2014. Princípios de Bioquímica de Lehninger. 6th ed., Artmed, Porto Alegre, 2014.

PAYNE, R.L.; LEMME, A.; SEKO, H.; HASHIMOTO, Y.; FUJISAKI, H.; KORELESKI, J.; SWIATKIEWICZ, S.; SZCZUREK, W.; ROSTAGNO, H. Bioavailability of methionine hydroxy analog-free acid relative to DL-Methionine in broilers. *Animal Science Journal*, v.77, p.427-439, 2006.

PILLAI, P.B.; FANATICO, A.C.; BEERS, K.W.; BLAIR, M.E.; EMMERT, J.L. Homocysteine remethylation in young broilers fed varying levels of methionine, choline and betaine. *Poultry Science*, v. 85, p.90-95, 2006.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*. 3ª ed. UFV/DZO, 2011, 252p.

SANGALI, C.P.; BRUNO, L.D.G.; NUNES, R.V.; OLIVEIRA NETO, A.R.D.; POZZA, P.C.; OLIVEIRA, T.M.M.D.; SCHÖNE, R.A. Bioavailability of different methionine sources for growing broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 43, n. 3, p. 140-145, 2014.

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

SAUER, N.; EMRICH, K.; PIEPHO, H.P.; LEMME, A.; REDSHAW, M.S.; MOSENTHIN, R. Meta-analysis of the relative efficiency of methionine-hydroxy-analogue-free-acid compared with DL - Methionine in broilers using nonlinear mixed models. *Poultry Science*, v.87, p. 2023-2031, 2008.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT user's guide. Version 6.11. 4.ed. v.2. Cary: SAS Institute, 1996. 842p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. Sistema de análises estatísticas e genéticas – SAEG. Versão 8.0. Viçosa, UFV, p.142. 2000.

VIANA, M.T.S.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S.; BARRETO, S.L.T.; CARVALHO, D.C.O.; GOMES, P.C. Fontes e níveis de metionina em dietas para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.9, p.1751-1756, 2009.

VISENTINI, P., LOPES, J., TOLEDO, G.S.; COSTA, P.T. Níveis de substituição da DL-Metionina pela metionina hidróxi análoga em base equimolar em dietas para frango de corte. *Ciência Rural*, v.35, n. 6, p.1400-1405, 2005.

WILLEMSSEN H.; SWENNEN Q.; EVERAERT N.; GERAERT P.A.; MERCIER Y.; STINCKENS A.; DECUYPERE E.; BUYSE J. Effects of dietary supplementation of methionine and its hydroxy analog DL-2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid on growth performance, plasma hormone levels, and the redox status of broiler chickens exposed to high temperatures. *Poultry Science*, v.90, p. 2311-2320, 2011.

ZELENKA, J., HEGER, J., MACHANDER, V.; WILTAFSKY, M.; LEŠTÁK, M. Bioavailability of liquid methionine hydroxy analogue-free acid relative to DL-Methionine in broilers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, n. 5, p. 1513 – 1520, 2013.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A DLM pode ser substituída pela MHA, desde que mantida uma relação de 65% (cada 1 unidade de DLM corresponde a 1,54 unidades de MHA), não interferindo no desempenho das aves, mostrando que sua utilização pela indústria fica correlacionada ao custo de cada fonte, onde quantidades maiores de MHA devem ser adicionadas para obter o mesmo desempenho de quando utilizada a DLM.

Apesar dos resultados mostrarem uma bioeficácia inferior da MHA em comparação à fonte padrão, não houve interferência nas características de desempenho animal, porém mostrou que mesmo admitindo uma eficiência inferior de metionina (de 65% neste estudo) ainda assim ela não é capaz de suprir de forma igualitária a disponibilidade do aminoácido como é o caso da DLM, tendo que levar em consideração não apenas o custo da fonte, mas também a quantidade que será adicionada na dieta e sua interferência na formulação da ração.