

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

BETAÍNA NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM
DIFERENTES CONDIÇÕES DE ESTRESSE

MAYARA RODRIGUES DE SANTANA EICH

Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Zootecnia como
parte das exigências para obtenção
do título de Doutor.

BOTUCATU - SP
Agosto - 2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

BETAÍNA NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM
DIFERENTES CONDIÇÕES DE ESTRESSE

MAYARA RODRIGUES DE SANTANA EICH

Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Sartori

Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Zootecnia como
parte das exigências para obtenção
do título de Doutor.

BOTUCATU - SP
Agosto - 2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

E34b Eich, Mayara Rodrigues de Santana, 1988-
Betáina na alimentação de frangos de corte diferentes condições de estresse / Mayara Rodrigues de Santana Eich. - Botucatu : [s.n.], 2017
79 f.: il. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2017
Orientador: José Roberto Sartori
Inclui bibliografia

1. Frango de corte - Criação. 2. Frango de corte - Alimentação e rações 3. Betáina. 4. Stress (Fisiologia). I. Sartori, José Roberto. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. III. Título.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem.

Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo. ”

Walter S. Landor

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Antonia e Manoel, meu irmão Emerson e meu esposo Jayme, que sempre me apoiaram, e com muito amor e paciência contribuíram para a realização deste sonho. Essa conquista também é de vocês!

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A Deus, pelo dom da vida e pela coragem para enfrentar os desafios que surgem pelo caminho.

Ao meu orientador Prof. Sartori, por todo conhecimento transmitido durante esses anos, por vezes que mesmo ocupado conseguiu um tempo para atender minhas dúvidas, pelo apoio a seguir novos caminhos e encarar desafios, e principalmente pela paciência que teve comigo.

À Juliana Célia Denadai, pela amizade e todo auxílio durante esses anos, desde a elaboração do projeto até a redação da tese, utilizando sua experiência para fazer sugestões e abrindo mão de alguns feriados e finais de semana para me ajudar.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), Campus de Botucatu, pelo apoio institucional e infraestrutura para o desenvolvimento das atividades dessa pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, pela oportunidade de realização do curso de doutorado e qualidade na formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

Às empresas Btech[®] Tecnologias Agropecuárias, Ingredion[®] e DSM[®], pelas doações de betaína, farelo de glúten de milho e suplementos vitamínico-minerais, respectivamente, essenciais na fabricação da dieta dos frangos.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Roberto Sartori, pela oportunidade, confiança depositada, paciência, compreensão e ensinamentos durante todos esses anos de doutorado.

Aos professores participantes da banca de qualificação, Prof^a. Margarida Maria Barros e Prof. Dirlei Antonio Berto, que fizeram sugestões de grande valia para este trabalho.

Aos professores do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal da FMVZ, Prof. Antonio Celso Pezzato, Prof. Luiz Edivaldo Pezzato, e aos professores que ministraram disciplinas no programa, em especial Prof^a. Luciana Francisco Fleuri, Prof. Ricardo de Oliveira Orsi, Prof. Adriano Sakai Okamoto, Prof. Carlos Ducatti (*in*

memoriam), por todos ensinamentos e colaboração, que foram essenciais na minha formação.

À Prof^a. Maria Marcia Pereira Sartori, pela colaboração nas análises estatísticas.

Às funcionárias do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Seila e Ellen, que sempre me atenderam prontamente para sanar qualquer dúvida.

À equipe do Laboratório de Nutrição de Aves, Monica, Amanda, Natani, Juliana Cristina, Carolina Teixeira, Vitor, Karçola, Tati, Juliana Denadai, Léo, Smigo, Calvina, Dani, Paola, Petit, Netto, Armando, My Baby, Alex, Flavio e Carol, pela amizade, apoio e companheirismo, desde as coletas aos domingos bem cedo até a cerveja do *happy hour*.

Ao funcionário do Laboratório de Nutrição de Aves, Wanderley Thiago, que não mediu esforços para me ajudar durante os experimentos, dando suporte sempre que necessário.

Aos funcionários da Fábrica de Ração, Sergio, Nico, Alexandre, Adriano, sempre muito prestativos com nossa equipe do LabAves.

A todos que ajudaram direta ou indiretamente, sem vocês nada disso seria possível.

MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Densidade de criação.....	3
2.2. Estresse térmico em frangos de corte	4
2.3. Comportamento de frangos sob estresse	6
2.4. Betaína: definição.....	7
2.5. Atuação da betaína na doação de grupos metil	8
2.6. Atuação da betaína na osmoproteção	11
2.7. Uso da betaína na nutrição de frangos de corte.....	12
3. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	14
4. REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 2	25
BETAÍNA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL A METIONINA NA DIETA DE FRANGOS DE CORTE CRIADOS EM ALTA DENSIDADE	26
RESUMO	26
ABSTRACT.....	27
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E MÉTODOS	29
<i>Animais, dietas e delineamento experimental</i>	29
<i>Desempenho e rendimento de carcaça</i>	32
<i>Parâmetros bioquímicos</i>	32
<i>Relação heterofilo:linfócito</i>	33
<i>Temperatura superficial</i>	33
<i>Análise comportamental</i>	34
<i>Análise estatística</i>	36
RESULTADOS	36
DISCUSSÃO.....	45
CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	50
CAPÍTULO 3	57
INCLUSÃO DE BETAÍNA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL À METIONINA EM DIETAS DE FRANGO DE CORTE EM ESTRESSE TÉRMICO CÍCLICO.....	58
RESUMO	58
ABSTRACT.....	59
INTRODUÇÃO	60
MATERIAL E MÉTODOS	61
<i>Animais, dietas e delineamento experimental</i>	61

<i>Desempenho zootécnico</i>	64
<i>Parâmetros bioquímicos sanguíneos</i>	64
<i>Parâmetros imunológicos</i>	64
<i>Parâmetros fisiológicos</i>	65
<i>Análise estatística</i>	66
RESULTADOS	66
DISCUSSÃO.....	73
CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	76
IMPLICAÇÕES	79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição centesimal e nutricional calculada das dietas experimentais nas fases pré-inicial, inicial e crescimento.....	31
Tabela 2. Etograma descritivo dos comportamentos observados em frangos de corte (Adaptado de Pereira et al., 2007).	35
Tabela 3. Desempenho de frangos de corte de 1 a 42 dias alojados em duas densidades e alimentados com dietas contendo diferentes inclusões de betaína.	38
Tabela 4. Rendimento de carcaça, partes e percentagem de gordura abdominal de frangos de corte aos 42 dias, criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.	40
Tabela 5. Níveis séricos de glicose e níveis plasmáticos de colesterol, triglicérides, VLDL, ácido úrico e proteínas totais de frangos de corte aos 42 dias, criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.....	42
Tabela 6. Parâmetros hemato-imunológicos de frangos de corte aos 40 dias, criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.	43
Tabela 7. Temperatura superficial de frangos de corte na fase final de produção (35 a 42 dias de idade) criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.....	44
Tabela 8. Frequência comportamental (%) de frangos de corte de 36 a 41 dias de idade, criados em duas densidades de alojamentos e alimentados com diferentes inclusões de betaína, no período de máxima e mínima temperatura do dia.	45

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Temperaturas do ambiente termoneutro e estresse cíclico por calor durante o período experimental.....	63
Tabela 2. Composição centesimal e nutricional calculada das dietas experimentais nas fases pré-inicial, inicial e crescimento.....	64
Tabela 3. Peso médio (PM), consumo de ração médio (CRM) e conversão alimentar (CA) de frangos de corte aos 21 e 35 dias mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.....	69

Tabela 4. Níveis séricos de glicose e níveis plasmáticos de colesterol, triglicérides, VLDL, ácido úrico e proteínas totais aos 21 dias de idade de frangos de corte mantidos em ambiente termoneutro ou de estresse cíclico por calor, alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.....	70
Tabela 5. Valores de título de anticorpos de frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, vacinados contra a doença de <i>NewCastle</i> , expressos em médias geométricas (GMT) e alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.....	71
Tabela 6. Parâmetros hemato-imunológicos de frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.....	72
Tabela 7. Peso relativo de órgãos e área do córtex (μm^2) da Bursa de Fabrícus em frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.....	73
Tabela 8. Temperatura superficial (TS, °C), frequência respiratória (FR, mov/min), temperatura cloacal (TC, °C) de frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.....	74

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Resposta adrenocortical ao estresse em aves (BAOS e BLAS, 2009)..... 5
- Figura 2.** Estrutura química da molécula de betaína. 8
- Figura 3.** Ciclo da metionina e homocisteína (BYDLOWSKI et al., 1998)..... 9

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Imagem termográfica de frangos de corte aos 36 dias de idade. 34
- Figura 2.** Temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) do galpão de frangos de corte durante o período experimental. 37
- Figura 3.** Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) do galpão de frangos de corte durante o período experimental. 37

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) em ambiente termoneutro durante o período experimental..... 66
- Figura 2.** Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) em ambiente de estresse cíclico por calor durante o período experimental..... 67

CAPÍTULO 1

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para atender às demandas dos mercados nacionais e internacionais, a produção avícola brasileira tem se modernizado, buscando melhorias para garantir o bem-estar animal, qualidade do produto final e segurança alimentar. O Brasil ocupa a posição de maior exportador mundial de carne de frango e segundo maior produtor, precedido apenas pelos Estados Unidos, com produção de 13,1 milhões de toneladas em 2015 (ABPA, 2016a). Esses resultados foram alcançados devido à evolução no melhoramento genético, nutrição, sanidade, ambiência e bem-estar animal.

Graças ao melhoramento genético obteve-se maior ganho de peso, rendimento de carcaça e redução no tempo de criação (PEREIRA et al., 2010), e o potencial genético só é aproveitado de forma eficiente quando se tem, além de outros fatores, o fornecimento adequado de todos os nutrientes exigidos pelos frangos (RUNHO et al., 2001). Diante disso, o conhecimento sobre as exigências nutricionais dos frangos tornou-se essencial. Esses fatores, associados ao ambiente adequado, onde os animais estejam em condições adequadas, podem aumentar a produção e a rentabilidade do produtor.

Devido às mudanças climáticas, o setor de avicultura no Brasil tem investido em tecnologias para tornar o ambiente favorável para a criação das aves, que são bastante sensíveis a temperaturas inadequadas. O uso de alguns aditivos nas dietas pode contribuir para reduzir os prejuízos na produção, quando o animal passa por estresse calórico. A molécula de betaína possui propriedades que podem atuar de duas formas principais no metabolismo, como doadora de grupamentos metil para a síntese de vários compostos (metionina, creatina, carnitina, fosfolípidos, ácido ribonucleico e ácido desoxirribonucleico) e como osmólito orgânico capaz de regular a homeostasia das células (FRONTIERA et al., 1994; KLASING et al., 2002).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Densidade de criação

A densidade de alojamento de frangos de corte pode variar entre os países e sistemas de criação (SCAHAW, 2000). O uso de altas densidades proporciona menor crescimento individual das aves (DAWKINS et al., 2004), entretanto, o rendimento por metro quadrado muitas vezes ainda é considerado viável (FEDDES et al., 2002).

Do ponto de vista do bem-estar animal, a densidade de criação é um fator que vem ganhando atenção na produção avícola, pois além de afetar o desempenho, pode causar problemas locomotores, aumentar os níveis de corticosterona, aumentar a produção de amônia, aumentar a umidade da cama e influenciar no comportamento das aves (DAWKINS et al., 2004).

O excesso de aves por metro quadrado nas criações em alta densidade provoca aumento na produção de calor, temperatura do ambiente e restringe a movimentação do ar, conseqüentemente, ocorre aumento na taxa de mortalidade e doenças associadas à baixa qualidade do ar e ambiente (MOREIRA et al., 2004).

Avaliando quatro densidades de alojamento (30, 35, 40 e 45 kg de peso vivo/m²), Dozier III et al. (2005) verificaram que o aumento na densidade influenciou o ganho de peso e consumo de ração; entretanto, o rendimento de carcaça não foi afetado. Com o aumento da densidade de alojamento houve redução no ganho de peso acumulativo. Jang et al. (2014) estudaram o efeito da criação de frangos em alta e baixa densidade e observaram menor ganho de peso e consumo de ração quando mantidos em alta densidade de alojamento; porém, não encontraram diferença nos níveis plasmáticos de corticosterona. Avaliando o bem-estar e produção de frangos criados em diferentes densidades, Martrenchar et al. (1997) constataram que frangos criados em alta

densidade tiveram menor nível de atividade e menor peso corporal, além de aumento na incidência de pododermatite e lesões de pata.

Em estudos recentes, Sun et al. (2013) avaliaram o efeito da vitamina D3 na dieta de frangos criados em alta densidade. Os resultados encontrados confirmaram que alta densidade causa problemas locomotores, pododermatite e lesões de coxim plantar; porém, o aumento nos níveis dietéticos de vitamina D3 pode amenizar os efeitos negativos no bem-estar das aves. As lesões na carcaça causadas nos frangos de corte criados em alta densidade são correlacionadas as condenações parciais de carcaças registradas nos abatedouros, repercutindo diretamente no custo de produção (ALLAIN et al., 2009).

A diretiva de bem-estar de frangos da União Europeia limita a densidade de alojamento em 33 kg/m², mas se cumpridos elevados padrões de bem-estar dentro do galpão, como controle de concentração de amônia, gás carbônico, temperatura e umidade relativa do ar, excepcionalmente esse limite se estende a 42 kg/m² (SCAHAW, 2007). Nos Estados Unidos, o National Chicken Council (2010) recomenda densidade máxima de alojamento em 42 kg/m² (acima de 2,49 kg). No Brasil, o Protocolo de Bem-Estar de Frangos de Corte (ABPA, 2016b) recomenda que a densidade máxima não ultrapasse 39 kg/m².

2.2. Estresse térmico em frangos de corte

O estresse é definido como resposta biológica do organismo animal à estímulos que alteram o equilíbrio fisiológico normal ou homeostase (SELYE, 1976). O estresse térmico em frangos é fator limitante na produção, pois a exposição das aves ao ambiente de alta temperatura gera respostas fisiológicas, imunológicas e comportamentais, prejudicando a produtividade e causando perdas econômicas significativas (LARA e

ROSTAGNO, 2013). Relatos sugerem que devido a evolução dos genótipos, as aves produzem mais calor devido a maior atividade metabólica (SETTAR et al., 1999; DEEB e CAHANER, 2002); portanto, é necessário compreender e controlar as condições ambientais para o bem-estar dos animais e sucesso na produção (LARA e ROSTAGNO, 2013).

Vários fatores de estresse podem causar desregulação da resposta imune, afetando a interação entre os sistemas nervoso central, endócrino e imunitário (COSTA-PINTO e PALERMO-NETO, 2010). A ativação do eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) pelo estresse influencia o sistema imunitário e promove a liberação de hormônios neuroendócrinos da glândula pituitária (Figura 1). As células imunológicas podem ser estimuladas para liberar citocinas (interleucina-1), que por sua vez estimulam a produção do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), responsável pela síntese de corticosterona (YANG e GLASER, 2002; QUINTEIRO-FILHO et al., 2012). A corticosterona pode atuar no núcleo do hipotálamo que regula a ingestão de alimentos, provocando redução no consumo de ração e ganho de peso (COSTA-PINTO et al., 2009).

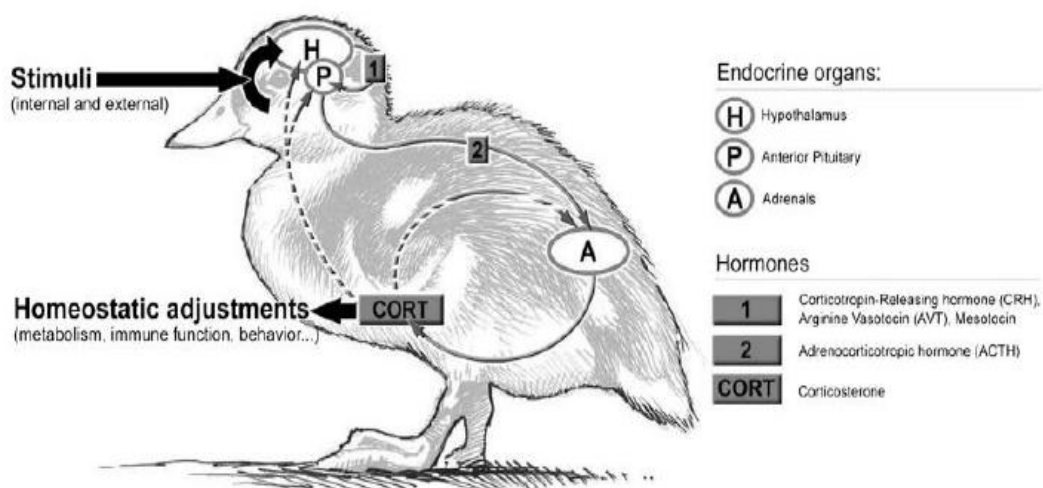


Figura 1. Resposta adrenocortical ao estresse em aves (BAOS e BLAS, 2009).

Aumentando a temperatura do ambiente de criação de frangos de corte, observou-se que os mesmos apresentaram redução no ganho de peso, ingestão de alimento e eficiência alimentar (PLAVNIK E YAHAV, 1998). Ao manter frangos de corte em exposição crônica ao calor durante duas semanas, Bonnet et al. (1997) observaram redução de 50% no ganho de peso de aves em relação às aves mantidas em termoneutralidade, além do aumento no consumo de água. Durante o estresse por calor, as aves ingerem maior quantidade de água e conseqüentemente ocorre aumento na taxa de passagem dos alimentos, fator que pode causar alterações na digestibilidade dos nutrientes e piorar a eficiência alimentar (TURK, 1982; BONNET et al., 1997).

Além de prejudicar o desempenho dos frangos, o estresse térmico pode afetar as reservas de glicogênio muscular, que regulam as reações bioquímicas *post-mortem* e, conseqüentemente, alterar as propriedades da carne que chega ao consumidor (BIANCHI et al., 2005). Segundo Zuo et al. (2015), a exposição crônica de frangos ao calor provoca redução da síntese proteica, resultando em menor deposição de proteína muscular.

2.3. Comportamento de frangos sob estresse

O bem-estar animal não pode ser mensurado em uma única forma, necessitando da avaliação de indicadores fisiológicos, bioquímicos, de saúde e comportamentais (DAWKINS, 2003). Medidas comportamentais são uma forma de avaliar a resposta do animal ao seu ambiente físico e em relação aos outros animais, de acordo com a distribuição espacial (DAWKINS, 2003).

A análise comportamental é ferramenta que tem grande potencial indicativo do estado de um animal, podendo-se verificar se o mesmo está expressando seu

comportamento natural. A observação e interpretação do comportamento é importante quando se considera o bem-estar na produção animal (ADENIJI, 2012).

Em situações de estresse (temperatura elevada e alta densidade de alojamento) as aves podem apresentar comportamentos agressivos (NEWBERRY, 2004). O espaço limitado de criação pode incentivar a bicagem de penas e outros comportamentos de desconforto, podendo ainda limitar acesso a comedouros e bebedouros, refletindo no desempenho (EL-LETHEY et al., 2000; ESTEVEZ, 2007).

O uso do espaço e o comportamento locomotor das aves são ajustados de acordo com a densidade de criação e a competição por comedouros e bebedouros (LEONE et al., 2007; ZHAO et al., 2013). Na fase final de criação, quando já apresentam peso elevado, no geral as aves são menos ativas; entretanto, em densidade de criação elevada, os movimentos e atividades são ainda mais restritos (BUIJS et al., 2011; BOKKERS e KOENE, 2003; ESTEVEZ, 2007).

Alguns estudos verificaram o efeito negativo da criação em alta densidade no comportamento de frangos de corte. Simitzis et al. (2012) e Zhao et al. (2013) observaram que a locomoção e padrão de consumo alimentar são afetados negativamente quando frangos são criados em maiores densidades de criação. Bokkers et al. (2011) demonstraram que densidades superiores a 16 aves/m² suprimem a oportunidade de manifestação de alguns comportamentos de frangos.

2.4. Betaína: definição

A betaína é definida como um derivado do aminoácido glicina (YANCEY et al., 1982) com três grupos de metila ligados ao átomo de nitrogênio (Figura 2; STRYER, 1988), classificada como metilamônia. Esse composto pode ser encontrado naturalmente em plantas (beterraba e trigo) e tecidos de animais (animais aquáticos

invertebrados) (CHENDRIMADA et al., 2002), participando do metabolismo de lipídeos e nitrogênio. Utilizada como aditivo na dieta dos animais, a betaína pode ser encontrada em diferentes formas sintéticas, como anidro, monofosfato e cloridrato de betaína (EKLUND et al., 2005).

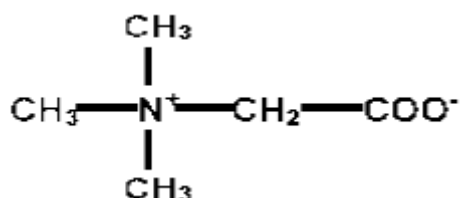


Figura 2. Estrutura química da molécula de betaína.

2.5. Atuação da betaína na doação de grupos metil

Por meio de reações de catabolismo, a metionina é convertida a S-adenosil-metionina (SAM) e, posteriormente, a S-adenosil-homocisteína, podendo ser metabolizada pelo ciclo da remetilação ou transulfuração (NELSON e COX, 2014). Na via da remetilação, a homocisteína recebe um grupo metil proveniente da betaína (no fígado) ou do N-5-metiltetrahidrofolato (MTHF) (em outros tecidos), formando novamente a metionina. Quando há saturação na via da remetilação ou necessidade de cisteína, a homocisteína é direcionada para a via de transulfuração, onde é convertida com a serina em cistationina e depois em cisteína (COOPER, 1983).

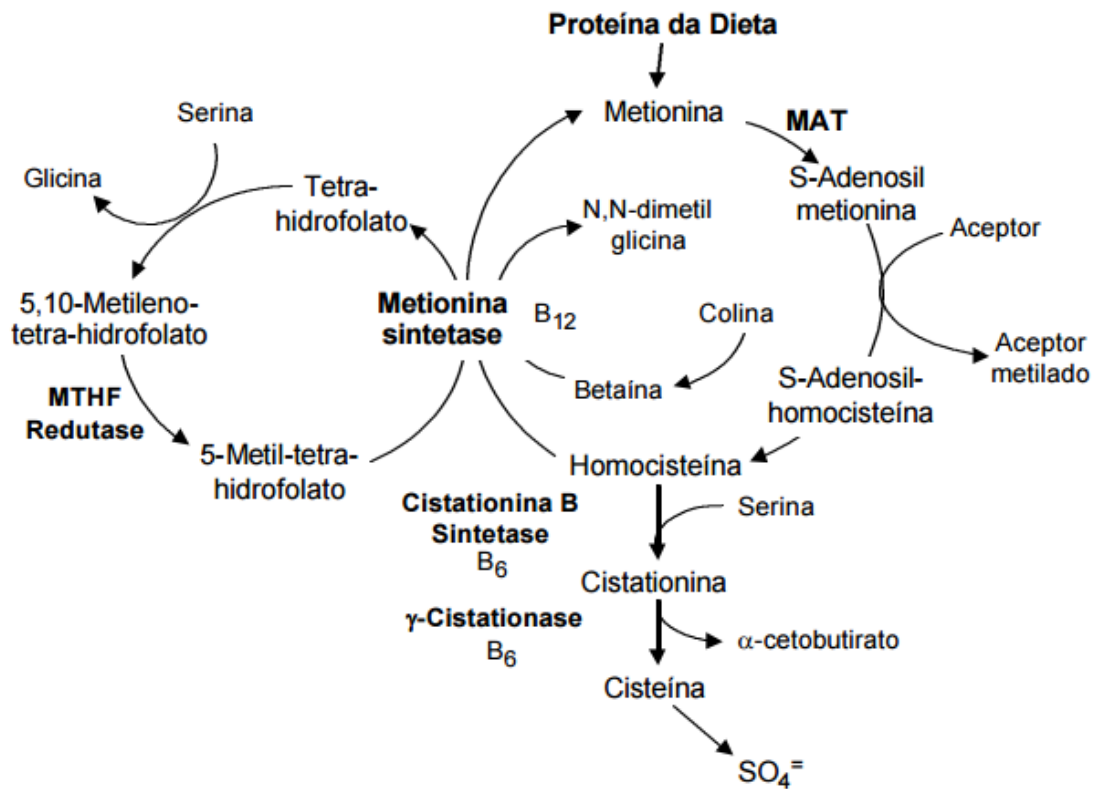


Figura 3. Ciclo da metionina e homocisteína (BYDLOWSKI et al., 1998).

Além da betaina, outras moléculas podem doar grupos metil, como a colina e a metionina; porém, estas precisam passar por transformações para serem utilizadas pelos animais (KETTUNEN et al., 2001). A metionina precisa ser convertida a S-adenosilmetionina e só então poderá ser utilizada para doação de grupos metil. Já a colina precisa ser convertida a betaina por meio da enzima colina-oxidase. Para que ocorra essa conversão, a colina deve estar na forma livre, limitando a quantidade de betaina que pode ser formada por essa via (REMUS e QUARLES, 2000). A betaina pode substituir a colina apenas como doadora de grupo metil, pois não é equivalente em outros processos metabólicos.

A atividade da betaina como doadora de grupamentos metil, na remetilação, permite que a metionina seja direcionada para a síntese proteica, poupando a ação desse aminoácido na doação de metil para a homocisteína, possibilitando substituir

parcialmente a metionina sintética por betaína (METZLER-ZEBELI et al., 2009). Essa propriedade da betaína pode ser utilizada como ferramenta na formulação de rações com o objetivo de reduzir custos ao se ajustar os níveis de colina e metionina.

Quando ocorre aumento na concentração de homocisteína, induzida por uma dieta deficiente em metionina, a atividade das enzimas antioxidantes (glutathiona peroxidase, superóxido dismutase e catalase) é reduzida, podendo potencializar os efeitos tóxicos de espécies reativas de oxigênio (ALIREZAEI et al., 2011). Nesse sentido, ao doar grupos metil a homocisteína, a betaína permite aumento na atividade dessas enzimas, podendo ser considerada um potencial agente antioxidante (ALIREZAEI et al., 2012; AKHAVAN-SALAMAT e GHASEMI, 2016).

A metionina é fonte sulfúrica para a síntese da cisteína pelo processo de transulfuração (catabolismo), garantindo a formação de cistina (cisteína + cisteína) e evitando sua deficiência. Entretanto, a cistina não atende as exigências dietéticas de metionina, sendo necessário garantir um mínimo de aminoácidos sulfurados na dieta (PANIZ et al., 2005). A redução na síntese de metionina provoca aumento na produção de acetil-CoA, que desempenha diversas funções metabólicas, principalmente como precursor da síntese de ácidos graxos. A suplementação com betaína proporciona aumento na síntese de metionina e, conseqüentemente, redução de acetil-CoA e menor lipogênese (BARBOSA, 2009). Alguns autores verificaram que a deficiência de aminoácidos sulfurados (metionina + cistina) proporciona maior atividade de enzimas responsáveis pela formação de ácido úrico e aumento no catabolismo de proteínas, permitindo que a energia seja depositada na forma de gordura (SOLBERG et al., 1971; SCHUTTE e PACK, 1995; CONDE-AGUILERA et al., 2013).

2.6. Atuação da betaína na osmoproteção

Osmorregulação é a capacidade de uma célula em manter sua estrutura e função pelo controle do movimento da água para dentro e fora da célula (KIDD et al., 1997), sem alterar o metabolismo celular mitocondrial (SHOEMAKER, 1972). Alterações no volume celular de água podem afetar a força iônica intracelular e, conseqüentemente, a conformação de proteínas e enzimas (BIGGERS et al., 1993). Sendo assim, a homeostase das células é importante quando expostas a diferentes condições de estresse (KLASING et al., 2002). Essa função osmoprotetora da betaína é importante na avicultura, visto que frangos de corte são animais sensíveis às alterações de temperatura, sendo extremamente susceptíveis ao estresse calórico.

Osmólitos orgânicos são moléculas solúveis que, em contraste com sais inorgânicos, podem atingir altas concentrações intracelulares sem alterar as funções das células (KEMPF e BREMER, 1998). A betaína é considerada o osmoprotetor mais eficaz dentre outros osmólitos orgânicos. Nos animais, os efeitos conhecidos são em células renais de mamíferos, intestino delgado, ceco, cloaca e fibroblastos embriônicos de aves (PETRONINI et al., 1992; FERRARIS et al., 1996).

Parte da energia do organismo é destinada a manter o equilíbrio osmótico das células e estima-se que grande parte da energia de manutenção está associada ao mecanismo da bomba de sódio-potássio (McBRIDE e KELLY, 1990). Sendo assim, a água é considerada nutriente importante que afeta inúmeras funções fisiológicas. Por meio da adição de betaína às rações, a energia, antes gasta para a manutenção celular, é destinada para outros processos metabólicos de produção e crescimento (PARTRIDGE, 2002).

Em suínos na fase de crescimento, cerca de 40 a 50% da energia de manutenção é despendida para manter o equilíbrio osmótico no intestino e em outras vísceras.

Adicionando-se betaína e reduzindo-se a exigência da energia de manutenção pela melhoria na osmoproteção, a absorção de nutrientes e o desempenho animal podem ser otimizados (PARTRIDGE, 2002).

Na avicultura de corte, o trato gastrointestinal dos frangos é o sistema que mais sofre agressões quando ocorrem desordens fisiológicas causadas por patógenos, principalmente por protozoários do gênero *Eimeria*. Essas desordens podem resultar em diminuição da absorção de nutrientes no intestino, aumento na conversão alimentar, redução na taxa de crescimento e menor desempenho dos frangos (AUGUSTINE e DANFORTH, 1999). No epitélio intestinal, a betaína contribui com o balanço hídrico e mantém a atividade celular, mesmo na presença de patógenos, possibilitando a absorção de nutrientes em situações de desafio (PEREIRA, 2008).

2.7. Uso da betaína na nutrição de frangos de corte

Resultados de alguns estudos tem demonstrado a importância do uso da betaína na alimentação animal. Alirezai et al. (2012) avaliaram a adição de 0,1% de betaína em dieta deficiente em metionina e verificaram propriedade antioxidante da betaína, que diminuiu a peroxidação lipídica no músculo do peito de frangos de corte. Zhan et al. (2006) avaliaram a inclusão de 0,05% de betaína na dieta de frangos de corte e verificaram redução da gordura abdominal. Testando o uso de betaína na dieta de frangos em condições de estresse térmico, He et al. (2015) concluíram que a betaína pode ser considerada estratégia nutricional para evitar a depressão causada pelo estresse térmico no desempenho e características de carcaça.

Ao avaliar a substituição de DL-metionina por betaína nas concentrações 25, 50 e 100%, Fu et al. (2016) observaram que não houve diferença no desempenho e características de carcaça; porém houve alteração no status oxidativo em frangos

alimentados com a dieta com 100% de substituição da DL-metionina, reduzindo atividade da glutathione peroxidase (GPx) e conteúdo de alguns aminoácidos no músculo do peito, induzidos pela deficiência de metionina. No entanto, Akhavan-Salamat e Ghasemi (2016) desafiando frangos de corte com estresse térmico crônico e incluindo betaína na dieta, observaram aumento nos parâmetros de atividade antioxidante no soro (capacidade total antioxidante, glutathione peroxidase e superóxido dismutase), considerando esse resultado um mecanismo de proteção contra o estresse oxidativo.

Resultados obtidos por Leng et al. (2016) demonstraram que a inclusão de betaína (500 ou 750 mg/kg) na dieta não afetou o desempenho de frangos e diminuiu a expressão do gene FAS hepático, diminuindo a disponibilidade de ácidos graxos para armazenamento ou esterificação em triglicerídeos e, conseqüentemente, reduzindo a deposição de gordura abdominal.

Ao reduzir parcialmente a metionina digestível (11,18%) e colina total (24,73%), Sakomura et al. (2013) verificaram que a adição de betaína na dieta não afeta o desempenho, rendimento de carcaça e morfologia intestinal de frangos de corte. Attia et al. (2009) observaram que a adição de 1g de betaína/kg de ração de frangos submetidos a estresse térmico proporcionou melhora nas características fisiológicas e desempenho produtivo, aliviando parcialmente os efeitos adversos do estresse térmico por calor.

3. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

A produção de frangos de corte está em constante intensificação e a busca por alimentos e/ou aditivos alternativos visa melhoria no desempenho, saúde e bem-estar das aves, além da redução nos custos de produção. O uso da betaína em níveis adequados sugere a possibilidade de redução da inclusão de metionina nas dietas de frango de corte sem prejudicar o desempenho, por meio da função de doador de grupo metil, permitindo a reciclagem da metionina no processo de remetilação da homocisteína. Outra função importante da betaína é a possibilidade de aumentar a resistência osmótica das células sob estresse, importante na avicultura, onde se pode observar situações de alta densidade de alojamento e estresse térmico. Devido a inconsistência dos resultados descritos na literatura, a presente pesquisa tem por objetivo tentar esclarecer o efeito adição de betaína em alguns parâmetros ligados a produção de frangos de corte.

O Capítulo 2, intitulado “**Betaína em substituição parcial a metionina na dieta de frangos de corte criados em alta densidade de alojamento**” foi redigido de acordo com as normas estabelecidas pelo periódico Canadian Journal of Animal Science (Qualis B1, fator de impacto 1,102), sob responsabilidade editorial de NRC Research Press Journals, exceto pelo idioma. O objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho zootécnico, parâmetros sanguíneos e ambientais de frangos de corte criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dietas contendo níveis de betaína em substituição parcial a metionina.

O Capítulo 3, intitulado “**Inclusão de betaína em substituição parcial a metionina em dietas de frango de corte em estresse térmico cíclico**” foi redigido de acordo com as normas estabelecidas pelo periódico Animal Science Journal (Qualis A2, fator de impacto 1,325), sob responsabilidade editorial de Wiley Online Library, exceto pelo idioma. O objetivo do estudo foi avaliar parâmetros bioquímicos, imunológicos e

fisiológicos de frangos de corte alimentados com dieta contendo betaína e submetidos a estresse cíclico por calor.

4. REFERÊNCIAS

ABPA – **Associação Brasileira de Proteína Animal**. Relatório Anual 2016. Acesso em: 05/08/2016a. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>>.

ABPA – **Associação Brasileira de Proteína Animal**. Protocolo de Bem-Estar de Frangos de Corte, 2016. Disponível em: <<http://www.abpa-br.org>>. Acesso em: 02 de outubro de 2016b.

ADENIJI, O.B. Effects of environmental enrichment strategies on behavior and production performance of broiler breeder chickens reared at elevated temperatures. Master's Thesis, University of Tennessee, 2012.

AKHAVAN-SALAMAT, H.; GHASEMI, H.A. Alleviation of chronic heat stress in broilers by dietary supplementation of betaine and turmeric rhizome powder: dynamics of performance, leukocyte profile, humoral immunity, and antioxidant status. **Tropical Animal Health and Production**, v.48, n.1, p.181-188, 2016.

ALIREZAEI, M.; GHEISARI, H.R.; RANJBAR, V.R.; HAJIBEMANI, A. Betaine: a promising antioxidant agent for enhancement of broiler meat quality. **British Poultry Science**, v.53, n.5, p.699-707, 2012.

ALIREZAEI, M.; JELODAR, G.; NIKNAM, P.; GHAYEMI, Z.; NAZIFI, S. Betaine prevents ethanol-induced oxidative stress and reduces total homocysteine in the rat cerebellum. **Journal of Physiology and Biochemistry**, v.67, n.4, p.605–612, 2011.

ALLAIN, V.; MIRABITO, L.; ARNOULD, C.; COLAS, M.; LE BOUQUIN, S.; LUPO, C.; MICHEL, V. Skin lesions in broiler chickens measured at the

slaughterhouse: relationships between lesions and between their prevalence and rearing factors. **British Poultry Science**, v.50, n.4, p.407-417, 2009.

ATTIA, Y.A.; HASSAN, R.A.; QOTA, E.M.A. Recovery from adverse effects of heat stress on slow-growing chicks in the tropics 1: Effect of ascorbic acid and different levels of betaine. **Tropical Animal Health and Production**, v.41, n.5, p.807-818, 2009.

AUGUSTINE, P.C.; DANFORTH, H.D. Influence of betaine and salinomycin on intestinal absorption of methionine and glucose and on the ultrastructure of intestinal cells and parasite developmental stages in chicks infected with *Eimeria acervulina*. **Avian Diseases**, v.43, p.89-97, 1999.

BAOS, R.; BLAS, J. 2009. Adrenocortical toxicology in birds: environmental contaminants and the avian response to stress. Pages 257–293 in P.W. Harvey, D. Everett, and C. Springall [EDS.], *Adrenal toxicology*, Vol. 26. Informa Healthcare, New York.

BARBOSA, N.A.A. **Avaliação de aditivos na dieta de frangos de corte**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Jaboticabal. 166f. 2009.

BIANCHI, M. et al. Physical and functional properties of whole and ground pale broiler breast meat. **Poultry Science**, v.84, p.803-808, 2005.

BIGGERS, J. D.; LAWITTS, J.A.; LECHENE, C.P. The protective action of betaine on the deleterious effects of NaCl on pre-implantation mouse embryos in vitro. **Molecular Reproduction and Development**, v.34, p.380-390, 1993.

BOKKERS, E. A. M.; DE BOER, I. J. M.; KOENE, P. Space needs of broilers, **Animal Welfare**, v.20, n.4, p.623-632, 2011.

BOKKERS, E. A. M.; KOENE, P. Behaviour of fast- and slow growing broilers to 12 weeks of age and the physical consequences. **Applied Animal Behaviour Science**, v.81, n.1, p.59-72, 2003.

BONNET, S.; GERAERT, P.A.; LESSIRE, M.; CARRE, B.; GUILLAUMIN, S. Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. **Poultry Science**, v.76, n.6, p.857-863, 1997.

BUIJS, S.; KEELING, L. J.; TUYTTENS. Using motivation to feed as a way to assess the importance of space for broiler chickens. **Animal Behaviour**, v.81, n.1, p.145-151, 2011.

BYDLOWSKI, S.P.; MAGNANELLI, A.C.; CHAMONE, D.A.F. Hiper-homocisteinemia e doenças vaso-oclusivas. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, v.71, n.1, 1998.

CHENDRIMADA, T.P.; NETO, M.G.; PESTI, G.M.; DAVIS, A.J.; BAKALLI, R.I. Determination of the betaine content of feed ingredients using high-performance liquid chromatography. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.82, p.1556-1563, 2002.

CONDE-AGUILERA, J.A.; COBO-ORTEGA, C.; TESSERAUD, S.; LESSIRE, M.; MERCIER, Y.; MILGEN, J.V. Changes in body composition in broilers by a sulfur amino acid deficiency during growth. **Poultry Science**, v.92, p.1266-1275, 2013.

COOPER, A.J.L. Biochemistry of sulfur-containing amino acids. **Annual Review of Biochemistry**, v.52, p.187-222, 1983.

COSTA-PINTO, F.A.; COHN, D.W.; SA-ROCHA, V.M.; SA-ROCHA, L.C.; PALERMO-NETO, J. Behavior: a relevant tool for brain-immune system interaction studies. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.1153, p.107-119, 2009.

COSTA-PINTO, F.A.; PALERMO-NETO, J. Neuroimmune interactions in stress. **Neuroimmunomodulation**, v.17, n.3, p.196-199, 2010.

DAWKINS, M. S. Behaviour as a tool in the assessment of animal welfare. **Zoology**, v.106, n.4, p.383-387, 2003.

DAWKINS, M. S.; DONNELLY, C. A.; JONES, T. A. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. **Nature**, v.427, p.342-344, 2004.

DEEB, N.; CAHANER, A. Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate. 3. Growth rate and water consumption of broiler progeny from weight-selected versus non selected parents under normal and high ambient temperatures. **Poultry Science**, v.81, n.3, p.293-301, 2002.

DOZIER III, W.A.; THAXTON, J.P.; BRANTON, S.L.; MORGAN, G.W.; MILES, D.M.; ROUSH, W.B.; LOTT, B.D.; THAXTON, Y.V. Stocking density effects on growth performance and processing yields of heavy broilers. **Poultry Science**, v.84, n.8, p.1332-1338, 2005.

EKLUND, M.; BAUER, E.; WAMATU, J.; MOSENTHIN, R. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. **Nutrition Research Reviews**, v.18, p.31-48, 2005.

EL-LETHEY, H., AERNI, V.; JUNGI, T.W.; WECHSLER, B. Stress and feather pecking in laying hens in relation to housing conditions. **British Poultry Science**, v.41, n.1, p.22-28, 2000.

ESTEVEZ, I. Density allowances for broilers: where to set the limits? **Poultry Science**, v.86, n.6, p.1265-1272, 2007.

FEDDES, J.J.R; EMMANUEL, E.J.; ZUIDHOF, M.J. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities. **Poultry Science**, v.81, n.6, p.774-779, 2002.

FERRARIS, J.; WILLIAMS, C.; JUNG, K.; BEDFORD, J.; BURG, M.; GARCIA-PEREZ, A. ORE, a eukaryotic minimal essential osmotic response element. The aldose reductase gene in hyperosmotic stress. **The Journal of Biological Chemistry**, v.271, n.31, p.18318-18321, 1996.

FRONTIERA, M.S.; STABLER, S.P.; KOLHOUSE, J.F.; ALLEN, R.H. Regulation of methionine metabolism: effects of nitrous oxide and excess dietary methionine. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.5, n.1, p.28-38, 1994.

FU, Q.; LENG, Z.X.; DING, L.R.; WANG, T.; WEN, C.; ZHOU, Y.M. Complete replacement of supplemental dl-methionine by betaine affects meat quality and amino acid contents in broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v.212, p.63-69, 2016.

HE, S.; ZHAO, S.; DAI, S.; LIU, D.; BOKHARI, S.G. Effects of dietary betaine on growth performance, fat deposition and serum lipids in broilers subjected to chronic heat stress. **Animal Science Journal**, v.86, n.10, p.897-903, 2015.

JANG, I.S.; YUN, S.H.; KO, Y.H.; KIM, S.Y.; SONG, M.H.; KIM, J.S.; SOHN, S.H.; MOON, Y.S. The effect of stocking density and strain on the performance and physiological adaptive responses in broiler chickens. **Korean Journal of Poultry Science**, v.41, n.3, p.205-215, 2014.

KEMPF, B.; BREMER, E. Uptake and synthesis of compatible solutes as microbial stress responses to high osmolality environments. **Archives of Microbiology**, v.170, p.319-330, 1998.

KETTUNEN, H.; PEURANEN, S.; TIIHONEN, K. Betaine aids in the osmoregulation of duodenal epithelium of broiler chicks and affects the movement of water across the intestinal epithelium *in vitro*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v.129, n.2-3, p.595-603, 2001.

KIDD, M.T.; FERKET, P.R.; GARLICH, J.D. Nutritional and osmoregulatory functions of betaine. **World's Poultry Science Journal**, v.53, n.2, p.125-139, 1997.

KLASING, K. C.; ADLER, K.L.; REMUS, J.C.; CALVERT, C.C. Dietary betaine increases intraepithelial lymphocytes in the duodenum of coccidia-infected chicks and increased functional properties of phagocytes. **Journal of Nutrition**, v.132, n.8, p.2274–2282, 2002.

LARA, L.J.; ROSTAGNO, M.H. Impact of heat stress on poultry production. **Animals**, v.3, n.2, p.356-369, 2013.

LENG, Z.; FU, Q.; YANG, X.; DING, L.; WEN, C.; ZHOU, Y. Increased fatty acid β -oxidation as a possible mechanism for fat-reducing effect of betaine in broilers. **Animal Science Journal**, v.87, n.8, p.1005-1010, 2016.

LEONE, E. H.; ESTEVES, I.; CHRISTMAN, M. C. Environmental complexity and group size. Immediate effects on use of space by domestic fowl. **Applied Animal Behaviour Science**, v.102, n.1-2, p.39-52, 2007.

MARTRENCAR, A.; MORISSE, J.P.; HUONNIC, D.; COTTE, J.P. Influence of stocking density on some behavioural, physiological and productivity traits of broilers. **Veterinary Research**, v.28, n.5, p.473-480, 1997.

McBRIDE, B.W.; KELLY, J.M. Energy cost of absorption and metabolism in the ruminant portal-drained viscera and liver: a review. *Journal of Animal Science*, v.68, n.9, p.2997-3010, 1990.

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.419-441, 2009.

MOREIRA, J.; MENDES, A.A.; ROÇA, R.O.; GARCIA, E.A.; NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; ALMEIDA PAZ, I.C. Efeito da densidade populacional sobre desempenho,

rendimento de carcaça e qualidade da carne em frangos de corte de diferentes linhagens comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1506-1519, 2004.

NATIONAL CHICKEN COUNCIL, 2010. Animal Welfare for Broiler Chickens. Disponível em: < <http://www.nationalchickencouncil.org/industry-issues/animal-welfare-for-broiler-chickens/>>. Acesso em 02 de outubro de 2016.

NELSON, D.L.; COX, M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger** - 6ª Ed. 2014. Editora Artmed.

NEWBERRY, R. C. 2004. Cannibalism. In: Perry GC (ed.), Welfare of the Laying Hen. Poult. Sci. Symposium Series 27 (Wallingford, U.K. CABI Publishing).

PANIZ, C.; GROTTTO, D.; SCHMITT, G.C.; VALENTINI, J.; SCHOTT, K.L.; POMBLUM, V.J.; GARCIA, S.C. Fisiopatologia da deficiência de vitamina B12 e seu diagnóstico laboratorial. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v.41, n.5, p. 323-334, 2005.

PARTRIDGE, G. Betaine from sugarbeet gives an energy boost. **Pig International**, v.32, n.1, p.21-24, 2002.

PEREIRA, P.W.Z. **Avaliação do complexo enzimático e betaína natural nas rações de frango de corte criados em aviário comercial**. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - Piracicaba. 63p. 2008.

PEREIRA, P.W.Z.; MENTEN, J.F.M.; RACANICCI, M.C.; TRALDI, A.B.; SILVA, C.S.; RIZZO, P.V. Avaliação de complexo enzimático e betaína natural em rações para frangos de corte criados em aviário comercial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.10, p.2230-2236, 2010.

PETRONINI, P.G.; DEANGELIS, E.M.; BORGHETTI, P.; BORGHETTI, A.F.; WHEELER, K.P. Modulation by betaine of cellular responses to osmotic stress. **Biochemistry Journal**, v.282, p.69-73, 1992.

PLAVNIK, I.; YAHAV, S. Effect of environmental temperature on broiler chickens subjected to growth restriction at an early age. **Poultry Science**, v.77, n.6, p.870-872, 1998.

QUINTEIRO-FILHO W.M.; RODRIGUES, M.V.; RIBEIRO, A.; FERRAZ-DE-PAULA, V; PINHEIRO, M.L.; SA, L.R.; FERREIRA, A.J.; PALERMO-NETO, J. Acute heat stress impairs performance parameters and induces mild intestinal enteritis in broiler chickens: Role of acute hypothalamic–pituitary–adrenal axis activation. **Journal of Animal Science**, v.90, n.6, p.1986-1994, 2012.

REMUS, J.C.; QUARLES, C.L. The effect of betaine on lesion scores and tensile strength of coccidia-challenged broilers. **Poultry Science**, v.79, n.1, p.118, 2000.

RUNHO, R.C.; GOMES, P.C.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; LOPES, P.S.; POZZA, P.C. Exigência de fósforo disponível para frangos de corte machos e fêmeas de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.187-196, 2001.

SAKOMURA, N.A.; BARBOSA, N.A.A.; LONGO, F.A.; SILVA, E.P.; BONATO, M.A.; FERNANDES, J.B.K. Effect of dietary betaine supplementation on the performance, carcass yield, and intestinal morphometrics of broilers submitted to heat stress. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.15, n.2, p.105-112, 2013.

SCAHAW. 2000. The welfare of chickens kept for meat production (broilers). Page 149 in European Commission. Health & Consumer Protection Directorate–General. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scah/out39_en.pdf Accessed Jul. 13, 2016.

SCAHAW, Scientific Committee on Animal Health and Welfare. Laying down minimum rules for the protection of chickens kept for meat production. European

Commission. Health and Consumer Protection Directorate-General, Luxemburgo, 2007.

Disponível em: < <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0043>>. Acesso em: 16 de setembro de 2016.

SCHUTTE, J.B.; PACK, M. Sulfur amino acid requirement of broiler chicks from fourteen to thirty-eight days of age. 1. Performance and carcass yield. **Poultry Science**, v.74, n.6, p.480-487, 1995.

SELYE, H. Forty years of stress research: principal remaining problems and misconceptions. **Canadian Medical Association Journal**, v.115, n.1, p53-56, 1976.

SETTAR, P.; YALCIN, S.; TURKMUT, L.; OZKAN, S.; CAHANAR, A. Season by genotype interaction related to broiler growth rate and heat tolerance. **Poultry Science**, v.78, n.10, p.1353-1358, 1999.

SHOEMAKER, V.H. Osmoregulation and excretion in birds. In: FARNER, D.S.; KING, J.R.; PARKERS, K.C. **Avian Biology**, v.2, p.527-574, 1972.

SIMITZIS, P.E.; KALOGERAKI, E.; GOLIOMYTIS, M.; CHARISMIADOU, M.A.; TRIANTAPHYLLOPOULOS, K.; AYOUTATI, A.; NIFOROU, K.; HAGERTHEODORIDES, A. L.; DELIGEORGIS, S.G. Impact of stocking density on broiler growth performance, meat characteristics, behavioural components and indicators of physiological and oxidative stress. **British Poultry Science**, v.53, n.6, p.721-730, 2012.

SOLBERG, J.; BUTTERY, P.J.; BOORMAN, K.N. Effect of moderate methionine deficiency on food, protein and energy utilization in the chick. **British Poultry Science**, v.12, n.3, p.297-304, 1971.

STRYER, L. **Biochemistry**. 3rd ed. New York: W.F. Freeman, 1089p. 1988.

SUN Z.W.; YAN, L.; G, Y.Y.; ZHAO, J.P.; LIN, H.; GUO, Y.M. Increasing dietary vitamin D3 improves the walking ability and welfare status of broiler chickens reared at high stocking densities. **Poultry Science**, v.92, n.12, p.3071-3079, 2013.

TURK, D. E. Symposium: The avian gastrointestinal tract and digestion. **Poultry Science**, v.64, n.7, p. 1225-1244, 1982.

YANCEY, P.H.; CLARK, M.E.; HAND, S.C.; BOWLUS, R.D.; SOMERO, G.N. Living with water stress: evolution of osmolyte systems. **Science**, v.217, n.4566, p.1214-22, 1982.

YANG, E.V.; GLASER, R. Stress-induced immunomodulation and the implications for health. **International Immunopharmacology**, v.2, n.2-3, p.315-324, 2002.

ZHAN, X.A.; LI, J.X.; XU, Z.R.; ZHAO, R.Q. Effects of methionine and betaine supplementation on growth performance, carcass e composition and metabolism of lipids in male broilers. **British Poultry Science**, v.47, n.5, p.576-580, 2006.

ZHAO, J. P.; JIAO, H. C.; JIANG, Y.B.; SONG, Z. G.; WANG, X. J.; LIN, H. Cool perches improve the growth performance and welfare status of broiler chickens reared at different stocking densities and high temperatures. **Poultry Science**, v.92, n.8, p.1962-1971, 2013.

ZUO, J.; XU, M.; ABDULLAHI, Y.A.; MA, L.; ZHANG, Z.; FENG, D. Constant heat stress reduces skeletal muscle protein deposition in broilers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.95, n.2, p.429-436, 2015.

CAPÍTULO 2

BETAÍNA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL A METIONINA NA DIETA DE FRANGOS DE CORTE CRIADOS EM ALTA DENSIDADE

RESUMO: O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de inclusões de betaína em substituição parcial à metionina no desempenho, parâmetros bioquímicos sanguíneos, temperatura superficial e comportamento de frangos de corte submetidos a duas densidades de alojamento. Foram utilizados 1.736 pintainhos de corte machos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, sendo quatro dietas e duas densidades de alojamento (13 e 18 aves/m²) com sete repetições. As dietas consistiram em: dieta controle positivo (CP, com teores de metionina digestível de 0,511, 0,459, 0,431 e 0,404% para as fases pré-inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente) e três dietas controle negativo (CN) com teores de metionina digestível 20% menores e suplementadas com os seguintes níveis de betaína HCl 95%: 0,101, 0,090, 0,085 e 0,080%(CN1); 0,300, 0,200, 0,150 e 0,150%(CN2); 0,450, 0,300, 0,225 e 0,225%(CN3), nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente. A suplementação de betaína melhorou o rendimento de peito, e em alta densidade de alojamento reduziu níveis de colesterol, ácido úrico e glicose em frangos de corte. A suplementação com betaína HCl 95% em substituição parcial a 20% da exigência de metionina digestível melhora a saúde e rendimento de peito de frangos de corte.

Palavras-chave: aditivos, comportamento, colesterol, rendimento

**BETAINE IN PARTIAL REPLACEMENT OF METHIONINE IN THE
BROILER CHICKENS DIET REARED IN HIGH STOCK DENSITY**

ABSTRACT: The aim of this research was to evaluate the effect of betaine inclusions in partial replacement of methionine on the biochemical parameter, surface temperature and behavior of broilers submitted to two stocks densities. A total of 1,736 male broiler chicks were distributed in a completely randomized design in a 4x2 factorial arrangement, 4 diets and 2 stocks densities (13 and 18 birds/m²), with 7 replicate floor pens. Dietary consisted of: positive control diet (PC, with digestible methionine contents 0.511, 0.459, 0.431 and 0.404% for the pre-starter, start, growth and final phases, respectively) and three diets negative control (NC) with contents digestible methionine 20% minors and supplemented with betaine HCl 95% levels: 0.101, 0.090, 0.085 and 0.080%(NC1); 0.300, 0.200, 0.150 and 0.150%(NC2) and 0.450, 0.300, 0.225 and 0.225%(NC3), in the pre-starter, start, growth and final phases, respectively. Supplementation with betaine improved breast yield, and in high stock density reduced cholesterol levels, uric acid and glucose in broiler chicken. Supplementation with betaine HCl 95% in partial replacement at 20% of the digestible methionine requirement improves the health and breast yield of broilers chickens.

Key words: Additives, behavior, cholesterol, yield

INTRODUÇÃO

A produção de carne de frango no Brasil atualmente é exportada para mais de 150 países do mundo atualmente, além de atender o mercado interno. Devido às demandas do mercado, o sistema de produção vem sendo intensificado para garantir quantidade e qualidade do produto final (ABPA, 2016).

A prática de alojamento de frangos de corte em altas densidades para aumentar a produtividade pode não ser vantajosa, pois reduz a eficiência alimentar e reflete na qualidade de carcaça (Estevez, 2007; Abudabos et al., 2013; Guardia et al., 2011). Além disso, Moreira et al. (2004) ao avaliarem densidades de 10, 13 e 16 aves/m², verificaram que densidades superiores a 13 aves/m² proporcionaram redução no ganho de peso das aves, principalmente na fase final de criação.

A inclusão de certos aditivos na dieta das aves pode ser uma alternativa de amenizar os efeitos adversos do estresse. A betaína é um trimetil com propriedades osmorreguladora (Kidd et al., 1997) e doadora de grupamentos metil (Nelson e Cox, 2014), podendo ser utilizada como estratégia nutricional para frangos de corte com intuito de reduzir perdas causadas por estresse durante o período de criação.

Alguns autores afirmaram que não é recomendado substituir parcialmente a metionina por betaína, baseados em resultados de redução no crescimento e piora na conversão alimentar (Rostagno e Pack, 1996; Esteve-Garcia e Mack, 2000). Entretanto, estudos mais recentes indicam o efeito benéfico da betaína como melhoria no desempenho das aves, no rendimento de carcaça, efeito antioxidante na carne, redução de gordura abdominal e redução de mortalidade (Alirezai et al., 2012; Jahanian e Rahmani, 2008; Zhan et al., 2006; Lukic et al., 2012).

O objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho zootécnico, parâmetros sanguíneos, temperatura superficial e comportamento de frangos de corte criados em

duas densidades de alojamento e alimentados com dietas contendo diferentes inclusões de betaína em substituição parcial a metionina.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – FMVZ, UNESP, Câmpus de Botucatu, no Laboratório de Nutrição de Aves. Os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (protocolo nº 103/2014 – CEUA/FMVZ).

Animais, dietas e delineamento experimental

Foram utilizados 1.736 pintainhos de corte machos da linhagem *Cobb-500* com um dia de idade, provenientes de incubatório da região, vacinados contra a doença de Marek. As aves foram alojadas em 56 boxes com área de 2m², com cama de maravalha reutilizada por cinco lotes. O fornecimento de água e ração foi *ad libitum* durante todo o período de criação, utilizando-se comedouros tubulares e bebedouros tipo *nipple*. O programa diário de luz utilizado foi de 24 horas de luz nas fases pré-inicial e inicial, e de 18 horas de luz e 6 horas de escuro na fase de crescimento e final. Aos 7 dias de idade as aves foram vacinadas contra a doença de Gumboro (cepa intermediária) via água de bebida. Os dados ambientais foram coletados durante todo o período experimental e posteriormente convertidos ao índice de conforto térmico ITGU (índice de temperatura de globo negro e umidade), proposto por Buffington et al. (1981), que indica os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar.

As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, sendo quatro dietas e duas densidades de alojamento (13 e 18 aves/m²) com sete repetições. As dietas experimentais foram formuladas a base de milho e farelo de soja (Tabela 1), de acordo com as recomendações de Rostagno et al.

(2011), para frangos de corte machos de desempenho médio, divididas em quatro fases de criação de acordo com a idade: pré-inicial (1 a 7 dias), inicial (8 a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias de idade).

As dietas consistiram em: dieta controle positivo (CP, com teores de metionina digestível de 0,511, 0,459, 0,431 e 0,404% para as fases pré-inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente) e três dietas controle negativo (CN) com teores de metionina digestível 20% menores e suplementadas com os seguintes níveis de betaína HCl 95%: 0,101, 0,090, 0,085, 0,080%(CN1); 0,300, 0,200, 0,150, 0,150%(CN2); 0,450, 0,300, 0,225, 0,225%(CN3), nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente.

Tabela 1. Composição centesimal e nutricional calculada das dietas experimentais nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final.

Ingredientes	Pré-Inicial (1 a 7 dias)				Inicial (8 a 21 dias)				Crescimento (22 a 35 dias)				Final (36 a 42 dias)			
	CP	CN1	CN2	CN3	CP	CN1	CN2	CN3	CP	CN1	CN2	CN3	CP	CN1	CN2	CN3
Milho	57,767	57,885	57,885	57,885	61,222	61,313	61,313	61,313	63,905	64,016	64,016	64,016	67,453	67,564	67,564	67,564
Farelo de soja 45%	32,213	32,215	32,215	32,215	30,295	30,300	30,300	30,300	27,345	27,345	27,345	27,345	25,155	25,145	25,145	25,145
Farelo glúten milho 60%	4,000	4,000	4,000	4,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,800	2,800	2,800	2,800	1,500	1,500	1,500	1,500
Bicarbonato de sódio	0,300	0,299	0,299	0,299	0,290	0,290	0,290	0,290	0,360	0,361	0,361	0,361	0,368	0,375	0,375	0,375
Calcário calcítico	0,914	0,913	0,913	0,913	0,924	0,920	0,920	0,920	0,865	0,865	0,865	0,865	0,770	0,770	0,770	0,770
Fosfato bicálcico	1,959	1,959	1,959	1,959	1,547	1,565	1,565	1,565	1,308	1,308	1,308	1,308	1,090	1,090	1,090	1,090
Sal comum	0,305	0,305	0,305	0,305	0,300	0,300	0,300	0,300	0,213	0,213	0,213	0,213	0,195	0,190	0,190	0,190
Óleo de soja	1,020	0,997	0,997	0,997	1,286	1,270	1,270	1,270	2,264	2,240	2,240	2,240	2,572	2,548	2,548	2,548
DL-Metionina (99%)	0,196	0,093	0,093	0,093	0,162	0,069	0,069	0,069	0,149	0,062	0,062	0,062	0,146	0,065	0,065	0,065
Betaina HCl (95%)	0,000	0,101	0,101	0,101	0,000	0,090	0,090	0,090	0,000	0,085	0,085	0,085	0,000	0,080	0,080	0,080
L-Lisina HCl (78,4%)	0,431	0,431	0,431	0,431	0,323	0,323	0,323	0,323	0,293	0,293	0,293	0,293	0,285	0,285	0,285	0,285
L-Treonina (98,5%)	0,116	0,115	0,115	0,115	0,066	0,066	0,066	0,066	0,047	0,046	0,046	0,046	0,051	0,052	0,052	0,052
L-Valina (98%)	0,080	0,079	0,079	0,079	0,026	0,026	0,026	0,026	0,017	0,017	0,017	0,017	0,031	0,032	0,032	0,032
Cloreto de colina (60%)	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,050	0,050	0,050	0,050	0,040	0,040	0,040	0,040
Premix Vit./Min. ¹	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,160	0,160	0,160	0,160	0,120	0,120	0,120	0,120
Inerte ²	0,440	0,349	0,150	0,000	0,300	0,210	0,100	0,000	0,225	0,140	0,075	0,000	0,225	0,146	0,075	0,000
Betaina HCl (95%) “on top”	0,000	0,000	0,199	0,349	0,000	0,000	0,110	0,210	0,000	0,000	0,065	0,140	0,000	0,000	0,070	0,146
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Composição calculada</i>																
EM (kcal/kg)	2.950	2.950	2.950	2.950	3.000	3.000	3.000	3.000	3.100	3.100	3.100	3.100	3.150	3.150	3.150	3.150
PB (%)	22,20	22,20	22,20	22,20	20,80	20,80	20,80	20,80	19,50	19,50	19,50	19,50	18,00	18,00	18,00	18,00
Cálcio (%)	0,920	0,920	0,920	0,920	0,819	0,822	0,822	0,822	0,732	0,732	0,732	0,732	0,638	0,638	0,638	0,638
Fósforo disponível (%)	0,470	0,470	0,470	0,470	0,391	0,395	0,395	0,395	0,342	0,342	0,342	0,342	0,298	0,298	0,298	0,298
Metionina digestível (%)	0,511	0,511	0,511	0,511	0,459	0,458	0,458	0,458	0,431	0,431	0,431	0,431	0,404	0,404	0,404	0,404
Met+Cys digestível (%)	0,816	0,817	0,817	0,817	0,748	0,748	0,748	0,748	0,705	0,706	0,706	0,706	0,658	0,659	0,659	0,659
Lisina digestível (%)	1,310	1,310	1,310	1,310	1,174	1,174	1,174	1,174	1,078	1,078	1,078	1,078	1,010	1,010	1,010	1,010
Treonina digestível (%)	0,852	0,852	0,852	0,852	0,763	0,763	0,763	0,763	0,701	0,701	0,701	0,701	0,656	0,657	0,657	0,657
Potássio (%)	0,762	0,763	0,763	0,763	0,736	0,736	0,736	0,736	0,689	0,690	0,690	0,690	0,658	0,658	0,658	0,658
Sódio (%)	0,220	0,220	0,220	0,220	0,216	0,216	0,216	0,216	0,200	0,201	0,201	0,201	0,195	0,195	0,195	0,195
Cloro (%)	0,235	0,257	0,257	0,257	0,232	0,252	0,252	0,252	0,180	0,199	0,199	0,199	0,170	0,185	0,185	0,185

¹Premix vitamínico e mineral para frangos de corte (Tortuga®). Níveis de garantia/kg de ração: **Fases pré-inicial e inicial:** Vit. A, 11.092 UI; Vit. B1, 2,01 mg; Vit. B12, 12 µg; Vit. B2, 4,5 mg; Vit. B6, 2,49 mg; Vit. D3, 2,678 UI; Vit. E, 24,86 UI; Vit. K3, 1,88 mg; Biotina, 0,1 mg; Niacina, 0,03 g; Ác. Fólico, 0,99 mg; Ác. Pantotênico, 11,78 mg; Cu, 8,56 mg; Fe, 0,049 g; I, 1 mg; Mn, 0,066 g; Se, 0,3 mg; Zn, 0,051 g; **Fase crescimento:** Vit. A, 8.873,6 UI; Vit. B1, 1,6 mg; Vit. B12, 9,6 µg; Vit. B2, 3,6 mg; Vit. B6, 1,99 mg; Vit. D3, 2.142,4 UI; Vit. E, 19,88 UI; Vit. K3, 1,51 mg; Biotina, 0,08 mg; Niacina, 0,024 g; Ác. Fólico, 0,79 mg; Ác. Pantotênico, 9,42 mg; Cu, 6,84 mg; Fe, 0,039 g; I, 0,8 mg; Mn, 0,053 g; Se, 0,24 mg; Zn, 0,041 g; **Fase final:** Vit. A, 6.655,2 UI; Vit. B1, 1,2 mg; Vit. B12, 7,2 µg; Vit. B2, 2,7 mg; Vit. B6, 1,49 mg; Vit. D3, 1.606,8 UI; Vit. E, 14,91 UI; Vit. K3, 1,13 mg; Biotina, 0,06 mg; Niacina, 0,018 g; Ác. Fólico, 0,59 mg; Ác. Pantotênico, 7,06 mg; Cu, 5,13 mg; Fe, 0,029 g; I, 0,6 mg; Mn, 0,039 g; Se, 0,18 mg; Zn, 0,030 g. ²Caulim. A inclusão de antimicrobiano (lincomicina 4,4 ppm) e anticoccidiano (monensina sódica 100 ppm) foi feita em substituição ao inerte nas fases pré-inicial e inicial e crescimento.

Desempenho e rendimento de carcaça

Para o período de 1 a 42 dias de idade foram avaliados os parâmetros de desempenho zootécnico: peso final, ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar, viabilidade e fator de eficiência produtiva, expresso pela fórmula: FEP = [(ganho de peso médio diário x viabilidade)/conversão alimentar]/10.

Posteriormente foram selecionadas três aves de cada unidade experimental, que foram submetidas a jejum de sólidos por oito horas e abatidas por sangria, após insensibilização por eletronarcose. Após a depena e evisceração, as carcaças foram pesadas (sem cabeça e pés) para determinação de rendimento de carcaça (%), com base no peso vivo antes do abate e, em seguida, separadas em partes (peito, coxas, sobrecoxas, asas e dorso) para determinação do rendimento das partes (%). A percentagem de gordura abdominal foi determinada em relação ao peso vivo antes do abate, removendo-se a gordura aderida à cavidade abdominal e à moela e proventrículo.

Parâmetros bioquímicos

As análises de perfil lipídico, proteínas totais e ácido úrico foram realizadas no plasma sanguíneo. Os níveis de glicose foram determinados no soro sanguíneo. Aos 42 dias de idade foram coletados 5 mL de sangue de uma ave por unidade experimental, via punção da veia braquial com seringas heparinizadas, após jejum de duas horas. As amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 3500 rpm, para obtenção do plasma. Após a obtenção do plasma, as amostras foram armazenadas em microtubos de 1,5 mL em temperatura -20°C, para posterior análise. Para obtenção do soro (análise de glicose) foram coletados 5 mL de sangue de uma ave por unidade experimental, via punção da veia braquial, e as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 3500 rpm. Os teores

de colesterol, triglicérides, proteínas totais, ácido úrico e glicose foram analisados utilizando kits comerciais (Bioclin[®]).

Relação heterófilo:linfócito

Para a verificação da relação heterófilo:linfócito foi utilizada uma ave por unidade experimental, aos 42 dias de idade. Foi coletado 1 mL de sangue por ave, via punção da veia braquial, com seringa heparinizada, para a confecção de lâminas a serem utilizadas para contagem e diferenciação de 100 leucócitos, segundo metodologia descrita por Campo e Dávila (2002). Após a contagem total dos leucócitos, foi calculada a relação heterófilo:linfócito de cada amostra.

Temperatura superficial

Para o registro da temperatura superficial das aves, na última semana de criação (35 a 42 dias de idade), foram feitas duas imagens termográficas das aves por unidade experimental (às 09 horas e às 15 horas), usando câmera de termografia infravermelha (Fluke Ti20, número de série 94370111) com precisão de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. A câmera foi posicionada à distância de 1 m de altura em relação às aves, a fim de se obter um preenchimento melhor da imagem. Foi utilizado um coeficiente de emissividade (ϵ) de 0,94 para as regiões com penas e de 0,95 para as regiões sem penas (Nääs et al., 2010). Cada termograma foi analisado por meio da transformação e conversão dos dados utilizando o *software* InsideIR 4.0 – Fluke. Vinte pontos aleatórios foram escolhidos na imagem das aves para determinação da média de temperatura superficial das mesmas (Figura 1).

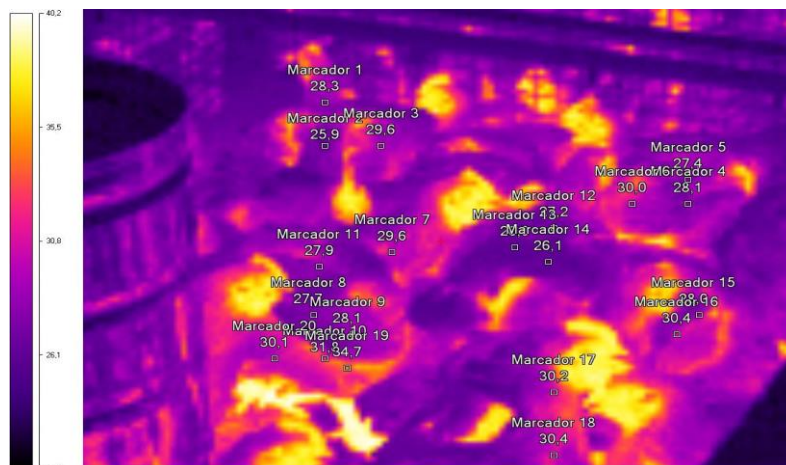


Figura 1. Imagem termográfica de frangos de corte aos 36 dias de idade criados em duas densidades e alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.

Análise comportamental

O estudo comportamental foi realizado por meio de análise visual após o processamento de imagens digitais. As imagens foram obtidas por câmeras de vídeo (HM-53 D&N, CCD Sony Super HAD), permitindo o monitoramento dos comportamentos dos frangos sem a interferência humana.

Foram utilizadas 8 câmeras de vídeo instaladas no teto do galpão, sendo que cada câmera exibia imagens de quatro boxes, contemplando quatro repetições por tratamento. As câmeras foram conectadas a um computador equipado com software para aquisição e armazenamento de dados. As avaliações comportamentais foram realizadas durante cinco dias na última semana de criação, a partir da amostra de 15 minutos no período matutino e 15 minutos no período vespertino, no intervalo das 6 às 7 horas e das 14 às 15 horas (horário de temperatura mínima e máxima, respectivamente).

Aleatoriamente, duas aves por unidade experimental foram escolhidas no momento da análise e monitorados os comportamentos conforme tabela 2. Todas as informações referentes aos comportamentos foram relacionadas com data, hora,

condições ambientais do momento da ocorrência e verificado se houve um possível efeito da dieta. A frequência de cada comportamento observado foi dividida pela frequência total de comportamentos. Posteriormente, as variáveis coletadas foram classificadas em “atividade” (abrir asas, correr, arrepiar penas, limpar penas, ciscar, espojar, espreguiçar, bicar, montar, perseguir, prostar e ameaçar), em “ócio” (deitar/parada) e “alimentar” (comer e beber).

Tabela 2. Etograma descritivo dos comportamentos observados em frangos de corte (Adaptado de Pereira et al., 2007).

Comportamento	Descrição
Abrir asas	Movimento em que a ave bate as duas asas.
Ameaçar	Atitude da ave se posicionar na frente da outra, com o pescoço esticado e as penas do pescoço arrepiadas, com as duas asas abertas, olhando de cima para baixo a outra ave.
Arrepiar penas	Ação de arrepiar e sacudir todas as penas do corpo.
Beber	Ato em que a ave se posiciona na frente do bebedouro e bebe água.
Bicar	Ação de uma ave bicar qualquer parte do corpo de outra ave de forma agressiva.
Ciscar	Movimento de arrastar a cama para trás com as patas e "fuçar" a cama com o bico.
Comer	Ato em que a ave se posiciona na frente do comedouro e ingere ração.
Correr	Movimentação de uma ave entre dois pontos distantes em velocidade maior do que a observada normalmente.
Deitar	Ato de a ave ficar sentada ou deitada sobre a cama.
Espojar	Banho realizado pela ave utilizando o substrato da cama.
Espreguiçar	Ato em que a ave estica a asa e uma perna, do mesmo hemisfério do corpo.
Limpar penas	Ato em que a ave arruma as penas com o bico, induzindo a liberação de óleos nas glândulas encontradas na base das penas.
Montar	Ação de uma ave subir em cima da outra, que pode ser interpretado como

	um comportamento agressivo.
Perseguir	Ato de uma ave correr atrás da outra com a intenção de bicar ou outra forma de agressão.
Prostar	Atitude em que uma ave fica deitada na cama, com o bico aberto e ofegante, as asas semi-abertas, com o intuito de aumentar a área para troca de calor com o ambiente.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativas, as médias entre os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo software estatístico Minitab® 17. Para a análise comportamental, verificando que os dados não apresentaram distribuição normal, os mesmos foram analisados pelo teste de Kruskal Wallis.

RESULTADOS

As médias diárias de temperatura do ar (T, °C) e umidade relativa (%) durante o período experimental são apresentadas na figura 2 e do índice de temperatura de globo negro e umidade são apresentadas na figura 3. Com exceção da primeira semana, durante todo o período experimental os valores de ITGU indicaram que as aves estavam em conforto térmico.

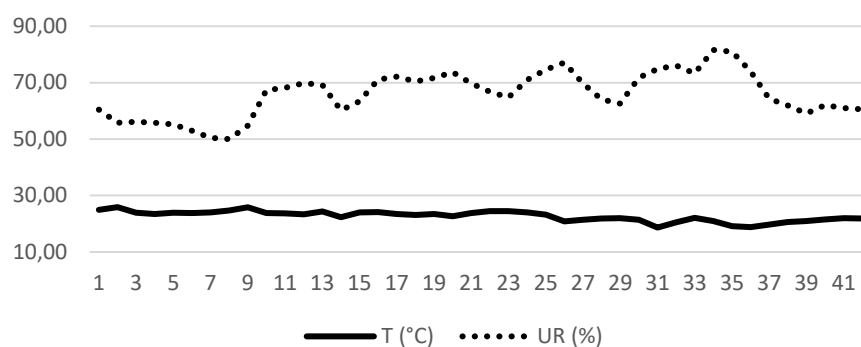


Figura 2. Temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) do galpão de frangos de corte durante o período experimental.

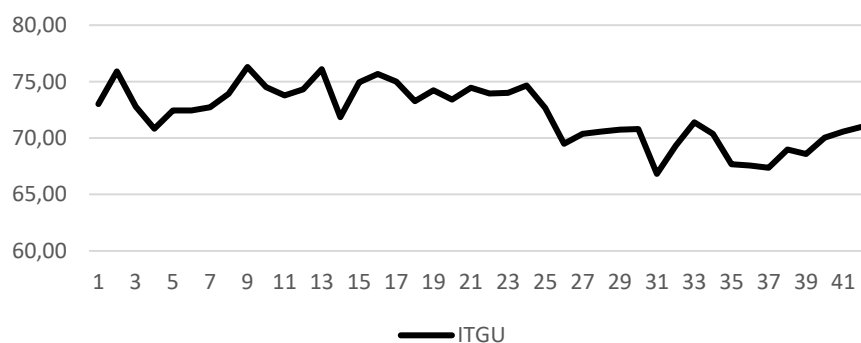


Figura 3. Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) do galpão de frangos de corte durante o período experimental.

Não houve interação dos fatores dieta e densidade de alojamento no desempenho zootécnico de frangos de corte. Avaliando os fatores individualmente, verificou-se que frangos alimentados com inclusão de betaína (CN2 e CN3) em substituição parcial a metionina apresentaram conversão alimentar semelhante as aves do grupo controle positivo, diferindo apenas das aves do tratamento no qual houve menor suplementação de betaína (CN1) (Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho de frangos de corte de 1 a 42 dias alojados em duas densidades e alimentados com dietas contendo diferentes inclusões de betaína.

Dieta	Densidade (aves/m ²)	PM (g)	GPM (g)	CRM (g)	CA (kg/kg)	VIAB (%)	FEP
CP	18	2733,96	2686,91	4684,09	1,753	97,62	356,24
	13	2914,94	2867,29	4909,09	1,710	97,25	388,05
CN1	18	2763,51	2716,35	4776,03	1,768	97,22	355,58
	13	2892,34	2845,01	4973,97	1,751	99,45	384,97
CN2	18	2748,18	2701,18	4680,25	1,738	97,22	359,88
	13	2905,43	2858,24	4889,64	1,713	98,90	393,01
CN3	18	2756,33	2709,21	4717,61	1,748	96,03	354,40
	13	2882,29	2835,12	4853,52	1,723	96,70	378,84
Dieta							
CP		2824,45	2777,10	4796,59	1,732 b	97,44	372,15
CN1		2827,93	2780,68	4875,00	1,759 a	98,34	370,28
CN2		2826,80	2779,71	4784,95	1,725 b	98,06	376,44
CN3		2819,31	2772,17	4785,57	1,736 b	96,37	366,62
Densidade							
	18	2750,50 b	2703,41 b	4714,49 b	1,752 a	97,02	356,53 b
	13	2898,75 a	2851,42 a	4906,56 a	1,724 b	98,08	386,22 a
Erro Padrão		13,54	13,53	21,79	0,004	0,41	2,80
<i>P value</i>							
Dieta		0,989	0,990	0,232	0,002	0,357	0,388
Densidade		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,218	0,0001
Dieta x Densidade		0,715	0,720	0,825	0,506	0,697	0,878

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090, 0,085 e 0,080%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150 e 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225 e 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final. ^{ab} Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. PM: peso médio. GPM: ganho de peso médio. CRM: consumo de ração médio. CA: conversão alimentar. VIAB: viabilidade. FEP: fator de eficiência produtiva.

Com exceção do índice de viabilidade, houve efeito da densidade de alojamento para todas as variáveis de desempenho avaliadas, verificando que a densidade de 18 aves/m² reduziu o peso final, o ganho de peso médio e o consumo de ração dos frangos de corte, piorou a conversão alimentar e o fator de eficiência produtiva (Tabela 3).

Não houve efeito da dieta no rendimento de carcaça e de coxas. Observou-se efeito positivo da suplementação de betaína no rendimento de peito, sendo este maior em aves do tratamento CN3 comparado com as aves dos tratamentos CP e CN1 (Tabela 4). O rendimento de sobrecoxa em frangos do tratamento CN2 foi menor quando comparados com frangos do grupo controle; entretanto, frangos alimentados com dieta CN1 e CN3 não diferiram do grupo CP. Observou-se efeito da densidade de alojamento nos parâmetros de rendimento de peito e coxa, sendo que frangos criados em alta densidade (18 aves/m²) apresentaram menor rendimento de peito e maior rendimento de coxa.

Tabela 4. Rendimento de carcaça, partes e percentagem de gordura abdominal de frangos de corte aos 42 dias, criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.

Dieta	Densidade (aves/m ²)	Carcaça (%)	Peito (%)	Coxa (%)	Sobrecoxa (%)	Gordura abdominal (%)
CP	18	74,49	39,53	14,17	15,45	1,99 x
	13	73,44	41,44	13,68	16,21	1,53 yY
CN1	18	74,07	40,50	14,13	15,80	1,60
	13	73,87	41,42	13,72	15,58	1,59 XY
CN2	18	75,07	41,61	13,88	15,20	1,66
	13	74,02	41,03	13,78	14,93	1,79 X
CN3	18	74,54	41,60	14,09	15,18	1,58
	13	74,78	43,27	12,97	15,43	1,64 XY
Dieta						
CP		73,97	40,48 b	13,93	15,83 a	1,76
CN1		73,97	40,96 b	13,93	15,69 ab	1,59
CN2		74,55	41,32 ab	13,83	15,06 b	1,73
CN3		74,66	42,44 a	13,53	15,30 ab	1,61
Densidade						
	18	74,54	40,81 b	14,07 a	15,41	1,71
	13	74,03	41,79 a	13,54 b	15,54	1,64
Erro Padrão		0,18	0,19	0,08	0,09	0,03
P value						
Dieta		0,347	0,001	0,189	0,010	0,200
Densidade		0,143	0,007	0,0001	0,456	0,296
Dieta x Densidade		0,472	0,063	0,106	0,154	0,011

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090, 0,085 e 0,080%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150 e 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225 e 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final. ^{x,y} Nas interações, médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem na densidade dentro da mesma dieta, pelo teste F a 5% de probabilidade. ^{x,y} Nas interações, médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem quanto a dieta dentro da mesma densidade, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na coluna, dentro do fator Densidade, diferem entre si pelo teste F e dentro do fator Dieta, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve interação dieta e densidade de alojamento na percentagem de gordura abdominal (Tabela 4). Na dieta controle positivo houve diferença entre as densidades, observando-se maior percentagem de gordura em frangos criados em alta densidade (18

aves/m²). Em densidade recomendada (13 aves/m²), frangos alimentados com dieta contendo betaína (CN1 e CN3) apresentaram percentagem de gordura abdominal semelhante a dieta controle positivo.

Os resultados da avaliação do perfil bioquímico sanguíneo das aves são apresentados na tabela 5. Houve interação dos fatores nos níveis de colesterol e ácido úrico. Dietas contendo betaína reduziram os níveis de colesterol (CN2) e ácido úrico (CN3) em frangos quando criados em alta densidade de alojamento, comparado com aqueles que receberam a dieta controle positivo.

Não houve interação dos fatores nos níveis de glicose; porém, considerando os fatores de forma isolada, observou-se menores níveis em frangos alimentados com dieta CN2 quando comparados com aqueles que receberam a dieta controle positivo (Tabela 5). Houve diferença entre as densidades de alojamento, sendo os maiores níveis de glicose encontrados em frangos criados em alta densidade (18 aves/m²). Os níveis de triglicérides, VLDL e proteínas totais não foram influenciados pelos tratamentos.

Tabela 5. Níveis séricos de glicose e níveis plasmáticos de colesterol, triglicérides, VLDL, ácido úrico e proteínas totais de frangos de corte aos 42 dias, criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.

Dieta	Densidade (aves/m ²)	Glicose (mg/dL)	Colesterol (mg/dL)	Triglicérides (mg/dL)	VLDL (mg/dL)	Ácido Úrico (mg/dL)	Proteínas Totais (g/dL)
CP	18	240,6	135,6 X	136,0	27,1	6,6 X	3,03
	13	220,3	127,2	126,6	25,2	5,6	3,15
CN1	18	222,7	128,8 XY	117,1	23,5	5,9 XY	3,05
	13	214,7	126,4	127,7	25,5	5,7	2,96
CN2	18	224,6	118,0 Y	119,7	26,9	6,0 XY	3,05
	13	210,1	129,6	128,6	25,9	5,9	3,06
CN3	18	222,9	123,1 XY	117,4	23,4	5,3 Y	2,85
	13	218,0	129,0	124,2	25,9	5,8	3,19
Dieta							
CP		230,5 a	131,4	131,3	26,2	6,1	3,1
CN1		218,7 ab	127,6	122,4	24,5	5,8	3,0
CN2		217,3 b	123,8	124,1	26,4	6,0	3,1
CN3		220,5 ab	126,0	120,8	24,5	5,5	3,0
Densidade							
	18	227,7 a	126,4	122,6	25,2	6,0	3,0
	13	215,8 b	128,0	126,8	25,5	5,7	3,1
Erro Padrão		1,90	1,35	1,87	0,43	0,10	0,03
<i>P value</i>							
Dieta		0,042	0,219	0,191	0,238	0,206	0,702
Densidade		0,001	0,531	0,254	0,732	0,225	0,117
Dieta x Densidade		0,429	0,043	0,195	0,233	0,044	0,077

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090, 0,085 e 0,080%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150 e 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225 e 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final. ^{X,Y} Nas interações, médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem quanto a dieta dentro da mesma densidade, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na coluna, dentro do fator Densidade, diferem entre si pelo teste F e dentro do fator Dieta, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve interação dieta e densidade de alojamento nos resultados referente às células leucocitárias (Tabela 6). Houve diferença entre as dietas na relação

heterófilo:linfócito, sendo que frangos alimentados com dieta CN1 apresentaram valores maiores em relação aquelas alimentadas com CP e CN2

Tabela 6. Parâmetros hemato-imunológicos de frangos de corte aos 40 dias, criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.

Dieta	Densidade (aves/m ²)	Heterófilo (%)	Linfócito (%)	Monócito (%)	Basófilo (%)	Relação H:L
CP	18	13,29	78,71	2,86	2,86	0,12
	13	18,14	79,57	1,14	0,57	0,17
CN1	18	22,86	71,43	2,71	1,57	0,33
	13	20,00	74,43	2,71	1,57	0,29
CN2	18	14,86	80,29	2,00	1,29	0,19
	13	13,00	81,43	2,57	1,29	0,17
CN3	18	18,00	74,57	3,29	2,00	0,26
	13	15,43	79,57	1,86	2,43	0,20
Dieta						
CP		15,86	79,29	2,14	1,86	0,15 b
CN1		21,43	72,93	2,71	1,57	0,31 a
CN2		13,93	80,86	2,29	1,29	0,18 b
CN3		16,71	77,07	2,57	2,21	0,23 ab
Densidade						
	18	17,25	76,25	2,71	1,93	0,23
	13	16,64	78,75	2,07	1,46	0,21
Erro Padrão		1,144	1,433	0,254	0,244	0,017
P value						
Dieta		0,130	0,255	0,850	0,576	0,006
Densidade		0,766	0,408	0,165	0,276	0,530
Dieta x Densidade		0,615	0,949	0,253	0,127	0,687

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090, 0,085 e 0,080%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150 e 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225 e 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final. ^{a,b}Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As médias de temperatura superficial de frangos de corte na fase final de produção são apresentadas na tabela 7. Não houve interação e diferença entre os fatores

dieta e densidade de alojamento para a temperatura superficial dos frangos de corte tanto no período matutino, quanto no período vespertino.

Tabela 7. Temperatura superficial de frangos de corte na fase final de produção (35 a 42 dias de idade) criados em duas densidades de alojamento e alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.

Dieta	Densidade (aves/m ²)	Manhã (°C)	Tarde (°C)
CP	18	26,67	28,78
	13	26,33	28,68
CN1	18	26,23	29,13
	13	25,55	28,54
CN2	18	27,13	29,26
	13	26,59	29,11
CN3	18	26,19	29,10
	13	25,81	28,31
Dieta			
CP		26,50	28,73
CN1		25,89	28,83
CN2		26,86	29,18
CN3		26,00	28,71
Densidade			
	18	26,65	29,07
	13	26,07	28,66
Temperatura ambiente		20,81	22,63
Erro Padrão		0,15	0,11
<i>P value</i>			
Dieta		0,070	0,345
Densidade		0,095	0,051
Dieta x Densidade		0,973	0,581

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090, 0,085 e 0,080%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150 e 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225 e 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final. Temperatura ambiente: temperatura média do ambiente no momento da imagem termográfica.

Não houve efeito da dieta no comportamento de frangos de corte avaliados na última semana de criação. Houve diferença entre as densidades no comportamento

descrito como ócio, sendo maior frequência em frangos mantidos em alta densidade de alojamento (Tabela 8).

Tabela 8. Frequência comportamental (%) de frangos de corte de 36 a 41 dias de idade, criados em duas densidades de alojamentos e alimentados com diferentes inclusões de betaína, no período de máxima e mínima temperatura do dia.

Tratamentos		Manhã		Tarde		
Dieta	Atividade	Ócio	Alimentação	Atividade	Ócio	Alimentação
CP	55,56	17,42	24,75	62,50	18,18	17,42
CN1	58,57	21,11	21,11	70,71	20,00	12,50
CN2	62,50	20,00	18,82	69,23	16,67	14,84
CN3	57,14	12,50	26,79	57,14	22,50	25,00
Densidade						
18	57,14	22,22 a	22,22	62,50	16,67	16,08
13	58,57	14,29 b	23,61	66,67	19,38	13,94
P value						
Dieta	0,544	0,062	0,194	0,061	0,700	0,089
Densidade	0,501	0,012	0,681	0,540	0,824	0,471
CV (%)	25,15	53,81	56,23	23,19	42,99	49,51

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090, 0,085 e 0,080%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150 e 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225 e 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final. ^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal Wallis.

DISCUSSÃO

Esperava-se que a betaína apresentasse efeito positivo no desempenho de frangos de corte, pois sua suplementação na dieta pode auxiliar o epitélio intestinal, mantendo a integridade das vilosidades e inferindo melhora na capacidade de absorção de nutrientes (Kettunen et al., 2001; Sakomura et al., 2013), entretanto, no presente estudo não foi observada melhorias no desempenho dos frangos. No metabolismo celular há grande interação entre as moléculas de betaína, metionina, colina, ácido fólico e vitamina B12 (Ryu et al., 1995), sendo suas exigências correlacionadas. Nesse estudo foi considerado apenas a exigência de metionina digestível, e possivelmente a redução de 20% não foi

suficiente para expressar o nível de deficiência desse aminoácido. Estudos similares a esse verificaram que o uso de betaína na dieta de frangos de corte apresentam o mesmo efeito da dieta controle positivo, não comprometendo o desempenho dos mesmos (Sakomura et al., 2013; Zhan et al., 2006).

A doação de grupamentos metil da betaína para a homocisteína permite a reciclagem da metionina, disponibilizando-a como aminoácido essencial e direcionando-a para a síntese proteica (McDevitt et al., 2000). Nesse estudo é possível inferir essa ação da betaína em função da melhoria no rendimento de peito de frangos que consumiram dieta suplementada com maiores níveis de betaína. Resultados obtidos por Zhan et al. (2006) também sugerem que a betaína pode melhorar o rendimento de peito de frangos de corte.

Como observado em diversos estudos (Abudabos et al., 2013; Moreira et al., 2004; Estevez, 2007), o aumento na densidade de alojamento pode causar problemas na produção de frangos de corte, visto que na fase final de criação o acesso ao comedouros e a capacidade de locomoção das aves ficam restritos, refletindo diretamente na eficiência alimentar e rendimento de carcaça. Os resultados obtidos no presente estudo confirmam esse fato, ao indicar piora na conversão alimentar, menor peso final, ganho de peso e rendimento de peito em aves criadas em maior densidade (18 aves/m²).

Estudos realizado por Zhan et al. (2006) sugerem que a betaína apresenta efeito positivo na redução da gordura abdominal, disponibilizando metionina para a via metabólica que sintetiza a carnitina, molécula que atua no transporte de ácidos graxos do citoplasma para a mitocôndria, reduzindo a deposição de lipídeos no tecido adiposo. Nesse estudo não foi observada redução na gordura abdominal em frangos que consumiram dieta contendo betaína, corroborando com resultados obtidos por Schutte et

al. (1997) e Rostagno e Pack (1996), que relataram que a gordura abdominal é muito variável em relação ao rendimento de carcaça. Essas diferenças citadas podem estar relacionadas a fatores específicos da dieta, que podem interagir entre si, afetando o metabolismo proteico e energético das aves.

Devido as propriedades da betaína, pode haver melhora na disponibilidade de colina, possibilitando a intensificação da síntese de lipoproteína de baixa densidade, que por sua vez, reduz a deposição e acelera a remoção de gordura no fígado de aves submetidas a condições de estresse (Yao e Vance, 1989). Nesse estudo observou-se redução nos níveis de colesterol em frangos alojados em alta densidade que consumiram a dieta contendo betaína (CN2) e resultados semelhantes foram obtidos por Awad et al. (2014), que encontram redução nos níveis de colesterol em patos alimentados com dietas suplementadas com betaína. He et al. (2015), também verificaram redução dos níveis de colesterol em frangos alimentados com dietas contendo betaína e submetidos a estresse crônico por calor. Entretanto, Attia et al. (2005) e Baghaei et al. (2011) e não encontraram diferença nos níveis de colesterol em frangos suplementados com betaína.

Em frangos de corte, o ácido úrico é produzido como o principal produto final do metabolismo de nitrogênio, sendo que os níveis plasmáticos e de excreta servem como variáveis de resposta para determinar a eficiência da utilização dos aminoácidos (Donsbough et al., 2010). Os resultados do presente estudo sugerem que a suplementação de betaína em níveis mais elevados (CN3) reduziu os níveis plasmáticos de ácido úrico em frangos de corte mantidos em alta densidade de alojamento, amenizando os efeitos da condição de estresse. Esses resultados concordam com aqueles verificados por Zhan et al. (2006) também observaram redução nos níveis de ácido úrico em frangos alimentados com dieta com redução de metionina e suplementação de

betaína. No entanto, Konca et al. (2008) não verificaram diferenças nos níveis de ácido úrico em frangos alimentados com dieta incluindo betaína.

O estresse provoca aumento nos níveis de glicose circulante como resposta direta a liberação de adrenalina e glicocorticóides (Borges et al., 2003). Esse processo de reação ao estresse gera maior gasto de energia do organismo e desequilíbrio osmótico nas células. Portanto, a suplementação de betaína pode reestabelecer o equilíbrio osmótico nas células, amenizando os efeitos deletérios causados pelo estresse (Klasing et al. 2002). Nesse estudo, foi observada diminuição nos níveis séricos de glicose em frangos de corte alimentados com dieta contendo betaína. Contrário a esses resultados, Konca et al. (2008) avaliaram a três níveis de suplementação de betaína na dieta de frangos de corte e não encontraram diferença nos níveis de glicose sérica. Sayed e Downing (2011) também não encontraram diferença nos níveis de glicose em frangos de corte que receberam terapias de reidratação oral com diferentes concentrações de betaína em períodos de alta temperatura.

A avaliação do bem-estar animal é dependente de vários fatores, e muitas vezes os animais não expressam sua atual condição (Bareham, 1972). A medição de níveis hormonais e contagem de células leucocitárias permitem identificar a situação de estresse nos animais (Beuving e Vonder, 1978; Gross e Siegel, 1983). A maior produção de glóbulos brancos indica que o organismo está sendo desafiado e, conseqüentemente, o aumento de heterófilos circulantes em relação aos linfócitos (H:L) sugere condição de estresse em frangos (Gross e Siegel, 1983). A elevação da relação H:L é considerada indicação de ativação do eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA). O aumento da sensibilidade do eixo HPA tem efeito deletério sobre o desempenho das

aves, pois por meio dos hormônios produzidos, a ingestão de alimentos é regulada, podendo comprometer a taxa de crescimento das aves (Schmidt et al. 2012).

No presente trabalho foi possível observar que a redução de metionina associada a baixa suplementação de betaína proporcionou aumento na relação heterofilo:linfócito. No entanto, Gudev et al. (2011) verificaram que a suplementação dietética de betaína (1g/kg) reduziu a relação H:L em frangos de corte criados sob ambiente com alta concentração de amônia.

Estudos indicaram que a temperatura superficial das aves está relacionada a temperatura do ar e a temperatura superficial das instalações (forro, cortinas, cama) (Yahav et al., 2005; Welker et al., 2008; Nascimento et al., 2014). É importante ressaltar que a diferença entre a temperatura superficial das aves e a temperatura do ar devem ser maximizadas, permitindo as trocas de calor sensível (Borges et al., 2003), entretanto, a limitação de espaço em altas densidades pode reduzir as perdas sensíveis e aumentar a transferência de calor por evaporação, causando maior gasto energético e estresse nas aves.

Por ser uma das principais formas de expressar o estado físico e mental (Scahaw, 2000), medidas comportamentais são frequentemente o ponto de partida para avaliar a resposta do animal ao ambiente (Dawkins, 2003). A restrição da expressão da atividade física pode ser considerada indicadora de estresse (Alvino et al., 2009). No presente estudo não foram observadas diferenças comportamentais em relação a dieta, entretanto, observou-se que frangos criados em alta densidade permaneceram com maior frequência em ócio no período da manhã. Alguns estudos corroboram os resultados obtidos nesta pesquisa, indicando maior permanência em ócio e conseqüente redução da

locomoção de frangos de corte em altas densidades (Ventura et al., 2012; Zhao et al., 2013).

CONCLUSÃO

A suplementação com betaína HCl em substituição parcial a 20% da exigência de metionina digestível não afeta o desempenho zootécnico e melhora o rendimento de peito em frangos de corte, mesmo em condições de alta densidade de alojamento. Os parâmetros bioquímicos e hemato-imunológicos foram melhorados em frangos de corte alimentados com a suplementação de betaína, indicando melhora na saúde das aves.

REFERÊNCIAS

- ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório Anual 2016. Acesso em: 05/08/2016a. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>>.
- Abudabos, AM, Samara, EM, Hussein, EOS, Al-Ghadi, MQ and Al-Atiyat, RM 2013. Impacts of stocking density on the performance and welfare of broiler chickens. Italian Journal of Animal Science **12** and **11**: 66-71.
- Alirezaei, M, Gheisari, HR, Ranjbar, VR and Hajibemani, A 2012. Betaine: a promising antioxidant agent for enhancement of broiler meat quality. British Poultry Science **53**: 699-707.
- Alvino, GM, Archer, GS, Mench, JA 2009. Behavioural time budgets of broiler chickens reared in varying light intensities. Applied Animal Behavior Science **118**:54-61.

- Attia, YA, Hassan, RA, Shehatta, MH, Slawa, B and El-Hady, B 2005. Growth, carcass quality and sérum constituents of slow growing chicks as affected by betaine addition to diets containing 2. Different levels of methionine. Internations Journal of Poultry Science **4**: 856-865.
- Awad, AL, Ibrahim, AF, Fahim, HN and Beshara, MM 2014. Effect of dietary betaine supplementation on growth performance and carcass traits of domyati ducklings under summer conditions. Egyptian Poultry Science Journal **34**: 1019-1038.
- Baghaei, M, Eslami, M, Chaji, M, Mamoue, M and Bojarpour, M 2011. Effect of different levels of DL-Methionine replaced with betafin on some of blood parameters on broiler chickens. Journal of Animal and Veterinary Advances **10**: 777-779.
- Bareham, JR 1972. Effects of cages and semi intensive deep litter pens on the behaviour, adrenal response and production in two strains of laying hens. Br. Vet. J. **128**:153-162.
- Beuving, G and Vonder, GMA 1978. Effect of stressing factors on corticosterone levels in the plasma of laying hens. General and Comparative Endocrinology **35**: 153-159.
- Borges, SA, Maiorka, A and Silva, AVF 2003. Fisiologia do estresse e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. Ciência Rural **33**: 975-981.
- Buffington, DE, Collazo-Arocho, A, Canton, GH, Pitt, D, Thatcher, WW and Collier, RJ 1981. Black-Globe-Humidity Index (BGHI) as comfort equations for dairy cows. Transactions of the ASAE **24**: 711-714.
- Campo, JL and Dávila, SG 2002. Changes in heterophil to lymphocyte ratios of heat-stressed chickens in response to dietary supplementation of several related stress agents. Arch. Geflugelkd **66**: 80-84.

- Dawkins, MS 2003. Behaviour as a tool in the assessment of animal welfare. *Zoology* **106**:383-387.
- Donsbough, AL, Powell, S, Waguespack, A, Bidner, TD, Southern, LL 2010. Uric acid, ureia, and ammonia concentrations in sérum and uric acid concentration in excreta as indicators of amino acid utilization in diets for broilers. *Poultry Science* **89**:287-294.
- Esteve-Garcia, E and Mack, S 2000. The effect of DLmethionine and betaine on growth performance and carcass characteristics in broilers, *Animal Feed Science and Technology* **87**: 85-93.
- Estevez, I 2007. Density Allowances for Broilers: Where to Set the Limits? *Poultry Science* **86**:1265-1272.
- Gross, WB and Siegel, HS 1983. Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Dis.* **27**: 972-979.
- Guardia, S, Konsak, B, Combes, S, Levenez, F, Cauquil, L, Guillot, JF, Moreau-Vauzelle, C, Lessire, M, Juin, H, Bagriel, I 2011. Effects of stocking density on the growth performance and digestive microbiota of broilers chickens. *Poultry Science* **90**:1878-1889.
- Gudev, D, Popova-Ralcheva, S, Ianchev, I and Moneva, P 2011. Effect of betaine and air ammonia concentration on broiler performance, plasma corticosterone level, lymphoid organ weights and some haematological indices. *Biotechnology in Animal Husbandry* **27**: 687-703.
- He, S, Zhao, S, Dai, S, Liu, D and Bokhari, SG 2015. Effects of dietary betaine on growth performance, fat deposition and serum lipids in broilers subjected to chronic heat stress. *Animal Science Journal* **86**: 897-903.

- Jahanian, R and Rahmani, HR 2008. The effect of dietary fat level on the response of broiler chicks to betaine and choline supplements. *International Journal of Biological Sciences* **8**: 362-367.
- Kettunen, H, Peuranen, S, Tiihonen, K 2001. Betaine aids in the osmoregulation of duodenal epithelium of broiler chicks and affects the movement of water across the intestinal epithelium *in vitro*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **129**:595-603.
- Kidd, MT, Ferket, PR and Garlich, JD 1997. Nutritional and osmoregulatory functions of betaine. *World's Poultry Science Journal* **53**:125-139.
- Klasing, KC, Adler, KL, Remus, JC and Calvert, CC 2002. Dietary betaine increases intraepithelial lymphocytes in the duodenum of coccidia-infected chicks and increased functional properties of phagocytes. *Journal of Nutrition* **132**: 2274-2282.
- Konca, Y, Kirkpinar, F, Mert, S and Yaylak, E 2008. Effects of betaine on performance, carcass, bone and blood characteristics of broilers during natural summer temperatures. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **7**: 930-937.
- Lukic, M, Jokic, Z, Petricevic, V, Pavlovski, Z, Skrbic, Z and Stojanovic, L 2012. The effect of full substitution of supplemental methionine with betaine in broiler nutrition on production and slaughter results. *Journal of Animal Science and Biotechnology* **28**: 361-368.
- McDevitt, RM, Mack, S and Wallis, IR 2000. Can betaine partially replace or enhance the effect of methionine by improving broiler growth and carcass characteristics. *British Poultry Science* **41**: 473-480.
- Moreira, J, Mendes, AA, Roça, RO, Garcia, EA, Nääs, IA, Garcia, RG, Almeida Paz, IC 2004. Efeito da densidade populacional sobre desempenho, rendimento de carcaça e

- qualidade da carne em frangos de corte de diferentes linhagens comerciais. Revista Brasileira de Zootecnia, **33**:1506-1519.
- Nääs, IA, Romanini, CEB, Neves, DP, Nascimento, GR and Vercellino, RA 2010. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. Scientia Agrícola **67**: 497-502.
- Nascimento, GR, Nääs, IA, Baracho, MS, Pereira, DF and Neves, DP 2014. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental **18**: 658-663.
- Nelson, DL and Cox, M 2014. Princípios de Bioquímica de Lehninger - 6ª Ed. Editora Artmed.
- Pereira, D.F, Nääs, I A, Salgado, DA, Gaspar, CR, Bigli, CA, Penha, NLJ 2007. Correlations among behavior, performance and environment in broiler breeders using multivariate analysis. Revista Brasileira de Ciência Avícola **9**:207-213.
- Rostagno, H and Pack, M 1996. Can betaine replace supplemental DL-Methionine in broiler diets? Applied Poultry Research **5**: 150-154.
- Rostagno, HS, Albino, LFT, Donzele, JL, Oliveira, RF, Lopes, DC, Ferreira, AS, Barreto, SLT and Euclides, RF 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 2. ed. Viçosa: Horácio Santiago Rostagno. 252p
- Ryu, KS, Roberson, KD, Pesti, GM, Eitenmiller, RR 1995. The folic acid requirements of starting broiler chicks fed diets based on practical ingredients. Interrelationships with dietary choline. Poultry Science **74**:1447-1455.
- Sakomura, NK, Barbosa, NAA, Silva, EP, Longo, FA, Kawauchi, IM and Fernandes, JBK 2013. Effect of betaine supplementation in diets for broiler chickens on

- thermoneutral environment. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* **8**: 336-341, 2013.
- Sayed, MAM and Downing, J 2011. The effects of water replacement by oral rehydration fluids with or without betaine supplementation on performance, acid-base balance, and water retention of heat-stressed broiler chickens. *Poultry Science*, **90**: 157-167.
- Scahaw 2000, Scientific Committee on Animal Health and Welfare. The Welfare of Chickens Kept for Meat Production (Broilers). European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General, Brussels, Belgium, SANCO.B.3/AH/R15.
- Schmidt, KL, Furlonger, AA, Lapierre, JM, MacDougall-Shackleton, EA and MacDougall-Shackleton, SA 2012. Regulation of the HPA axis is related to song complexity and measures of phenotypic quality in song sparrows. *Hormones and Behavior* **61**: 652-659.
- Schutte, JB, De Jong, J, Smink, W and Pack, M 1997. Replacement value of betaine for DL-methionine in male broiler chicks. *Poult. Sci.* **76**:321-325.
- Ventura, BA, Siewerdt, F, Estevez, I 2012. Access to Barrier Perches Improves Behavior Repertoire in Broilers. *Plos One.* **7**:e29826.
- Welker, JS, Rosa, AP, Moura, DJ, Machado, LP, Catelan, F and Uttpatel, R 2008. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. *Revista Brasileira de Zootecnia* **37**: 1463-1467.
- Yahav, S, Shinder, D, Tanny, J and Cohen, S 2005. Sensible heat loss: the broiler's paradox. *World's Poultry Science Journal* **61**: 419-434.

- Yao, Z and Vance, DE 1989. Head group specificity in the requirement of phosphatidylcholine biosynthesis for very low density lipoprotein secretion from cultured hepatocytes. *J. Biol. Chem.* **264**:11373-11380.
- Zhan, XA, Li, JX, Xu, ZR and Zhao, RQ 2006. Effects of methionine and betaine supplementation on growth performance, carcass composition and metabolism of lipids in male broilers. *British Poultry Science* **47**: 576-580.
- Zhao, JP, Jiao, HC, Jiang, YB, Song, ZG, Wang, XJ, Lin, H 2013. Cool perches improve the growth performance and welfare status of broiler chickens reared at different stocking densities and high temperatures. *Poultry Science* **92**:1962-1971.

CAPÍTULO 3

INCLUSÃO DE BETAÍNA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL À METIONINA EM DIETAS DE FRANGO DE CORTE EM ESTRESSE TÉRMICO CÍCLICO

RESUMO: O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de inclusões de betaína em substituição parcial à metionina nos parâmetros bioquímicos sanguíneos, fisiológicos e imunológicos de frangos de corte submetidos a estresse cíclico por calor. Foram utilizados 224 pintainhos de corte machos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, sendo quatro dietas e dois ambientes (termoneutro e estresse cíclico por calor), com sete repetições. As dietas consistiram em: dieta controle positivo (CP, com teores de metionina digestível de 0,511, 0,459 e 0,431% para as fases pré-inicial, inicial e crescimento, respectivamente) e três dietas controle negativo (CN) com teores de metionina digestível 20% menores e suplementadas com os seguintes níveis de betaína HCl 95%: 0,101, 0,090 e 0,085% (CN1); 0,300, 0,200 e 0,150% (CN2); 0,450, 0,300 e 0,225% (CN3), nas fases pré-inicial, inicial e crescimento, respectivamente. A suplementação com betaína melhorou a conversão alimentar das aves e reduziu os níveis sanguíneos de colesterol, proteínas totais e relação heterofilo:linfócito. O uso de betaína em substituição parcial a metionina melhora os parâmetros sanguíneos e desempenho de frangos de corte mesmo em situações adversas como o estresse pelo calor.

Palavras-chave: colesterol, imunidade, frequência respiratória, conversão alimentar

INCLUSION OF BETAINE IN PARTIAL REPLACEMENT OF METHIONINE IN BROILER DIETS IN CYCLIC HEAT STRESS

ABSTRACT: The aim of this research was to evaluate the effect of betaine inclusions in partial replacement of methionine on the biochemical, physiological and immunological parameters of broilers submitted to cyclic heat stress. A total of 224 male broiler chicks were distributed in a completely randomized design in a 4x2 factorial arrangement, 4 diets and 2 environment (thermoneutral and cyclic heat stress), with 7 replicate floor pens. Dietary consisted of: positive control diet (PC, with digestible methionine contents 0.511, 0.459 and 0.431% for the pre-starter, start and growth phases, respectively) and three diets negative control (NC) with contents digestible methionine 20% minors and supplemented with betaine HCl 95% levels: 0.101, 0.090 and 0.085% (NC1); 0.300, 0.200 and 0.150% (NC2) and 0.450, 0.300 and 0.225% (NC3), in the pre-starter, start and growth phases, respectively. Supplementation with betaine improved feed conversion of broilers and reduced blood levels cholesterol, total proteins and heterofilo:lymphocyte ratio. The use of betaine in partial replacement with methionine improves the blood parameters and performance of broiler chickens even in adverse situations as heat stress.

Key words: cholesterol, immunity, respiratory rate, feed conversion

INTRODUÇÃO

Um dos fatores que desafiam a produção avícola brasileira é a condição do ambiente no qual as aves são criadas. Em países onde as condições não são favoráveis (temperaturas elevadas) podem ocorrer de prejuízos econômicos e redução de bem-estar em frangos de corte. De maneira geral, os efeitos do estresse térmico são caracterizados por menor consumo de ração, menor ganho de peso, aumento na conversão alimentar e alterações na microbiota intestinal (Dai *et al.*, 2011; Khan *et al.*, 2012).

Para manter os números elevados de produção e qualidade no produto final, são necessárias alternativas eficientes e economicamente viáveis, dentre as quais podemos citar o uso de aditivos na alimentação das aves, com o intuito de fortalecer o elo ambiência/nutrição, resultando em melhorias para o bem-estar.

Betaína é um trimetil derivado do aminoácido glicina, amplamente encontrada na natureza e sintetizada por alguns organismos e plantas. É um composto com propriedades de doação de grupos metil, podendo substituir outros doadores como a metionina e colina. Também possui propriedades osmorreguladoras, atuando no equilíbrio osmótico das células, principalmente em situações de estresse (Kidd *et al.*, 1997; Rama Rao *et al.*, 2011).

Attia *et al.* (2009) avaliaram o uso de betaína na dieta de frangos de corte e verificaram que a inclusão de 1g/kg de betaína poderia aliviar os efeitos adversos do estresse calórico nos parâmetros fisiológicos e desempenho produtivo das aves. Sayed e Downing (2011) forneceram fluídos de reidratação oral com diferentes concentrações de betaína para frangos de corte em estresse calórico e observaram que a o fornecimento de eletrólitos associados a betaína pode amenizar os efeitos negativos do estresse, particularmente com inclusão de 500mg de betaína / L.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de inclusões de betaína em substituição parcial à metionina, nos parâmetros bioquímicos sanguíneos, fisiológicos e imunológicos de frangos de corte criados em ambientes termoneutro e de estresse cíclico por calor.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – FMVZ, UNESP, Câmpus de Botucatu, no Laboratório de Nutrição de Aves. Os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais, sob protocolo nº 103/2014.

Animais, dietas e delineamento experimental

Foram utilizados 224 pintainhos de corte machos da linhagem *Cobb-500* com um dia de idade, vacinados contra a doença de Marek, alojados em câmaras bioclimáticas, em gaiolas de arame galvanizado (0,5x0,6x0,4m). As gaiolas foram munidas com comedouros frontais tipo calha e bebedouros tipo *nipple*.

A temperatura das salas foi controlada por meio de aquecedores acoplados a um termostato elétrico e pela utilização de ar condicionado, dotado de controle automático de temperatura. A renovação e movimentação do ar foram efetuadas por exaustores axiais de parede. Os registros dos dados ambientais foram feitos diariamente e, posteriormente, convertidos ao índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), proposto por Buffington *et al.* (1981).

Os pintainhos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, sendo quatro dietas e duas temperaturas (estresse cíclico por calor e ambiente termoneutro), com sete repetições. A temperatura de estresse por calor foi

mantida por 12 horas a cada dia, iniciando as 08h00 e finalizando as 20h00 (Tabela 1). Diariamente, após o período de estresse térmico cíclico, as aves foram mantidas em temperatura termoneutra. Aos 7 dias de idade as aves foram vacinadas contra o vírus da doença de *NewCastle* (cepa *LaSota*) via ocular.

Tabela 1. Médias das temperaturas do ambiente termoneutro e estresse cíclico por calor durante o período experimental.

Idade das aves (dias)	Temperatura (°C) ambiente termoneutro	Temperatura (°C) ambiente estresse cíclico por calor
1	32 – 33	35
7	29 – 30	34
14	27 – 28	32
21	24 – 26	30
28	21 – 23	28
35	19 – 22	27

As dietas experimentais foram formuladas a base de milho e farelo de soja (Tabela 2), de acordo com as recomendações de Rostagno *et al.* (2011), para frangos de corte machos de desempenho médio, divididas em três fases de criação de acordo com a idade: pré-inicial (1 a 7 dias), inicial (8 a 21 dias) e crescimento (22 a 35 dias de idade).

As dietas consistiram em: dieta controle positivo (CP, com teores de metionina digestível de 0,511, 0,459, 0,431% para as fases pré-inicial, inicial e crescimento, respectivamente) e três dietas controle negativo com teores de metionina digestível 20% menores e suplementadas com os seguintes níveis de betaína HCl 95%: CN1 (0,101, 0,090, 0,085%); CN2 (0,300, 0,200, 0,150%); CN3 (0,450, 0,300, 0,225%), nas fases pré-inicial, inicial e crescimento, respectivamente.

Tabela 2. Composição centesimal e nutricional calculada das dietas experimentais nas fases pré-inicial, inicial e crescimento.

Ingredientes	Pré-Inicial (1 a 7 dias)				Inicial (8 a 21 dias)				Crescimento (22 a 35 dias)			
	CP	CN1	CN2	CN3	CP	CN1	CN2	CN3	CP	CN1	CN2	CN3
Milho	57,767	57,885	57,885	57,885	61,222	61,313	61,313	61,313	63,905	64,016	64,016	64,016
Farelo de soja 45%	32,213	32,215	32,215	32,215	30,295	30,300	30,300	30,300	27,345	27,345	27,345	27,345
Farelo glúten milho 60%	4,000	4,000	4,000	4,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,800	2,800	2,800	2,800
Bicarbonato de sódio	0,300	0,299	0,299	0,299	0,290	0,290	0,290	0,290	0,360	0,361	0,361	0,361
Calcário calcítico	0,914	0,913	0,913	0,913	0,924	0,920	0,920	0,920	0,865	0,865	0,865	0,865
Fosfato bicálcico	1,959	1,959	1,959	1,959	1,547	1,565	1,565	1,565	1,308	1,308	1,308	1,308
Sal comum	0,305	0,305	0,305	0,305	0,300	0,300	0,300	0,300	0,213	0,213	0,213	0,213
Óleo de soja	1,020	0,997	0,997	0,997	1,286	1,270	1,270	1,270	2,264	2,240	2,240	2,240
DL-Metionina (99%)	0,196	0,093	0,093	0,093	0,162	0,069	0,069	0,069	0,149	0,062	0,062	0,062
Betaina HCl (95%)	0,000	0,101	0,101	0,101	0,000	0,090	0,090	0,090	0,000	0,085	0,085	0,085
L-Lisina HCl (78,4%)	0,431	0,431	0,431	0,431	0,323	0,323	0,323	0,323	0,293	0,293	0,293	0,293
L-Treonina (98,5%)	0,116	0,115	0,115	0,115	0,066	0,066	0,066	0,066	0,047	0,046	0,046	0,046
L-Valina (98%)	0,080	0,079	0,079	0,079	0,026	0,026	0,026	0,026	0,017	0,017	0,017	0,017
Cloreto de colina (60%)	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,050	0,050	0,050	0,050
Premix Vit./Min. ¹	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,160	0,160	0,160	0,160
Inerte ²	0,440	0,349	0,150	0,000	0,300	0,210	0,100	0,000	0,225	0,140	0,075	0,000
Betaina HCl (95%) “on top”	0,000	0,000	0,199	0,349	0,000	0,000	0,110	0,210	0,000	0,000	0,065	0,140
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Composição calculada</i>												
EM (kcal/kg)	2,950	2,950	2,950	2,950	3,000	3,000	3,000	3,000	3,100	3,100	3,100	3,100
PB (%)	22,20	22,20	22,20	22,20	20,80	20,80	20,80	20,80	19,50	19,50	19,50	19,50
Cálcio (%)	0,920	0,920	0,920	0,920	0,819	0,822	0,822	0,822	0,732	0,732	0,732	0,732
Fósforo disponível (%)	0,470	0,470	0,470	0,470	0,391	0,395	0,395	0,395	0,342	0,342	0,342	0,342
Metionina digestível (%)	0,511	0,511	0,511	0,511	0,459	0,458	0,458	0,458	0,431	0,431	0,431	0,431
Met+Cys digestível (%)	0,816	0,817	0,817	0,817	0,748	0,748	0,748	0,748	0,705	0,706	0,706	0,706
Lisina digestível (%)	1,310	1,310	1,310	1,310	1,174	1,174	1,174	1,174	1,078	1,078	1,078	1,078
Treonina digestível (%)	0,852	0,852	0,852	0,852	0,763	0,763	0,763	0,763	0,701	0,701	0,701	0,701
Potássio (%)	0,762	0,763	0,763	0,763	0,736	0,736	0,736	0,736	0,689	0,690	0,690	0,690
Sódio (%)	0,220	0,220	0,220	0,220	0,216	0,216	0,216	0,216	0,200	0,201	0,201	0,201
Cloro (%)	0,235	0,257	0,257	0,257	0,232	0,252	0,252	0,252	0,180	0,199	0,199	0,199

¹Premix vitamínico e mineral para frangos de corte (Tortuga®). Níveis de garantia/kg de ração: **Fases pré-inicial e inicial:** Vit. A, 11,092 UI; Vit. B1, 2,01 mg; Vit. B12, 12 µg; Vit. B2, 4,5 mg; Vit. B6, 2,49 mg; Vit. D3, 2,678 UI; Vit. E, 24,86 UI; Vit. K3, 1,88 mg; Biotina, 0,1 mg; Niacina, 0,03 g; Ác. Fólico, 0,99 mg; Ác. Pantotênico, 11,78 mg; Cu, 8,56 mg; Fe, 0,049 g; I, 1 mg; Mn, 0,066 g; Se, 0,3 mg; Zn, 0,051 g; **Fase crescimento:** Vit. A, 8,873,6 UI; Vit. B1, 1,6 mg; Vit. B12, 9,6 µg; Vit. B2, 3,6 mg; Vit. B6, 1,99 mg; Vit. D3, 2,142,4 UI; Vit. E, 19,88 UI; Vit. K3, 1,51 mg; Biotina, 0,08 mg; Niacina, 0,024 g; Ác. Fólico, 0,79 mg; Ác. Pantotênico, 9,42 mg; Cu, 6,84 mg; Fe, 0,039 g; I, 0,8 mg; Mn, 0,053 g; Se, 0,24 mg; Zn, 0,041 g; ²Caulim. A inclusão de antimicrobiano (lincomicina 4,4 ppm) e anticoccidiano (monensina sódica 100 ppm) foi feita em substituição ao inerte nas fases pré-inicial e inicial e crescimento.

Desempenho zootécnico

Aos 21 e 35 dias de idade foram determinados os parâmetros zootécnicos para obtenção do peso médio, consumo de ração e conversão alimentar.

Parâmetros bioquímicos sanguíneos

As análises de perfil lipídico, proteínas totais e ácido úrico foram realizadas no plasma sanguíneo. Os níveis de glicose foram determinados no soro sanguíneo. Aos 21 dias de idade foram coletados 3 mL de sangue de uma ave por unidade experimental, via punção da veia braquial, com seringa heparinizada, após jejum de duas horas. As amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 3.500 rpm, para obtenção do plasma e armazenadas em microtubos de 1,5 mL em temperatura -20°C. Para obtenção do soro sanguíneo foram coletados 3 mL de sangue de uma ave por unidade experimental, via punção da veia braquial, e as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 3.500 rpm. Os teores de colesterol, triglicérides, proteínas totais, ácido úrico e glicose foram analisados utilizando-se kits comerciais (Bioclin[®]).

Parâmetros imunológicos

Aos 21 dias de idade foram coletados 3 mL de sangue de uma ave por unidade experimental, via punção da veia braquial, para análise de título de anticorpos contra o vírus da Doença de *NewCastle*. As amostras foram acondicionadas em tubos de ensaio, deixadas em descanso para formação de coágulo, posteriormente centrifugadas por 10 minutos a 3.500 rpm para obtenção do soro e armazenadas em microtubos de 1,5 mL. A mensuração da produção de anticorpos foi avaliada por meio do ensaio imunoenzimático (Kit Elisa NDV Idexx).

A relação heterofilo:linfócito foi analisada aos 21 de idade, utilizando uma ave por unidade experimental. Foi coletado 1 mL de sangue por ave, via punção da veia braquial, com seringa heparinizada, para a confecção de lâminas a serem utilizadas para contagem e diferenciação de 100 leucócitos, segundo metodologia descrita por Campo e

Dávila (2002). Após a contagem total dos leucócitos, foi calculada a relação heterofilo:linfócito de cada amostra.

Aos 21 dias de idade, uma ave com peso mais próximo do peso médio de cada unidade experimental foi sacrificada após jejum de duas horas, para coleta de fígado, pâncreas, baço, timo e bursa de Fabricius, para obtenção do peso relativo dos órgãos. A bursa de Fabricius após pesada, foi fixada em formol a 10% neutro tamponado, para confecção de lâminas histológicas. Foram analisados 12 folículos completos por lâmina, correspondente a uma ave por parcela experimental. Foram escolhidos para leitura, folículos em que o corte passou pela região central. Cada folículo selecionado foi circundado por uma linha, obtendo-se a área folicular total e, em seguida, delimitada a porção medular do mesmo folículo, passando uma linha sobre a membrana basal que divide a área cortical da medular para cálculo da porcentagem de córtex folicular.

Parâmetros fisiológicos

O registro da temperatura superficial das aves foi feito aos 21 dias de idade, por meio de uma imagem termográfica por unidade experimental, usando câmera de termografia infravermelha (Fluke Ti20, número de série 94370111) com precisão de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. A câmera foi posicionada à distância de 1 m de altura em relação às aves, a fim de se obter um preenchimento melhor da imagem. Foi utilizado um coeficiente de emissividade (ϵ) de 0,94 para as regiões com penas e de 0,95 para as regiões sem penas (Nääs *et al.*, 2010). Cada termograma foi analisado por meio da transformação e conversão dos dados utilizando o *software* InsideIR 4.0 – Fluke. Vinte pontos aleatórios foram escolhidos na imagem das aves para determinação da média de temperatura superficial das mesmas.

A frequência respiratória e temperatura cloacal de uma ave por unidade experimental foram obtidas aos 21 dias de idade. A frequência respiratória foi obtida

pela avaliação visual, considerando o número de vezes em que as aves inspiraram ar durante um minuto e a temperatura cloacal foi obtida com um termômetro clínico veterinário com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$, inserindo-se o termômetro três centímetros na cloaca.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativas, as médias entre os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo software estatístico Minitab® 17.

RESULTADOS

Os valores do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) do ambiente termoneutro e de estresse cíclico por calor são apresentados nas figuras 1 e 2.

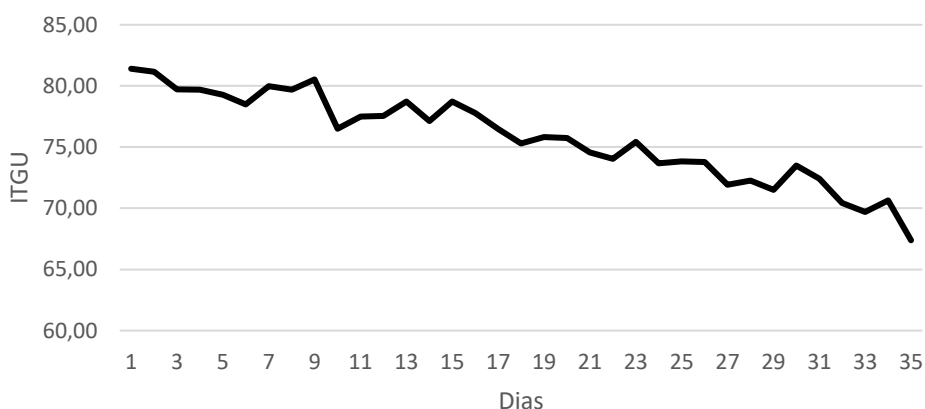


Figura 1. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) em ambiente termoneutro durante o período experimental.

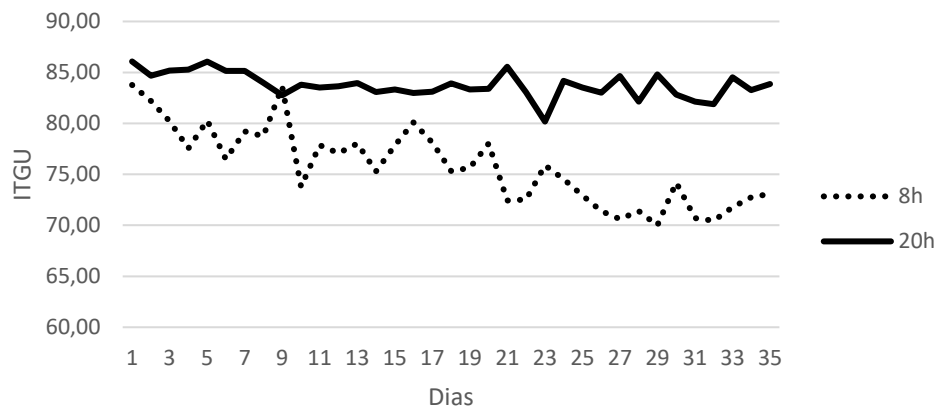


Figura 2. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) em ambiente de estresse cíclico por calor durante o período experimental.

Na tabela 3 são apresentados os resultados de desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias e de 1 a 35 dias de idade. Não houve interação entre dieta e ambiente; entretanto, o consumo de ração foi reduzido no período de 1 a 21 dias de idade em frangos que receberam dieta contendo maior inclusão de betaína (CN3) e a conversão alimentar destes foi melhorada significativamente, tanto nos períodos de 1 a 21 dias quanto 1 a 35 dias de idade, comparado com as aves alimentadas com CP. O estresse pelo calor reduziu o consumo de ração dos frangos aos 21 dias e 35 dias de idade e peso destes aos 35 dias de idade, mas não influenciou a conversão alimentar.

Tabela 3. Peso médio (PM), consumo de ração médio (CRM) e conversão alimentar (CA) de frangos de corte aos 21 e 35 dias mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.

Dieta ¹	Ambiente	1 a 21 dias			1 a 35 dias		
		PM (g)	CRM (g)	CA (kg/kg)	PM (g)	CRM (g)	CA (kg/kg)
CP	Estresse	895,14	1022,34	1,214	1867,43	2811,45	1,612
	Termoneutro	907,33	1060,17	1,228	2069,24	3144,44	1,630
CN1	Estresse	860,00	995,27	1,217	1917,71	2885,97	1,607
	Termoneutro	864,76	1025,56	1,232	2086,67	3113,35	1,595
CN2	Estresse	842,95	975,59	1,229	1922,29	2825,24	1,584
	Termoneutro	899,33	1036,76	1,210	2144,48	3112,94	1,558
CN3	Estresse	884,29	974,12	1,163	1998,00	2820,16	1,511
	Termoneutro	877,52	1005,37	1,196	2113,71	3034,48	1,538
Dieta ¹							
CP		901,24	1041,26 a	1,221 a	1968,33	2977,94	1,621 a
CN1		862,38	1010,41 ab	1,224 a	2002,19	2999,66	1,601 a
CN2		871,14	1006,17 ab	1,220 a	2033,38	2969,09	1,571 ab
CN3		880,90	989,74 b	1,180 b	2055,86	2927,32	1,525 b
Ambiente							
	Estresse	870,60	991,83 b	1,206	1926,36 b	2835,71 b	1,578
	Termoneutro	887,24	1031,96 a	1,216	2103,52 a	3101,30 a	1,580
Erro Padrão		6,45	6,85	<0,01	22,92	27,57	0,009
P value							
Dieta		0,162	0,035	<0,001	0,453	0,697	0,001
Ambiente		0,189	0,002	0,190	<0,001	<0,001	0,921
Dieta x Ambiente		0,311	0,791	0,152	0,803	0,755	0,657

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090 e 0,085%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento. ^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na coluna dentro do fator Ambiente, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados de perfil lipídico, ácido úrico, proteínas totais e glicose são apresentados na tabela 4. Não houve interação nem efeitos isolados de ambiente de criação e nível de inclusão de betaína na dieta para os níveis sanguíneos de glicose e ácido úrico. Em ambiente termoneutro, frangos que consumiram dieta com menor inclusão de betaína (CN1) apresentaram menores valores de colesterol que frangos que consumiram dieta com nível intermediário de inclusão de betaína (CN2). Para os frangos que consumiram a dieta CN2, o estresse pelo calor reduziu o nível de colesterol plasmático. Os valores de proteínas totais foram menores em frangos criados em

estresse cíclico e alimentados com dieta contendo maiores inclusões de betaína (CN2 e CN3), em relação a dieta CP. Para os frangos que consumiram a dieta CN2, o estresse pelo calor reduziu o nível de proteínas totais plasmáticas.

Os níveis de triglicérides e VLDL diferiram entre os ambientes, sendo que os frangos criados em ambiente termoneutro apresentaram maiores concentrações.

Tabela 4. Níveis séricos de glicose e níveis plasmáticos de colesterol, triglicérides, VLDL, ácido úrico e proteínas totais aos 21 dias de idade de frangos de corte mantidos em ambiente termoneutro ou de estresse cíclico por calor, alimentados com dieta contendo diferentes inclusões de betaína.

Dieta	Ambiente	Glicose (mg/dL)	Colesterol (mg/dL)	Triglicérides (mg/dL)	VLDL (mg/dL)	Ácido Úrico (mg/dL)	Proteínas Totais (g/dL)
CP	Estresse	183,3	116,4	42,2	8,4	5,9	2,6 X
	Termoneutro	198,1	123,4 XY	62,8	12,6	6,9	2,8
CN1	Estresse	193,5	109,2	44,2	8,6	5,5	2,5 XY
	Termoneutro	192,6	111,3 Y	58,0	11,6	5,8	2,6
CN2	Estresse	169,6	107,0 y	43,8	8,7	6,5	2,3 yY
	Termoneutro	202,0	125,5 xX	62,9	12,6	5,8	2,7 x
CN3	Estresse	182,9	119,2	39,8	8,0	5,2	2,4 Y
	Termoneutro	170,9	122,1 XY	62,2	12,4	6,2	2,6
Dieta							
CP		190,7	119,9	52,5	10,5	6,4	2,7
CN1		193,1	110,2	51,1	10,1	5,7	2,5
CN2		185,8	116,3	53,3	10,7	6,2	2,5
CN3		176,9	120,6	51,0	10,2	5,7	2,5
Ambiente							
	Estresse	182,3	113,0	42,5 b	8,4 b	5,8	2,5
	Termoneutro	190,9	120,6	61,5 a	12,3 a	6,2	2,7
Erro Padrão		3,19	1,24	1,85	0,37	0,13	0,02
<i>P value</i>							
Dieta		0,270	0,005	0,951	0,924	0,113	0,001
Ambiente		0,170	0,001	<0,001	<0,001	0,107	<0,001
Dieta x Ambiente		0,070	0,039	0,815	0,871	0,063	0,046

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090 e 0,085%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento. ^{xy} Nas interações, médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem quanto ao ambiente dentro na mesma dieta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{xy} Nas interações, médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem quanto a dieta dentro do mesmo ambiente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ab} Médias seguidas por letras distintas na coluna dentro do fator Ambiente, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados da avaliação de título de anticorpos contra o vírus da doença de *NewCastle* são apresentados na tabela 5. Não houve interação nem efeitos isolados de

ambiente de criação e nível de inclusão de betaína na dieta na concentração sérica de anticorpos contra a doença de *NewCastle* em frangos de corte aos 21 dias de idade.

Tabela 5. Valores de título de anticorpos de frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, vacinados contra a doença de *NewCastle*, expressos em médias geométricas (GMT) e alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.

Dieta	Ambiente	21 dias
CP	Estresse	790,9
	Termoneutro	843,9
CN1	Estresse	1227,9
	Termoneutro	2981,6
CN2	Estresse	1566,7
	Termoneutro	1359,9
CN3	Estresse	1702,0
	Termoneutro	1594,7
Dieta		
CP		817,4
CN1		2104,7
CN2		1463,3
CN3		1648,4
Ambiente		
	Estresse	1321,9
	Termoneutro	1695,0
Erro Padrão		281,50
<i>P value</i>		
Dieta		0,465
Ambiente		0,518
Dieta x Ambiente		0,585

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090 e 0,085%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento.

Resultados da análise do perfil hemato-imunológico de frangos de corte aos 21 dias de idade são apresentados na tabela 6. Não houve interação nem efeitos isolados de ambiente de criação e nível de inclusão de betaína na dieta para a porcentagem de linfócitos, monócitos e basófilos. Em relação ao fator dieta, houve diferença na porcentagem de heterofilos e na relação heterofilo:linfócito, sendo que aves alimentadas com dieta contendo maior inclusão de betaína (CN3) apresentaram os menores valores.

Tabela 6. Parâmetros hemato-imunológicos de frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.

Dieta	Ambiente	Heterófilo (%)	Linfócito (%)	Monócito (%)	Basófilo (%)	Relação H:L
CP	Estresse	19,14	73,14	5,42	1,00	0,27
	Termoneutro	18,42	73,28	4,85	2,14	0,23
CN1	Estresse	17,42	76,00	3,00	2,42	0,26
	Termoneutro	20,33	69,66	3,66	1,16	0,30
CN2	Estresse	16,00	76,57	3,85	1,71	0,22
	Termoneutro	15,71	79,28	2,28	1,28	0,20
CN3	Estresse	10,28	82,71	3,85	1,57	0,13
	Termoneutro	12,71	79,14	4,14	2,42	0,16
Dieta						
CP		18,78 a	73,21	5,14	1,57	0,25 ab
CN1		18,76 a	73,07	3,30	1,84	0,28 a
CN2		15,85 ab	77,92	3,07	1,50	0,21 ab
CN3		11,50 b	80,92	4,00	2,00	0,15 b
Ambiente						
	Estresse	15,71	77,10	4,03	1,67	0,22
	Termoneutro	16,69	75,55	3,74	1,77	0,22
Erro Padrão		0,959	1,262	0,371	0,207	0,016
P value						
Dieta		0,021	0,071	0,217	0,823	0,022
Ambiente		0,560	0,479	0,693	0,853	0,890
Dieta x Ambiente		0,861	0,590	0,726	0,161	0,711

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090 e 0,085%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento.^{x,y} Nas interações, médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem no ambiente dentro na mesma dieta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{x,y} Nas interações, médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem quanto a dieta dentro do mesmo ambiente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ab}Médias seguidas por letras distintas na coluna dentro do fator Dieta, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os pesos relativos de órgãos e a área do córtex da Bursa de Fabricius de frangos de corte aos 21 dias de idade são mostrados na tabela 7. Não houve interação nem efeitos isolados de ambiente de criação e nível de inclusão de betaína na dieta para peso relativo do pâncreas, baço, bursa e timo e nem para a área do córtex da Bursa de Fabricius. Houve efeito de ambiente de criação para o peso relativo do fígado, que foi menor em frangos criados em ambiente de estresse térmico.

Tabela 7. Peso relativo de órgãos e área do córtex (μm^2) da Bursa de Fabrícus em frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.

Dieta	Ambiente	Fígado (%)	Pâncreas (%)	Baço (%)	Bursa (%)	Timo (%)	Área do Córtex
CP	Estresse	2,62	0,33	0,09	0,19	0,80	49,0
	Termoneutro	2,66	0,33	0,09	0,21	0,70	54,7
CN1	Estresse	2,46	0,30	0,10	0,22	0,73	55,5
	Termoneutro	2,68	0,31	0,11	0,27	0,78	51,4
CN2	Estresse	2,36	0,32	0,09	0,19	0,83	50,9
	Termoneutro	2,56	0,31	0,09	0,22	0,69	54,4
CN3	Estresse	2,37	0,29	0,10	0,22	0,75	55,9
	Termoneutro	2,74	0,34	0,11	0,22	0,84	55,3
Dieta							
CP		2,64	0,33	0,09	0,20	0,75	51,4
CN1		2,57	0,31	0,10	0,24	0,76	53,4
CN2		2,46	0,32	0,09	0,21	0,76	52,6
CN3		2,56	0,31	0,10	0,22	0,80	55,6
Ambiente							
	Estresse	2,45 b	0,31	0,10	0,21	0,78	52,6
	Termoneutro	2,66 a	0,32	0,10	0,23	0,75	53,9
Erro Padrão		0,04	0,01	0,003	0,01	0,02	0,865
<i>P value</i>							
Dieta		0,302	0,600	0,554	0,252	0,838	0,352
Ambiente		0,003	0,524	0,581	0,084	0,507	0,425
Dieta x Ambiente		0,399	0,317	0,954	0,675	0,123	0,131

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090 e 0,085%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento. ^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na coluna dentro do fator Ambiente, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve interação nem efeitos isolados de ambiente de criação e nível de inclusão de betaína na dieta para a temperatura superficial de frangos de corte aos 21 dias de idade (Tabela 8). Houve efeito de ambiente nos parâmetros de frequência respiratória e temperatura cloacal de frangos de corte aos 21 dias de idade (tabela 8). Aves criadas em ambiente de estresse térmico apresentaram maior frequência respiratória quando comparadas com aves criadas em ambiente de termoneutralidade. A temperatura de cloaca das aves aos 21 dias de idade foi maior em ambiente termoneutro.

Tabela 8. Temperatura superficial (TS, °C), frequência respiratória (FR, mov/min), temperatura cloacal (TC, °C) de frangos de corte aos 21 dias de idade, mantidos em ambiente termoneutro e de estresse térmico cíclico, alimentados com dieta contendo inclusões de betaína.

Dieta	Ambiente	21 dias		
		TS (°C)	FR (mov/min)	TC (°C)
CP	Estresse	33,4	128,8	41,4
	Termoneutro	32,1	49,8	41,7
CN1	Estresse	32,8	126,5	41,5
	Termoneutro	31,7	48,7	41,9
CN2	Estresse	33,4	125,0	41,7
	Termoneutro	33,0	47,4	42,0
CN3	Estresse	33,3	122,1	41,4
	Termoneutro	32,8	47,2	41,9
Dieta				
CP		32,7	89,3	41,6
CN1		32,2	87,6	41,7
CN2		33,2	86,2	41,8
CN3		33,1	84,7	41,7
Ambiente				
	Estresse	33,2	125,6 a	41,5 b
	Termoneutro	32,4	48,3 b	41,9 a
Erro Padrão		0,25	5,51	0,06
<i>P value</i>				
Dieta		0,566	0,843	0,407
Ambiente		0,114	0,0001	0,001
Dieta x Ambiente		0,887	0,983	0,905

CP: Controle positivo; CN1: Suplementação de betaína 0,101, 0,090 e 0,085%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN2: Suplementação de betaína 0,300, 0,200, 0,150%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento; CN3: Suplementação de betaína 0,450, 0,300, 0,225%, nas fases pré-inicial, inicial e crescimento. ^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na coluna dentro do fator Ambiente, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

DISCUSSÃO

A molécula de betaína, ao desempenhar função de doação de grupamentos metil para a homocisteína, permite a reciclagem da metionina a partir da transmetilação, disponibilizando-a para diversos processos metabólicos essenciais, como a síntese proteica (Frontiera *et al.*, 1994). Nesse estudo, observou-se que a conversão alimentar de frangos de corte melhorou com a inclusão de betaína, sugerindo que a metionina foi melhor aproveitada na síntese proteica.

A capacidade do organismo em manter a homeostasia em processos metabólicos pode ser refletida nas concentrações de elementos sanguíneos; portanto, o perfil bioquímico pode ser ferramenta indicadora do estado fisiológico das aves. Os resultados desse estudo mostraram que em ambiente de termoneutralidade a suplementação com menor nível de betaína em substituição parcial a metionina reduziu a concentração de colesterol plasmático, proporcionando melhora no perfil lipídico das aves. A suplementação de betaína permite maior disponibilidade de metionina para a via metabólica que forma a carnitina, que por sua vez tem papel importante no transporte de ácidos graxos do citoplasma para a mitocôndria. Por meio da β oxidação, os ácidos graxos entram no ciclo de Krebs e são completamente oxidados a CO_2 , reduzindo a deposição de gordura no fígado e tecido adiposo (Frontiera *et al.*, 1994; Nelson e Cox, 2014). Efeitos positivos da betaína em relação ao perfil lipídico de aves foram encontrados por Awad *et al.* (2014) e He *et al.* (2015). No entanto, em contradição a esses resultados, Attia *et al.* (2005) e Baghaei *et al.* (2011) não encontraram diferença na concentração de colesterol em frangos suplementados com betaína.

De acordo com Lumeij (1997), em processos inflamatórios ocorre aumento das proteínas plasmáticas e diminuição da relação albumina:globulinas. Nesse estudo, em ambiente de estresse a suplementação com maiores níveis de betaína provocou redução na concentração de proteínas totais em relação as aves que receberam a dieta controle, sugerindo que a betaína tem capacidade de minimizar os efeitos adversos do estresse.

Há evidências que agentes estressores relacionados às condições ambientais podem alterar o bem-estar e saúde das aves, afetando diretamente o sistema imunológico. A suplementação com betaína pode melhorar a imunidade de aves durante estresse por calor (Zhan, 2001; Farooqi *et al.*, 2005); no entanto, no presente estudo a avaliação de títulos de anticorpos contra o vírus da doença de *NewCastle* e área do

córtex da Bursa de Fabricius e peso relativo dos órgãos não apresentaram diferenças em função da dieta. Rama Rao *et al.* (2011) sugeriram que a redução na concentração de metionina associada a suplementação de betaína não afeta a imunidade de frangos de corte e Attia *et al.* (2005) verificaram que a suplementação de betaína não apresenta efeito sobre a imunidade das aves. Attia *et al.* (2009) e Gudev *et al.* (2011) encontraram resultados que corroboram aos resultados do presente estudo, não encontrando diferenças no peso relativo de órgãos em aves suplementadas com betaína.

A avaliação das células leucocitárias, principalmente a relação heterofilo:linfócito é um dos índices mais utilizados para verificação de estresse em aves. Em situações de estresse, essa relação aumenta, visto que ocorre elevação na quantidade de heterofilos circulantes (Macari e Luquetti, 2002). No presente estudo a suplementação com maior nível de betaína reduziu a relação heterofilo:linfócito, sugerindo efeito benéfico na substituição parcial da metionina aos 21 dias de idade das aves.

A temperatura superficial, frequência respiratória e temperatura de cloaca não diferiram em relação ao fator dieta. Entretanto, em ambiente de estresse térmico por calor, as aves apresentaram maior frequência respiratória, sugerindo que essa variável está diretamente relacionada ao ambiente, e a suplementação de betaína não foi suficiente para amenizar os efeitos causados pelo estresse.

CONCLUSÃO

A suplementação de betaína em substituição parcial a metionina não influencia os parâmetros fisiológicos e imunológicos de frangos de corte, mas melhora os parâmetros sanguíneos e desempenho zootécnico mesmo em condições adversas como o estresse cíclico por calor.

REFERÊNCIAS

- Attia YA, Hassan RA, Qota EMA. 2009. Recovery from adverse effects of heat stress on slow-growing chicks in the tropics 1: Effect of ascorbic acid and different levels of betaine. *Tropical Animal Health Production* **41**,807-818.
- Attia YA, Hassan RA, Shehatta MH, Slawa B, El-Hady B. 2005. Growth, carcass quality and sérum constituents of slow growing chicks as affected by betaine addition to diets containing 2 Different levels of methionine. *International Journal of Poultry Science* **4**, 856-865.
- Awad AL, Ibrahim AF, Fahim HN, Beshara MM. 2014. Effect of dietary betaine supplementation on growth performance and carcass traits of domyati ducklings under summer conditions. *Egyptian Poultry Science Journal* **34**, 1019-1038.
- Baghaei M, Eslami M, Chaji M, Mamoue M, Bojarpour M. 2011. Effect of different levels of DL-Methionine replaced with betafin on some of blood parameters on broiler chickens. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **10**, 777-779.
- Buffington DE, Collazo-Arocho A, Canton GH, Pitt D, Thatcher WW, Collier RJ. 1981. Black-Globe-Humidity Index (BGHI) as comfort equations for dairy cows. *Transactions of the ASAE* **24**, 711-714.
- Campo JL, Dávila SG. 2002. Changes in heterophil to lymphocyte ratios of heat-stressed chickens in response to dietary supplementation of several related stress agents. *Arch. Geflugelkd* **66**, 80-84.
- Dai SF, Gao F, Zhang WH, Song SX, Xu XL, Zhou GH. 2011. Effects of dietary glutamine and gamma-amino butyric acid on performance, carcass Characteristics and serum parameters in broilers under circular heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, **168**:51-60.

- Farooqi HAG, Khan MS, Khan MA, Rabbani M, Pervez K, Khan JA. 2005. Evaluation of Betaine and Vitamin C in Alleviation of Heat Stress in Broilers. *International Journal of Agriculture and Biology* **7**, 744-746.
- Frontiera MS, Stabler SP, Kolhouse JF, Allen RH. 1994. Regulation of methionine metabolism: effects of nitrous oxide and excess dietary methionine. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **5**:28-38.
- Gudev D, Popova-Ralcheva S, Ianchev I, Moneva P. 2011. Effect of betaine and air ammonia concentration on broiler performance, plasma corticosterone level, lymphoid organ weights and some haematological indices. *Biotechnology in Animal Husbandry* **27**: 687-703.
- He S, Zhao S, Dai S, Liu D, Bokhari SG. 2015. Effects of dietary betaine on growth performance, fat deposition and serum lipids in broilers subjected to chronic heat stress. *Animal Science Journal* **86**: 897-903.
- Khan R, Naz S, Nikousefat Z, Selvaggi M, Laudadio V, Tufarelli V. 2012. Effect of ascorbic acid in heat-stressed poultry. *World's Poultry Science Journal*, **68**:477-490.
- Kidd MT, Ferket PR, Garlich JD. 1997. Nutritional and osmoregulatory functions of betaine. *World's Poultry Science Journal* **53**, 125-139.
- Lumeij JT. 1997. Avian Clinical Biochemistry. In: Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals* 5th edition. San Diego, Academic Press, 932p.
- Macari M, Luquetti BC. 2002. Fisiologia Cardiovascular. In: Macari M, Furlan RL, Gonzales E. *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, p. 17-36.

- Nääs IA, Romanini CEB, Neves DP, Nascimento GR, Vercellino RA. 2010. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. *Scientia Agrícola* **67**: 497-502.
- Nelson DL, Cox M. 2014. *Princípios de Bioquímica de Lehninger* - 6ª Ed. 2014. Editora Artmed.
- Rama Rao SV, Raju MVLN, Panda AK, Saharia P, Sunder GS. 2011. Effect of Supplementing Betaine on Performance, Carcass Traits and Immune Responses in Broiler Chicken Fed Diets Containing Different Concentrations of Methionine. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* **24**, 662 – 669.
- Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT, Euclides RF. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 2. ed. Viçosa: Horácio Santiago Rostagno. 252p.
- Sayed MAM, Downing J. 2011. The effects of water replacement by oral rehydration fluids with or without betaine supplementation on performance, acid-base balance, and water retention of heat-stressed broiler chickens. *Poultry Science*, **90**: 157-167.
- Zhan XA. 2001. Effects of betaine on immune responses of Newcastle disease in broiler chicks. *Chinese Journal of Veterinary Science* **21**, 99-102.

IMPLICAÇÕES

O bem-estar dos animais é discutido mundialmente, e existe cada vez mais preocupação sobre a forma na qual os animais são criados. Quando submetidos a situações de estresse, é possível observar os efeitos negativos refletidos na produção.

Apesar da falta de incentivo financeiro às pesquisas, os trabalhos vêm sendo conduzidos da melhor forma possível, de modo a atender as demandas de informações e gerar novos questionamentos para futuras pesquisas.

Neste trabalho pode-se observar efeitos positivos da inclusão de betaína em dietas de frangos de corte submetidos a situações de estresse por alta densidade e calor, como melhora no rendimento de carcaça, redução de níveis de glicose, colesterol e ácido úrico. Entretanto, para esclarecer totalmente os efeitos da betaína, é importante a avaliação de alguns parâmetros que não foram realizados no presente estudo, como os níveis de corticosterona no sangue, avaliação da saúde intestinal e níveis de homocisteína, o possível efeito da betaína no perfil lipídico da carne e melhora na qualidade da cama com redução da excreção de ácido úrico. Dessa forma, seria possível entender todo o processo metabólico da betaína e sua atuação no metabolismo das aves.