

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**AVALIAÇÃO DE NOVA FONTE DE FÓSFORO SOBRE
DESEMPENHO, QUALIDADE DE CARNE E EXPRESSÃO
GÊNICA EM FRANGOS DE CORTE**

Armando de Amorim Oliveira

**SÃO CRISTÓVÃO – SE
2024**

**AVALIAÇÃO DE NOVA FONTE DE FÓSFORO SOBRE
DESEMPENHO, QUALIDADE DE CARNE E EXPRESSÃO
GÊNICA EM FRANGOS DE CORTE**

Armando de Amorim Oliveira
Médico Veterinário

Dissertação apresentada ao Colegiado do
Programa de Pós-Graduação Integrado em
Zootecnia, como requisito parcial para a
obtenção do Título de Mestre em Zootecnia.

Orientador (a): Prof. Dr. Vittor Tuzzi
Zancanela

Coorientador (a): Prof. Dr. Claudson
Oliveira Brito

SÃO CRISTÓVÃO – SE
2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

- O48a Oliveira, Armando de Amorim
- Avaliação de nova fonte de fósforo sobre desempenho, qualidade de carne e expressão gênica em frangos de corte / Armando de Amorim Oliveira ; orientador Vittor Tuzzi Zancanela. – São Cristóvão, SE, 2024.
 69 f.; il.
- Dissertação (mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.
1. Zootecnia. 2. Frango de corte - Criação. 3. Frango de corte - Genética - Nutrição. 4. Carne de ave - Qualidade. I. Zancanela, Vittor Tuzzi, orient. II. Título.

CDU 636.5

AVALIAÇÃO DE NOVA FONTE DE FÓSFORO SOBRE DESEMPENHO, QUALIDADE DE CARNE E EXPRESSÃO GÊNICA EM FRANGOS DE CORTE

**Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Armando de Amorim Oliveira**

Aprovada em 31 de julho de 2024



Documento assinado digitalmente
VITTOR TUZZI ZANCANELA
Data: 14/01/2025 06:32:17-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.º Dr.º Vittor Tuzzi Zancanela (UFS)
Orientador



Documento assinado digitalmente
ANA PAULA DEL VESCO
Data: 13/01/2025 11:51:35-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Del Vesco (UFS)
Examinador Interno



Documento assinado digitalmente
ARIOLINO MOURA DE OLIVEIRA NETO
Data: 10/01/2025 10:19:34-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Ariolino Moura de Oliveira Neto
Examinador Externo

SÃO CRISTÓVÃO – SE
2024

Dedico esse trabalho aos meus avôs *in memoriam* Iêda da Silva e Eloi Pereira de Amorim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus por me permitir realizar mais esse sonho, e estar comigo em todos os momentos. Agradeço também aos meus pais, Edriana e Cicero, por todo apoio, incentivo, amor e por acreditarem em mim, vocês são meus maiores exemplos de admiração e espelho da pessoa que devo ser. Não posso esquecer minha irmã, Amanda, que vibra com todas as minhas conquistas e me incentiva a seguir em frente, por todo cuidado e amor.

Agradeço à toda minha família que contribuiu para realizar esse sonho, especialmente ao meu cunhado Helney, tios e tias. Aos meus amigos Anita, Erik, Tadeu, Danila, Mirian, Victor, Jully, Junior, Valber, Sidy, Neide, Camila, Melissa, Denise, Manoel Benicio e Gustavo agradeço por ouvirem sempre que precisei, pelas palavras de apoio e todo carinho. Também agradeço aos amigos que fiz no Rosa Elze: Janaina, Joyce, Alda, Glenda e Maricleide. Obrigado pelas risadas, pelas histórias compartilhadas e pelo apoio.

À Professora Dr.^a Paula Barros, agradeço pela amizade, pelos desabafos e pelos conselhos. A todos os professores do programa de Pós-graduação Integrado em Zootecnia (PPIZ), agradeço o conhecimento compartilhado, fundamental para o meu desenvolvimento profissional. Em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Vittor Tuzzi Zancanela, por aceitar ser meu orientador todas as contribuições, seja em conversas, conselhos ou orientações acadêmicas, conhecimento e principalmente por toda a paciência ao longo desses quase dois anos, sou grato por tudo.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Claudson de Oliveira Brito, agradeço o tempo disponível, pelas orientações e por me permitir participar do Núcleo de Estudos Avançados em Avicultura, onde eu pude ajudar na colaboração de algumas pesquisas. A Professora Dr.^a Ana Paula Del Vesco agradeço pelas contribuições na pesquisa e conselhos acadêmicos, estendo também os agradecimentos à Dr.^a Thaís Pacheco, agradeço pelas contribuições, por me ouvir e incentivar, estendo também os agradecimentos ao Dr.^o Ariolino Moura de oliveira Neto por contribuir com o trabalho fazendo parte da banca de avaliação. Não posso deixar de agradecer ao Luiz, secretário do PPIZ, por sempre estar disponível quando precisei, e por todos os cafés.

Por fim, agradeço à empresa Nutrivet e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior a Pesquisa (CAPES) por contribuírem com o financiamento do projeto de pesquisa e a concessão da bolsa de estudos respectivamente.

Muito obrigado à todos que contribuíram com a realização desse sonho!

“Quando passar por águas profundas, estarei a seu lado.”
Isaias 43:2

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1	Importância dos minerais na alimentação das aves	3
2.2	Metabolismo do fósforo	5
2.3	Fatores que influenciam a qualidade de carne	6
2.4	Relação nutrição e genética	8
	REFERÊNCIAS.....	10
	AVALIAÇÃO DE NOVA FONTE DE FÓSFORO SOBRE DESEMPENHO, QUALIDADE DE CARNE E EXPRESSÃO GÊNICA EM FRANGO DE CORTE	16
	INTRODUÇÃO	16
	MATERIAL E MÉTODOS	17
	<i>Delineamento experimental.....</i>	<i>17</i>
	<i>Avaliações</i>	<i>18</i>
	<i>Desempenho zootécnico</i>	<i>18</i>
	<i>Qualidade de carne</i>	<i>18</i>
	<i>Parâmetros sanguíneos</i>	<i>21</i>
	<i>Expressão gênica.....</i>	<i>21</i>
	<i>Análises estatísticas.....</i>	<i>23</i>
	RESULTADOS.....	23
	DISCUSSÃO	24
	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS.....	30
	APÊNDICES	43

LISTA DE ABREVIATURAS

ATP: Trifosfato de Adenosina

Ca: Cálcio

CALB1: Calbidina 1

cDNA: DNA Complementar

CEPAP: Comitê de Ética em Pesquisa com Animais de Produção

CLDN2: Claudina 2

CO2: Dióxido de Carbono

CRA: Capacidade de Retenção de Água

FB: Fosfato Bicálcico

FCO: Farinha de Carne e Ossos

LAMEPA: Laboratório Multifuncional de Metabolismo e Produção de Aves

OCLN: Ocludina

P: Fósforo

PCR: Reação em Cadeia da Polimerase

PLD: Perda de Líquido por Descongelamento

RNA: Ácido Ribonucleico

RT-qPCR: Reação em Cadeia da Polimerase com Transcrição Reversa em Tempo Real

SEM: Erro Padrão da Média

SLC20A1: Família de Transportadores de Solute 20 Membro 1

SLC20A2: Família de Transportadores de Solute 20 Membro 2

SLC34A2: Família de Transportadores de Solute 34 Membro 2

TGO: Aspartato Aminotransferase

TGP: Alanina Aminotransferase

TPA: Perfil de Textura

TRIC: Tricinophós

TRPV4: Subfamília V do Canal de Cátions de Potencial Receptor Transitório 4

UFS: Universidade Federal de Sergipe

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análises de firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade do músculo *pectoralis major* de frangos de corte aos 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P 40

Figura 2 - análise de expressão gênica de transportadores de Ca e P em jejuno de frangos de corte alimentados com diferentes fontes de P 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dietas experimentais fornecidas para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade com diferentes fontes de P 35

Tabela 2 - Sequência de primers utilizados para RT-qPCR para avaliar expressão gênica de transportadores de Ca e P em jejuno de frangos de cortes com 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P..... 37

Tabela 3 - Desempenho zootécnico de frangos de corte em diferentes fases de crescimento alimentados com diferentes fontes de P 38

Tabela 4 - Avaliação de parâmetros da qualidade de carne de frango de corte aos 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P..... 39

Tabela 5 - Análises bioquímicas em soro de frango de corte aos 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P 41

AVALIAÇÃO DE NOVA FONTE DE FÓSFORO SOBRE DESEMPENHO, QUALIDADE DE CARNE E EXPRESSÃO GÊNICA EM FRANGOS DE CORTE

RESUMO: Esse trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos de uma nova fonte de fósforo sobre desempenho zootécnico, qualidade de carne, parâmetros sanguíneos e expressão gênica de transportadores de Cálcio (Ca) e fósforo (P) em frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. Para isto, foram utilizados 400 frangos de corte Cobb de lote misto distribuídos em 2 tratamentos (fosfato bicálcico (FB) e tricínophós (TRIC) em um delineamento inteiramente casualizado com 10 repetições contendo 20 aves cada. Foram coletados dados de desempenho zootécnico semanalmente, e aos 42 dias de idade foram abatidas 6 aves de cada tratamento por meio da insensibilização com CO₂ seguida de sangria e coleta de sangue para análise bioquímica. Também foi coletado o músculo *pectoralis major* para análise de qualidade de carne e tecido jejunal para realização de expressão gênica de transportadores de Ca e P. Observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) no consumo de ração no período de 1-21 dias de idade, as aves que receberam dieta com o TRIC como fonte de P consumiram menos ração e obtiveram resultado semelhante ao FB na conversão alimentar. Aves que foram alimentadas com dieta contendo TRIC apresentaram menor perda por cocção (23,0% vs 28,67%), maior capacidade de retenção de água (13,16 vs 10,39), maior valor de pH (6,1 vs 5,5), e na avaliação da coloração observou-se maior valor de a^* (1,19 vs 0,85) e de b^* (3,14 vs 2,57). A maciez de carne em relação as aves alimentadas com FB como podemos observar os resultados de firmeza (53,36 vs 73,18; $P = 0,0006$) e mastigabilidade (101,77 vs 136,26; $P = 0,0108$). Nas análises bioquímicas foi possível observar que aves alimentadas com TRIC apresentam maior atividade das enzimas creatina quinase (CK) (61368 vs 4110,0) e fosfatase alcalina (FA) (3203,0 vs 1663,6) do que aves alimentadas com FB. Na avaliação de expressão gênica, foi possível observar que a calbidina (CALB1) teve sua maior expressão em aves que possuíam o TRIC como fonte de fósforo em sua dieta. De acordo com os resultados desse trabalho, as aves alimentadas com dieta contendo TRIC apresentaram desempenho semelhante ou superior ao FB, além de uma carne com maior maciez, melhor mastigabilidade, elasticidade e com menores perdas de líquido no cozimento.

Palavras-chaves: Avicultura; biodisponibilidade; genética; minerais; nutrição.

EVALUATION OF A NEW PHOSPHORUS SOURCE ON PERFORMANCE, MEAT QUALITY, AND GENE EXPRESSION IN BROILER CHICKENS

ABSTRACT: This study aims to evaluate the effects of a new phosphorus source on zootechnical performance, meat quality, blood parameters, and gene expression of calcium (Ca) and phosphorus (P) transporters in broilers from 1 to 42 days of age. For this purpose, 400 mixed-sex Cobb broilers were used, distributed into 2 treatments (dicalcium phosphate (DP) and tricinophos (TRIC)) in a completely randomized design with 10 replicates containing 20 birds each. Zootechnical performance data were collected weekly, and at 42 days of age, 6 birds from each treatment were slaughtered by CO₂ stunning followed by exsanguination and blood collection for biochemical analysis. The pectoralis major muscle was also collected for meat quality analysis, and jejunal tissue was collected for gene expression analysis of Ca and P transporters. A significant difference ($p < 0.05$) was observed in feed intake from 1 to 21 days of age, with birds receiving the TRIC diet consuming less feed and showing similar feed conversion to those on the DP diet. Birds fed the TRIC diet had lower cooking loss (23.0% vs 28.67%), higher water retention capacity (13.16 vs 10.39), higher pH value (6.1 vs 5.5), and in color evaluation, a higher a^* value (1.19 vs 0.85) and b^* value (3.14 vs 2.57). Meat tenderness in relation to birds fed DP was evidenced by firmness (53.36 vs 73.18; $P = 0.0006$) and chewiness (101.77 vs 136.26; $P = 0.0108$) results. Biochemical analyses showed that birds fed TRIC had higher activity of creatine kinase (CK) (61368 vs 4110.0) and alkaline phosphatase (AP) (3203.0 vs 1663.6) than birds fed DCP. In the gene expression evaluation, it was observed that calbindin (CALB1) had higher expression in birds with TRIC as the phosphorus source in their diet. According to the results of this study, birds fed the TRIC diet showed similar or superior performance to those fed DP, in addition to having more tender meat, better chewiness, elasticity, and lower liquid loss during cooking.

Key words: Bioavailability; genetics; minerals; nutrition; poultry farming.

1. INTRODUÇÃO

A produção avícola no Brasil vem crescendo notoriamente e as indústrias vem sendo influenciadas cada vez mais pelas necessidades e exigências do mercado consumidor (Procópio *et al.*, 2020). Buscando atender essas demandas, a produção avícola passou por grandes avanços na produção principalmente nas áreas de melhoramento animal, nutrição e sistemas de criação, contribuindo para que o animal possa expressar todo seu potencial zootécnico (Mendes *et al.*, 2004; Engel *et al.*, 2023; Novais, 2024).

De acordo com Rostagno *et al.* (2017), são inúmeros os fatores que podem influenciar nas exigências nutricionais das aves, dentre eles, raça, linhagem, sexo, nível de energia da ração, a disponibilidade dos nutrientes, temperatura do ambiente, estado sanitário e consumo de ração. É fundamental que se ofereça dietas que atendam às exigências nutricionais das aves, para obter o seu máximo desempenho, transformando a nutrição em um fator indispensável para o alcance desse objetivo (Santana *et al.*, 2023). Os minerais são nutrientes que contribuem para o desempenho das aves, participando de todas as rotas metabólicas, sendo eles essenciais para o desenvolvimento.

O cálcio (Ca) e o fósforo (P) exercem papel fundamental na vida do animal, como metabolismo energético, crescimento e desenvolvimento, participando também da execução de funções fisiológicas. Esses macrominerais estão entre os minerais mais importantes na composição de ração para as aves (Júnior *et al.*, 2013; Samanta *et al.*, 2019). O Ca está envolvido no processo de formação e manutenção óssea, equilíbrio ácido-base, sendo responsável por fazer ativação enzimática, equilíbrio eletrolítico, além de participar do metabolismo celular e contração muscular (Sá *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2020; David *et al.*, 2023). Já o fósforo é responsável pelo crescimento, diferenciação celular, participando também do desenvolvimento ósseo, metabolismo energético e celular, e processos fisiológicos vitais como equilíbrio ácido-base, formação de membrana celular e transmissão impulsos nervosos (McDowell, 1992; Jlali *et al.*, 2020; Haetinger *et al.*, 2024).

Além disso, os minerais estão sendo utilizados na avicultura de corte com a finalidade de produzir carne com melhores características (Ahmad *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2012), como por exemplo a coloração da carne, textura e

teor de gordura. Outro ponto que vem sendo estudado e avaliado é a expressão de genes transportadores de Ca e P com diferentes níveis de inclusão de minerais em dietas, como também essa inclusão deles em diferentes fases de vida das aves (Han *et al.*, 2022; Omotoso, *et al.*, 2023).

Existe também uma preocupação com o bom aproveitamento do P nas dietas das aves, buscando evitar a contaminação ambiental pela excreção de P. Outra preocupação também está na busca por fontes alternativas de Ca e P visando onerar os custos com as dietas (Abbasi *et al.*, 2019).

Sendo assim, este trabalho foi desenvolvido sob a hipótese de que o produto comercial TRIC na alimentação de frangos de corte, possa desempenhar um papel igual ou superior ao fosfato bicálcico. Com isso, esse trabalho teve como principal objetivo avaliar o efeito do TRIC sobre desempenho zootécnico, qualidade de carne, parâmetros sanguíneos e expressão gênica de transportadores de Ca e P em frangos de corte de 1 à 42 dias de idade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância dos minerais na alimentação das aves

Entre os minerais essenciais na alimentação animal, destacam-se 16, sendo divididos entre macro e microminerais. Juntos, esses minerais são importantes por contribuir com o metabolismo animal, exercendo atuação em diversos sistemas dos animais, entre eles o respiratório, reprodutivo, e possuem papel importante na formação óssea (Espindola, 2016).

Os macrominerais são utilizados em maior quantidade na dieta, já que os animais possuem uma maior demanda. Em contrapartida, os microminerais são utilizados em menor quantidade nas formulações das dietas (NRC, 2007; Araujo *et al.*, 2008). Os macros e microminerais que as aves necessitam, e não são encontrados nos alimentos que compõem a dieta, são acrescentados nas dietas geralmente por meio do premix, que é a mistura dos minerais faltantes para atender as exigências nutricionais das aves, ou podem ser acrescentados nas dietas de forma separada. Esses minerais utilizados para composição do premix são geralmente obtidos de fontes inorgânicas provenientes de processos geológicos ou industriais, tais como óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos e fosfatos (Muniz *et al.*, 2007; Araujo *et al.*, 2008; Pinto *et al.*, 2012).

As dietas compostas por grãos possuem poucas quantidades de minerais, principalmente o Ca, havendo a possibilidade das aves que consomem essas rações contendo esses grãos se tornarem deficientes do mesmo (DUKES, 2017). As dietas convencionais das aves possuem maiores quantidades de farelos de milho e soja, e esses alimentos não contêm em sua composição a quantidade necessária de Ca que o organismo necessita para executar as funções fisiológicas (Muniz *et al.*, 2007).

Já o P é encontrado nos cereais em maiores quantidades, porém os animais só conseguem realizar uma pequena absorção, pelo fato de ele estar ligado ao ácido fítico, deixando assim o P indisponível para ser absorvido (Borrmann *et al.*, 2001). Sendo necessário acrescentar nas dietas enzimas com a capacidade de transformar esse P indisponível em disponível para a absorção, com a finalidade de diminuir os custos com a produção de ração. Outro meio de atender as demandas de P, é fazendo o acréscimo dele nas dietas (Oliveira, 1999; Borrmann *et al.*, 2001; Broch *et al.*, 2020; Santos Neto *et al.*, 2021; Dallmann *et al.*, 2023; Lobato *et al.*, 2024). Em trabalho que buscava avaliar

níveis crescentes de fitase nas dietas de frango de corte, foi observado que na medida que os níveis de fitase foram aumentados os resultados de conversão alimentar foram melhores (WALK; RAO 2020).

As principais fontes de Ca e P utilizadas em dietas de frango de corte são calcários calcítico (Medeiros, 2023), carbonato (Santana *et al.*, 2017), sulfato e fluoreto de Ca (Muniz *et al.*, 2007), e FB (Rostagno *et al.*, 2017), é válido ressaltar que a absorção de Ca e P pode variar de acordo com a fonte utilizada (Muniz *et al.*, 2007; Pinto *et al.*, 2012; DUKES, 2017).

O Ca assume papel de destaque entre os minerais que são encontrados no organismo animal, nas aves também não ocorre de forma diferente sendo o mineral mais abundante em seus corpos. Sua importância é dada por ele ser o maior constituinte da formação óssea podendo chegar a 99% de sua constituição, os ossos são fundamentais para o desenvolvimento das aves já que é a parte responsável pela sustentação do corpo destas mesmas (Sá *et al.*, 2004). O P também desempenha papéis fundamentais no organismo animal, entre os processos de maior importância que eles realizam é fazerem participação no metabolismo energético, dos carboidratos e aminoácidos, atuando também no tecido neuromuscular e na homeostase do organismo (Angel, 2007).

O Ca, quando está em grande quantidade, pode interferir na absorção de outros minerais, ocasionando assim uma falsa deficiência. Os minerais que não são absorvidos quando existe excesso de Ca são o P, magnésio, manganês e zinco (Vargas *et al.*, 2003). Na existência de um desbalanceamento, ou diminuição nos níveis de Ca e P nas dietas das aves, esses animais apresentarão ossos e bicos descalcificados e, nas aves de postura os ovos apresentarão deformidade na casca (Macari; Mendes, 2005; Muniz *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2020).

Segundo Fallah *et al.* (2020), uma alta concentração de Ca, acompanhado de uma menor concentração de P nas dietas dos frangos de corte afetam o desempenho das aves. De acordo com Cao *et al.* (2020) e Huang *et al.* (2021), os problemas locomotores das aves irão afetar o desenvolvimento, visto que as aves terão maior dificuldade de se alimentar, por exemplo, também ocasionarão desordens no bem-estar animal, e a qualidade da carne também será afetada. O Ca e P nas dietas das aves deverão ser equilibrados de acordo

com as exigências recomendadas para potencializar o desenvolvimento animal (Zafari; Nazari 2022).

2.2 Metabolismo do fósforo

No organismo animal, o P pode ser encontrado na forma inorgânica e orgânica, quando está ligado em compostos que favoreçam essas ligações (Leeson; Summers, 2001). A digestão e absorção do fósforo ocorrem com interconexão com o metabolismo do Ca, principalmente no que diz respeito ao controle dos níveis desses minerais no organismo. Para que ocorra a absorção correta desses microminerais, é necessário que exista um equilíbrio entre eles (Adedokun; Adeola, 2013).

Na ocorrência da diminuição dos níveis de Ca na corrente sanguínea, ocorre uma maior secreção do paratormônio, responsável por liberar Ca e P da matriz óssea para a corrente sanguínea. De forma oposta ao que ocorre com o Ca, quando existe essa reabsorção óssea, a absorção de P diminui, enquanto a excreção renal aumenta como forma de diminuir as concentrações de P na circulação sanguínea, com o objetivo de manter o equilíbrio na relação Ca:P (Blaine *et al.*, 2015; Vaz, 2018).

Na existência de aumento nos níveis séricos de Ca e P (hipercalcemia) na corrente sanguínea, a calcitonina é responsável por promover uma maior deposição de Ca e P para os ossos e aumentar a excreção por via renal (Leeson; Summers, 2008). Outro hormônio importante na regulação do nível de P na corrente sanguínea é o estrogênio, que atua enquanto ocorre a ação do paratormônio no processo de reabsorção óssea (Bertechini, 2014).

Para que o P seja absorvido, é necessário que ele esteja na forma de ortofosfato. A absorção ocorre em todos os segmentos do intestino delgado, por meio de transporte passivo com gradientes de concentração e ativo com o auxílio da vitamina D e sódio (Vaz, 2018). Existem alguns fatores que podem causar interferência na absorção do P, como o pH, a viscosidade intestinal, o equilíbrio da relação entre Ca e P e o excesso de outros minerais, como ferro, alumínio, manganês e magnésio (Macari *et al.*, 2002; Abd El-Hack *et al.*, 2018).

A principal forma de absorção do P é por transporte paracelular, sendo esse transporte mediado por gradientes de concentração. Já o transporte ativo

é mediado pela superfície das células epiteliais intestinais, responsáveis por capturar o sódio e o P, ou seja, ele é dependente da vitamina D e do sódio.

Existe um transportador sódio-dependente (NaPi/SLC34A) que é responsável por transportar o P para dentro da célula. Como mencionado anteriormente, ele está localizado na superfície das células apicais. A expressão do transportador NaPi é mediada diretamente pela vitamina D. Nos rins, também podemos encontrar esses transportadores de P (Fleet; Schoch, 2011). Segundo Takeda et al. (1999), o NaPi é dividido em três tipos: NaPi I, II e III, porém, seu local de atuação é diferente. O tipo II é encontrado principalmente em regiões intestinais (duodeno, jejuno e íleo) e nos rins. Existem duas subdivisões dentro desse tipo, sendo IIa (SLC34A1) e IIb (SLC34A2) (Werner; Kinne, 2001).

O SLC34A2 é encontrado nas células apicais dos enterócitos vilosos do intestino delgado, com maior expressão no duodeno, seguido pelo jejuno e íleo (Yan et al., 2007; Liu et al., 2016; Júnior et al., 2018). Enquanto o SLC34A1 é encontrado principalmente na superfície das células tubulares renais (Ruminska et al., 2013; Junior et al., 2018). Segundo Hu et al. (2018) ele relata que nos enterócitos vilosos do intestino delgado das aves, existem outros transportadores de P inorgânico, sendo eles PiT-1 (SLC20A1) e PiT-2 (SLC20A2), existindo também a especulação que eles possuem participação na regulação e absorção de P, assim como o SLC34A2.

Existe uma preocupação com a quantidade de fosfato inserida nas dietas das aves, devido a fatores como impacto ambiental, desempenho zootécnico e custo elevado para acrescentar o P nas dietas (Hu et al., 2018).

2.3 Fatores que influenciam a qualidade de carne

Com os avanços na cadeia produtiva da avicultura brasileira, a nutrição é uma parceira de extrema necessidade, já que é por meio dela que os animais terão todos os nutrientes necessários para seu desenvolvimento. Com os avanços do melhoramento genético, os animais necessitam de uma nutrição equilibrada para alcançarem os objetivos desejados (Alves et al., 2016).

O mercado consumidor está cada vez mais exigente com os produtos que consome, como a carne de frango, avaliando valores nutritivos e características de qualidade da carne, principalmente aspectos como de coloração, quando a carne é comprada *in natura*. A coloração, pH, textura, suculência, vida útil do

produto, tempo e forma de armazenamento são características que fazem os consumidores escolherem quais carnes levar para seu consumo. Entre os fatores que podem influenciar na qualidade de carne estão a nutrição, melhoramento genético, tipo de criação e cuidados no ante mortem e pós morte, ambiente, taxa de desenvolvimento animal, idade e sexo (Rodrigues *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2015; Alves *et al.*, 2016).

O atendimento das demandas nutricionais das aves deve ser feito para cada fase de crescimento, atendendo aos níveis desejados de vitaminas, proteínas, minerais, lipídeos, que são encontrados nos diferentes tipos de rações e em diferentes níveis de concentração, com o intuito de melhorar a qualidade da carcaça (Rodrigues *et al.*, 2008; Oliveira, 2019).

O conhecimento sobre cada nutriente que compõe a dieta é de grande importância, até mesmo sobre os micronutrientes, que são utilizados em pequenas quantidades. Eles exercem um papel importante nas características sensoriais da carne (Bellaver, 2003). Entre os parâmetros que podem afetar as características sensoriais desejáveis da qualidade da carne de frango, está o pH, já que ele é responsável por ocasionar a acidificação da carne (Sanfelice *et al.*, 2010).

Quando o pH das carnes apresentam valores abaixo do ideal essas carnes ficam pálidas, moles e exudativas (pale, soft, exudative – PSE), já quando o valor de pH está acima do valor de referência as carnes ficam com uma coloração mais escura, dura e seca (dark, firm, dry – DFD) (Droval *et al.*, 2012; Lee; Choi, 2021; Yang *et al.*, 2022). Essas características de carnes PSE e DFD influenciam na escolha do consumidor pelo produto, já que essas carnes não terão a coloração atraente para o consumidor, a carne também retém menos líquido, perdendo mais líquido no cozimento (Droval *et al.*, 2012; Mesquita, 2017).

Uma das alternativas que busca solucionar esses problemas relacionados com alterações de pH e textura de carne, está o aumento de Ca circulante na corrente sanguínea do animal. Segundo Sanfelice (2012), devem ser oferecidas aos frangos de corte dietas que possibilitem uma maior absorção de Ca pelo intestino, para que os níveis de Ca na corrente sanguínea e nos músculos sejam adequados.

Nos músculos encontramos as enzimas proteolíticas dependentes de Ca, como a Calpaína, ela degrada enzimas específicas dos músculos como nebulina, titina e as desmina com a quebra dessas fibras musculares resulta em carnes mais macias, sendo assim quanto maior for a quantidade de Ca circulante na corrente sanguínea e depositada nos músculos, mais macias serão as carnes (Whipple; Koohmaraie, 1993). O aumento de Ca na corrente sanguínea irá potencializar a contração muscular, colaborando com a diminuição das reservas energéticas da carne e os problemas de rigor mortis que afetam a maciez da carne (Sanfelice, 2012).

2.4 Relação nutrição e genética

As indústrias da produção animal utilizam meios que envolvem a ciência e a nutrição em busca de produzir produtos com melhor qualidade e aumento na produção (Alves, 2023). Conteúdos a respeito de genética e tecnologias de sequenciamento genômico em grande escala passaram por grandes avanços nos últimos anos, possibilitando o armazenamento de inúmeros dados genéticos de animais (Furlan, 2007). Recentemente, ocorreram grandes progressos sobre técnicas de genética molecular, o que permitiu verificar a função do genoma em proporções significativas, contribuindo para baratear tais técnicas e torná-las mais acessíveis (Patil *et al.*, 2022).

A nutrigenômica surgiu no âmbito de uma nova investigação voltada para a ciência nutricional, que busca descobrir as diferentes maneiras como a dieta, através de seus nutrientes possui interação com a genética animal (Benítez, 2017). A nutrigenômica busca elucidar os efeitos que a dieta pode proporcionar sobre aspectos de saúde e produção (Malgwi *et al.*, 2022; Haq *et al.*, 2022).

Já a nutrigenética busca compreender como a genética influencia na nutrição, segundo Ghormade (2011), entre as aplicações desempenhadas pela nutrigenética está o desenvolvimento de alimentos para os animais de acordo com seu genótipo, para que sejam favorecidos em termos de saúde e processos fisiológicos. Além de selecionar cuidadosamente os nutrientes que melhor interagem com os genes e compreender o papel importante desempenhado pela nutrição em relação à sua produção e às doenças dos animais.

Segundo Khan (2018), no setor da avicultura, a nutrigenômica tem a função de estudar a correlação entre a nutrição e a genética, para investigar

pontos que possam melhorar o desempenho dos animais, como eficiência alimentar, saúde e qualidade da carne. A quantidade e qualidade das dietas fornecidas para os animais podem influenciar na modulação e expressão de genes em diversos tecidos do organismo (Abreu; Barbosa, 2018).

Em trabalho desenvolvido por Omotoso et al. (2023), em que eles avaliam a resposta fisiológica de frangos de corte à dietas com baixo teor de P em diferentes fases de crescimento, observou-se que em frangos jovens com 17 dias de vida que consumiram dietas com baixo teor de P ocorreu uma maior expressão do gene *SLC34A2* em região de jejuno do que aves que consumiram dietas com maior teor de P, já em tecidos renais a expressão do *SLC34A2* ocorreu de forma oposta.

Em pesquisa realizada por Han et al. (2022) com intuito de observarem se diferentes níveis de Ca na dieta afetam a expressão de genes transportadores de Ca, verificou-se que a expressão dos genes sofre alterações em diferentes níveis, uma vez que aves que receberam dietas com baixo teor de Ca resultaram em maior expressão da *CALB1*. Segundo o trabalho, quando os níveis de concentração de Ca foram baixo ocorreu uma estimulação do *CALB1* realizando seu transporte da membrana apical para a basolateral. Podemos observar com base nesses trabalhos a importância dos estudos que correlacionam a nutrição com o melhoramento genético na atuação no desenvolvimento animal.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, F. et al. Low digestibility of phytate phosphorus, their impacts on the environment, and phytase opportunity in the poultry industry. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 9469-9479, 2019.
- ABD EL-HACK, M. E. et al. The uses of microbial phytase as a feed additive in poultry nutrition – a review. **Annals of Animal Science**, v. 18, p. 639-658, 2018.
- ABREU, A. R. C.; BARBOSA, H. J. S. A expressão de genes de importância produtiva na avicultura comercial: revisão de literatura. **Nutri-Time revista eletrônica**, v. 15, 2018.
- ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O. Calcium and phosphorus digestibility: Metabolic limits. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, n. 3, p. 600-608, 2013.
- AHMAD, H. et al. Effects of dietary sodium selenite and selenium yeast on antioxidant enzyme activities and oxidative stability of chicken breast meat. **J. Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, p. 7111-7120, 2012.
- ALVES, M. G. M.; ALBUQUERQUE, L. F.; BATISTA, A. S. M. Qualidade da carne de frangos de corte. **Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA**, v. 17, n. 2, 2016.
- ALVES, S. O.; REIS, L. W. D.; BRAGANÇA, A. F. B. Nutrigenômica na medicina veterinária. Rio de Janeiro: **Editora Eptaya**, 2023.
- AMMERMAN, C. B. Methods for estimation of mineral bioavailability. In: **Bioavailability of nutrients for animals**. Academic Press, p. 83-94, 1995.
- ANGEL, R. Metabolic disorders: limitations to growth of and mineral deposition into the broiler skeleton after hatch and potential implications for leg problems. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, n. 1, p. 138-149, 2007.
- ARAUJO, J. A. et al. Fontes de Minerais para Poedeiras. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 2, n. 3, p. 53-60, 2008.
- ARAUJO, J. A.; SILVA, J. H. V. S.; AMÂNCIO, A. L. L. et al. Fontes de minerais para poedeiras. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 2, p. 53-60, 2008.
- BAR, A. Differential regulation of calbindin in the calcium-transporting organs of birds with high calcium requirements. **The journal of poultry science**, v. 46, n. 4, p. 267-285, 2009.
- BARRILLI, L. N. E. et al. Fitase em dietas com diferentes concentrações de fitato para frangos de corte. **Ciencia Rural**, v. 53, n. 4, p. 18, 2023.
- BELUSSO, D; HESPANHOL, A. N. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. **Revista Percurso**, v. 2, n. 1, p. 25-51, 2010.
- BENÍTEZ, R.; NÚÑEZ, Y.; ÓVILO, C. Nutrigenomics in farm animals. **Journal of Investigative Genomics**, v. 4, p. 23-28, 2017.
- BERTECHINI, A. G. Exigências de minerais para aves. In: SAKOMURA, N. K. (Ed.). **Nutrição de não-ruminantes**. 1. ed. Jaboticabal: **FUNEP**, 2014. p. 678.

BINDARI, Y. R.; GERBER, P. F. Centennial Review: factors affecting the chicken gastrointestinal microbial composition and their association with gut health and productive performance. **Poultry Science**, v. 101, n. 1, p. 101612, 2022.

BLAINE, J.; CHONCHOL, M.; LEVI, M. Renal control of calcium, phosphate, and magnesium homeostasis. **Clinical Journal of the American Society of Nephrology**, v. 10, n. 7, p. 1257-1272, 2015.

BORRMANN, M. S. L. et al. Efeitos da adição de fitase com diferentes níveis de fósforo disponível em rações de poedeiras de segundo ciclo. **Ciência Agrotecnica**, v. 25, n. 1, p. 181-187, 2001.

BROCH, J. et al. Fitase e seus efeitos extra fosfóricos em dietas para frangos de corte: revisão. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 1, p. 68-72, 2020.

CAO, Q. et al. Characterization of growth performance, meat quality and serum biochemical parameters in chickens suffering from tibial dyschondroplasia. **Livestock Science**, v. 233, p. 103956, 2020.

CARMINATI, J. A. **Uso de óleos essenciais combinados ao processamento por alta pressão em carne de peito de frango**. 2022. Tese Doutorado – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2022.

DALLMANN, H. M. et al. Different phytase levels and energy densities in broiler diets on performance, nutrient digestibility, and bone integrity from 28 to 35 days of age. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 75, p. 280-292, 2023.

DAVID, L. S. et al. Requirement of digestible calcium at different dietary concentrations of digestible phosphorus for broiler chickens 3. Broiler finishers (d 25 to 35 post-hatch). **Poultry Science**, v. 102, n. 4, p. 102492, 2023.

DE MEDEIROS, L. G. et al. Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de frangos de corte suplementados com selênio orgânico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 3361-3369, 2012.

DILELIS, F. et al. Digestible phosphorus of ingredients for poultry: methodologies and news. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e915974543, 2020.

DROVAL, A. A. et al. Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, n. 3, p. 502-507, 2012.

DUKES, H. H. Fisiologia dos animais domésticos. Editor: William O. Reece; Editores associados: Howard H. Erickson, Jesse P. Goff, Etsuro E. Uemura; Revisão técnica: Luís Carlos Reis, André de Souza Mecawi. 13. ed. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**, 2017.

ENGEL, W.; DE PAULA, G.; KNAUL, E.; HANE, S. N. Estudo de caso de custos de produção da avicultura: integrado e integradora na região oeste do Paraná. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 6, p. 8802-8823, 2023.

ESPINDOLA, G. B. Nutrição de animais monogástricos de produção. Fortaleza: **Expressão Gráfica e Editora**, 2016. 204 p.

FALLAH, H. et al. Modelling and optimizing of calcium and non-phytate phosphorus requirements of male broiler chickens from 1 to 21 days of age using response surface methodology. **Animal**, v. 14, n. 8, p. 1598-1609, 2020.

FARIA, P. B. et al. Composição proximal e qualidade da carne de frangos das linhagens Paraíso Pedrês e Pescoço Pelado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 2455-2464, 2009.

FLEET, J. C.; SCHOCH, R. D. Molecular mechanisms for regulation of intestinal calcium and phosphate absorption by vitamin D. In: FELDMAN, D.; PIKE, J. W.; ADAMS, J. S. Vitamin D. 3. ed. **Academic Press**, 2011. p. 349-362.

FURLAN, L. B.; FERRAZ, A. L. J.; BORTOLOSSI, J. C. A genômica funcional no âmbito da produção animal: estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 331-341, 2007.

GHORMADE, V.; KHARE, A.; BAGHEL, R. P. S. Nutrigenomics and its applications in animal science. **Veterinary Research Forum**, v. 2, p. 147-155, 2011.

HAETINGER, V. S. et al. Ileal phosphorus digestibility of soybean meal for broiler chickens remains consistent across institutions in a collaborative study regardless of non-phytate phosphorus concentration in the pre-experimental starter diet. **Poultry Science**, p. 103602, 2024.

HAN, J. C. et al. Comparison of the growth and mineralization of the femur, tibia, and metatarsus of broiler chicks. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 17, p. 333-340, 2015.

HAN, J. C. et al. Dietary calcium levels regulate calcium transporter gene expression levels in the small intestine of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 63, n. 2, p. 202-210, 2022.

HAQ, Z. U. et al. Nutrigenomics in livestock sector and its human-animal interface - a review. **Veterinary and Animal Science**, v. 17, p. 100262, 2022.

HU, Y. et al. Phosphorus absorption and gene expression levels of related transporters in the small intestine of broilers. **British Journal of Nutrition**, v. 119, p. 1346-1354, 2018.

HUANG, S. et al. Morinda officinalis polysaccharides improve meat quality by reducing oxidative damage in chickens suffering from tibial dyschondroplasia. **Food Chemistry**, v. 344, p. 128688, 2021.

JLALI, M. et al. Evaluation of a multicarbohydrase and phytase complex in reduced energy, amino acids, available phosphorus and calcium diets fed to broilers. **Livestock Science**, v. 241, p. 104227, 2020.

JÚNIOR, J. P. F. et al. Transportadores de cálcio e fósforo em aves de postura. **Revista Campo Digital**, v. 13, n. 1, 2018.

JÚNIOR, J. P. F.; COSTA, F. G. P.; LUDKE, J. V.; SANTANA, M. H. M.; SANTOS, E. G. Exigência de cálcio e fósforo para poedeiras leves em todas as fases de criação e ciclos de produção. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 10, n. 4, p. 2583-2626, 2013.

KHAN, Z. A.; GANAI, A. M.; HAQ, Z. Advances in nutrigenomics and its application in poultry. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, p. 2866-2872, 2018.

LEE, B.; CHOI, Y. M. Research note: Comparison of histochemical characteristics, chicken meat quality, and heat shock protein expressions between PSE-like condition and white-stripping features of pectoralis major muscle. **Poultry Science**, v. 100, n. 8, p. 101260, 2021.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. Scott's nutrition of the chicken. 4. ed. **Ontario: Guelph**, 2001.

LEESON, S.; VERÕES, J. D. Programas de alimentação para galinhas poedeiras. In: Nutrição comercial de aves. 3. ed., representado digitalmente. Guelph, Ontário: **University Books**, 2008. p. 398.

LIU, S. B. et al. Kinetics of phosphorus absorption in ligated small intestinal segments of broilers. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 8, p. 3312-3320, 2016.

LOBATO, G. B. V. et al. Can the use of phytase in feed improve the performance and health of broiler chickens? O uso de fitase na ração pode melhorar o desempenho e a saúde de frangos de corte?. **Concilium**, v. 24, n. 8, p. 358-377, 2024.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. 2. ed. Ampliada. Jaboticabal: **Funep/Unesp**, 2002. 375 p., capítulo 8, p. 113-123.

MACARI, M.; MENDES, A. A. Manejo de matrizes de corte. Campinas: **Facta**, 2005. 421 p.

MALGWI, I. H. et al. Genes related to fat metabolism in pigs and intramuscular fat content of pork: A focus on nutrigenetics and nutrigenomics. **Animals**, v. 12, n. 2, p. 150, 2022.

McDOWELL, L. R. Minerals and animal and human nutrition. San Diego: **Academic Press**, 1992. 524 p.

MEDEIROS, C. Características do calcário calcítico da cidade de Vertente do Lério (PE), utilizado na ração avícola. **Natural Resources**, v. 13, n. 2, p. 56-68, 2023.

MENDES, A. A.; DE ALENCAR NÄÄS, I.; MACARI, M. Produção de frangos de corte. Campinas: **Facta**, 2004.

MESQUITA, L. R. de. **Avaliação físico-química e sensorial de carne de frangos de corte submetidos a dietas com inclusão de óleo de buriti (Mauritia flexuosa L.)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

MUNIZ, E. B. et al. Avaliação de fontes de cálcio para frangos de corte. **Revista caatinga**, v. 20, n. 1, p. 5-14, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. Nutrient requirements of small ruminants. Washington: **The National Academic Press**, 2007. 325 p.

NOVAIS, S. F. A territorialização da avicultura industrial e os produtores integrados no município de Pires do Rio (GO). **Revista Nera**, v. 27, n. 1, 2024.

OLIVEIRA, P. M. A. Alimentação dos animais monogástricos: suínos, coelhos e aves. São Paulo: **Roca**, 1999. 372 p.

OMOTOSO, A. O. et al. Broiler physiological response to low phosphorus diets at different stages of production. **Poultry Science**, v. 102, n. 2, p. 102351, 2023.

PATIL, P. V. et al. Applications of nutrigenomics in animal health, production and reproduction. **The Pharma Innovation Journal**, v. 4, p. 524-527, 2022.

PINTO, S. et al. Cálcio e fósforo na dieta de galinhas de postura: uma revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 1, p. 5-18, 2012.

PROCÓPIO, D. P. et al. Avaliação conjuntural da avicultura no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e47932312, 2020.

REZENDE, F. V. et al. Minerais: fatores que interferem na biodisponibilidade de macro e microminerais para fêmeas ruminantes durante o período de gestação. **Nucleus Animalium**, v. 11, n. 2, 2019.

RODRIGUES, K. F. et al. Qualidade da carne de peito de frangos de corte recebendo rações com diferentes relações lisina digestível: proteína bruta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 1023-1028, 2008.

ROSTAGNO, H. S. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos. 4. ed. **Viçosa: UFV**, 2017. 261 p.

RUMINSKA, J. et al. Generation of mice expressing RFP-tagged sodium phosphate cotransporter NaPi-IIa. **The FASEB Journal**, v. 29, n. 1, p. 969-11, 2015.

SAMANTA, G. et al. Studies on utilization of calcium phosphate nanoparticles as source of phosphorus in broilers. **Animal Nutrition and Feed Technology**, v. 19, p. 77-88, 2019.

SANFELICE, C. **Efeito da suplementação de vitamina D3 (25-hidroxicolecalciferol) na fase final sobre o cálcio sanguíneo e qualidade da carne em frangos de corte**. 2012. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2012.

SANFELICE, C. et al. Avaliação e caracterização da qualidade da carne de peito (Pectoralis major) de matrizes pesadas em final de ciclo produtivo. **Food Science and Technology**, v. 30, p. 166-170, 2010.

SANTANA, A. L. A. et al. Different sources of calcium for starter pig diets. **Livestock Science**, v. 206, p. 175-181, 2017.

SANTANA, T. P. et al. Effects of maternal methionine supplementation on the response of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) chicks to heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 101, 2023.

SANTOS NETO, L. D. et al. Use of different combinations of enzyme complexes in broiler diets. **Semina: Ciência Agrária**, v. 42, n. 5, p. 2907-2924, 2021.

TAKEDA, E. et al. Sodium-dependent phosphate co-transporters. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 31, p. 377-381, 1999.

VARGAS, J. G. Jr. et al. Níveis nutricionais de cálcio e fósforo disponível para aves de reposição leves e semipesadas de 0 a 6 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1919-1926, 2003.

VAZ, D. P. **Efeito do cálcio e fósforo disponível na dieta sobre o desempenho produtivo, qualidade óssea e da casca de ovos de galinhas poedeiras por meio de meta-análises**. 2018. Tese – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

WALK, C. L.; RAO, S. V. R. Dietary phytate has a greater anti-nutrient effect on feed conversion ratio compared to body weight gain and greater doses of phytase are required to alleviate this effect as evidenced by prediction equations on growth performance, bone ash and phytate degradation in broilers. **Poultry Science**, v. 99, n. 1, p. 246-255, 2020.

WERNER, A.; KINNE, R. K. H. Evolution of the Na-Pi cotransport systems. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v. 280, p. 301-312, 2001.

YAN, F.; ANGEL, R.; ASHWELL, C. M. Characterization of the chicken small intestine type IIb sodium phosphate cotransporter. **Poultry Science**, v. 86, n. 1, p. 67-76, 2007.

YANG, T. et al. Estratégias de melhoria para defeitos de qualidade e oxidação de carne de frango pálida, macia e exsudativa (PSE): efeitos do cozimento doméstico e da temperatura central. **RSC Advances**, v. 12, p. 7485-7496, 2022.

YANG, Y. et al. Effect of dietary calcium or phosphorus deficiency on bone development and related calcium or phosphorus metabolic utilization parameters of broilers from 22 to 42 days of age. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 11, p. 2775-2783, 2020.

ZAFARI, N.; NAZARI, Z. U. A. Calcium and phosphorus supplementation ameliorate growth performance and bone quality of broilers chicken in grower stage. **International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology**, v. 9, n. 3, p. 58-63, 2022.

AVALIAÇÃO DE NOVA FONTE DE FÓSFORO SOBRE DESEMPENHO, QUALIDADE DE CARNE E EXPRESSÃO GÊNICA EM FRANGO DE CORTE

“Artigo a ser submetido ao Periódico Poultry Science, Qualis A1 na Área Zootecnia/Recursos Pesqueiros”

INTRODUÇÃO

Entre os ingredientes que compõem a dieta das aves, o milho e o farelo de soja são os componentes em maior quantidade. No entanto, disponibilizam pequena quantidade de cálcio (Ca) e fósforo (P) disponíveis para a absorção, sendo necessário fazer suplementação destes na dieta (Ammerman *et al.*, 1995; Muniz *et al.*, 2007). O P encontrado no milho e no farelo de soja está em maior quantidade na forma de ácido fítico, não sendo absorvido pelo trato digestório (Casey; Walsh, 2004).

Com isso, novas pesquisas na área da nutrição animal têm buscado por produtos com maior biodisponibilidade para o animal, como, por exemplo, a busca por minerais que possuam moléculas com maior estabilidade. É desejável também que essas moléculas possuam menor interação com o meio intestinal, caracterizando assim uma maior disponibilidade (Stefanello *et al.*, 2014; Qiu *et al.*, 2020).

É essencial que, na dieta de frangos de corte, haja disposição correta de minerais, já que a sua deficiência ou excesso pode afetar o desempenho animal. Destacam-se os minerais Ca e P, que são fundamentais em alguns processos fisiológicos, como crescimento, manutenção óssea, contração muscular, transmissão de impulsos nervosos,

liberação hormonal, coagulação sanguínea e metabolismo energético (Sá *et al.*, 2004; Vieites *et al.*, 2005; Júnior *et al.*, 2013; Samanta *et al.*, 2019; David *et al.*, 2023; Haetinger *et al.*, 2024).

O setor da produção avícola tem buscado produtos que possam contribuir ainda mais com a qualidade da carne e rendimento de carcaça, sabendo que esses fatores são importantes tanto para a viabilidade econômica quanto pela aceitação do produto no mercado consumidor (Harris, 1970). A perspectiva das características organolépticas desejáveis pelas indústrias e pelos consumidores de carne de frango está na quantidade e qualidade de carne produzida por animal, com quantidade de gordura ideal e coloração da carne, outro fator principal para caracterizar um produto de boa qualidade (Khaksefidi, 2005).

Com base na importância dos minerais Ca e P, e na busca de atender às demandas do mercado consumidor, pesquisadores buscam por fontes alternativas de Ca e P que obtenham resultados iguais ou superiores às fontes comerciais já existentes. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar nova fonte de P sobre o desempenho zootécnico, qualidade de carne, bioquímica sérica e a expressão de genes transportadores de Ca e P no jejuno de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa com Animais de Produção (CEPAP) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), aprovado sobre o protocolo de número 13/2022.

Delineamento experimental

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Sergipe (UFS) localizado em São Cristóvão, no Laboratório Multifuncional de Metabolismo e Produção de Aves (LAMEPA).

Foram utilizados 400 frangos de corte Cobb machos e fêmeas, com um dia de idade com peso médio de 47,3 g. As aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos, 10 repetições com 20 aves por unidade experimental. As aves foram alojadas em boxes de 2,1 m² de dimensão com piso recoberto de maravalha e equipados com bebedouros do tipo nipple, comedouros do tipo tubular ajustados de acordo com cada fase de crescimento das aves.

As dietas experimentais continham duas diferentes fontes de fósforo, sendo elas: fosfato bicálcico (FB) e tricinophós (TRIC). As mesmas foram formuladas à base de milho e farelo de soja, visando atender as demandas nutricionais dessas aves para cada fase de vida, como recomendado por Rostagno et al. (2017) (Tabela 1).

Avaliações

O desempenho foi avaliado semanalmente, e para avaliar a qualidade de carne, parâmetros sanguíneos e expressão gênica, as aves foram abatidas aos 42 dias de idade por meio da insensibilização com CO², e em seguida sangradas via artéria jugular.

Desempenho zootécnico

Os parâmetros avaliados foram ganho de peso (g/dia/ave), consumo de ração (g/dia/ave) e conversão alimentar (g/g).

Qualidade de carne

Para avaliar a qualidade da carne o músculo do peito (*pectoralis major*) de seis aves por tratamento (n=6) foi coletado logo após a desossa, identificado e armazenado em saco de polietileno, e posteriormente, levados para congelamento em câmara fria a -

20°C. As amostras permaneceram na câmara fria até o momento da realização das análises.

Os parâmetros avaliados foram pH, coloração, perda de líquido por descongelamento (PLD), perda de líquido por cocção (PLC) capacidade de retenção de água (CRA), perfil de textura (firmeza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade).

Análise de pH foram realizadas como descrito por IAL (2008). As amostras do *pectoralis major* foram retiradas da câmara fria e descongeladas sobre refrigeração 4°C por 24h. Após isso, foi pesado 5 g do *pectoralis major* e macerado. Em um béquer contendo 100ml de água destilada o macerado foi adicionado. Com auxílio de uma espátula as amostras foram homogeneizadas.

A leitura do pH foi realizada por meio do peagâmetro (Hanna instruments, HI 2221 Calibration Check Ph/ORP Meter).

Coloração As análise de cor foi realizada de acordo com Caldas-Cueva et al. (2021). A leitura foi realizada através de um colorímetro (Konica Minolta, CR-400), em triplicata, onde os parâmetros L* (luminosidade), a* (vermelho ao azul), e b* (amarelo ao verde) foram avaliados.

Perda de líquido por descongelamento A metodologia para avaliação da perda por descongelamento foi realizada de acordo com Bridi; Silva (2009). As amostras do *pectoralis major* congeladas foram pesadas, identificadas, e armazenadas em geladeira a 4°C durante um período de 24 h. No dia seguinte as amostras foram retiradas da geladeira, secas de forma delicada com um papel toalha, para retirada de toda umidade possível.

Essas amostras foram então pesadas e os resultados obtidos foram aplicados na equação: $(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / (\text{Peso inicial}) \times 100$, para se obter o valor da PLD (%).

Perda de líquido por cocção Como descrito por Bridi; Silva (2009), as amostras do *pectoralis major* foram retiradas da câmara fria e foram descongeladas sobre refrigeração (4°C). Ao atingir a temperatura ambiente, as amostras foram pesadas, embrulhadas com papel alumínio e colocadas em grill elétrico preaquecida. Estas permaneceram no grill elétrico até atingirem a temperatura de 71°C, essa temperatura foi aferida por meio de termômetro do tipo espeto que era inserido no centro da amostra. Após atingirem a temperatura, as amostras foram retiradas e postas em bandejas para que chegassem à temperatura ambiente, e então pesadas novamente para obter o valor da perda por cocção: $(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / (\text{Peso inicial}) \times 100$.

Capacidade de retenção de água A metodologia utilizada para a determinação da capacidade de retenção de água foi a descrita por Hamm, (1960). Para o processamento dessa análise foi retirado e pesado 3g de cada amostra de peito, em seguida as mesmas foram envolvidas em papel filtro e aplicado um peso de 5 kg sobre a amostra por 5 minutos. Após esse tempo, as amostras foram pesadas novamente e o resultado da capacidade de retenção de água foi obtido através da equação: $\text{CRA (\%)} = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / (\text{Peso inicial}) \times 100$.

Perfil de Textura (TPA) foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Aguirre et al. (2018) e Caldas-Cueva et al. (2021), com algumas modificações. Para essa análise foram utilizadas as mesmas amostras que passaram pelo processamento de perda por cocção. O teste do perfil de textura (TPA) foi realizada no texturômetro (Brookfield,

modelo CT3), com probe (SIGLA) e garga (força) de 2g, 5% de deformação e uma velocidade 0.5 mm/s. Avaliou-se os parâmetros de firmeza, coesividade, elasticidade e mastigabilidade.

Parâmetros sanguíneos

Para análise de albumina (ALB), fosfatase alcalina (FA), aspartato aminotransferase (TGO), alanina aminotransferase (TGP), cálcio (CA), fósforo (FOS), colesterol total (COLES), triglicerídeos (TRIG), creatina quinase (CK), o sangue de cinco aves de cada tratamento (n=5) foi coletado, centrifugado a 1500 xg por 10 min, o soro foi separado e acondicionado em microtubos, e armazenados em freezer a -20 °C até o momento da realização dos testes bioquímicos.

As análises foram realizadas através de kits comerciais da marca Bioclin[®], seguindo as recomendações do fabricante, e a leitura foi realizada em analisador bioquímico automático (Bio Plus - MaxBio).

Expressão gênica

Para a análise de expressão gênica, de cada tratamento quatro amostras do jejuno (n=4) foram coletadas em RNAlater[™] (Life Technologies do Brasil, Brasil) e armazenadas a -20 °C até o momento da extração de RNA.

O RNA total foi extraído com o uso do reagente Trizol[®] (Invitrogen, Carlsbad CA, USA) de acordo com as normas do fabricante, na proporção de 1 mL para cada 80 mg de tecido.

Todas as amostras foram tratadas com DNase I (Invitrogen, Carlsbad CA, USA) seguindo as instruções do fabricante, para que fosse eliminada uma possível contaminação com DNA. Para a síntese do DNA complementar (cDNA) foi utilizado o kit High-Capacity cDNA Reverse Transcription (Life Technologies Corporation,

Carlsbad, USA), utilizando 10 µL de RNA tratado com DNA, seguindo as instruções do fabricante.

Para as reações de PCR em tempo real foi utilizado o fluoróforo SYBR GREEN (SYBR[®] GREEN PCR Master Mix, Applied Biosystems, EUA). A reação de amplificação continha 5 µL de cDNA diluído a 40 ng, 0,5 µL de cada primer a 10 µM (a concentração final da reação foi de 200 nM), 12,5 µL de SYBR[®] GREEN PCR Master Mix e 6,5 µL de água ultra pura, com volume final de 25 µL.

Para medir a eficiência de cada primer, uma série de reações de 25 µL foi realizada semelhante à anterior utilizando 5 µL de pool de cDNA a partir de uma diluição em série (80 ng/µL, 40 ng/µL, 20 ng/µL e 10 ng/µL). A programação do termociclador para todos os genes foi: 95 °C por 15 segundos e 60 °C por 1 minuto. As curvas de melting foram realizadas para garantir a especificidade das análises.

Os primers utilizados nas reações para a amplificação dos genes da família de transportadores de soluto 20 membro 1 (*SLC20A1*), família de transportadores de soluto 20 membros 2 (*SLC20A2*), família de transportadores de soluto 34 membros 2 (*SLC34A2*), subfamília V do canal de cátions de potencial receptor transitório 4 (*TRPV4*), calbidina 1 (*CALB1*), caludina 2 (*CLDN2*) e ocludina (*OCLN*), foram confeccionados com base nas sequências de genes depositados em www.ncbi.nlm.nih.gov. O gene da β-actina foi utilizado como controle endógeno (Tabela 2).

Todas as análises foram realizadas em um volume de 25 µL e em duplicatas. As eficiências de amplificação foram semelhantes para os genes de interesse, entre 90 e 110% de eficiência.

Análises estatísticas

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância utilizando o PROC GLM do pacote estatístico SAS (SAS, 2010).

RESULTADOS

Na tabela 3 são apresentados os resultados de desempenho dos frangos de corte na fase inicial (1-21) e fase de crescimento (22-42). Na fase inicial (1-21), aves que foram alimentadas com dietas com inclusão de TRIC como fonte de P apresentaram menor consumo de ração comparado a aves que receberam o FB na dieta (1371,1 g vs 1432,6 g; $P = 0,021$). Não foi observado efeito significativo sobre ganho de peso e conversão alimentar. Na fase de crescimento (22-42), aves que receberam a inclusão do TRIC em sua dieta apresentaram resultados semelhantes às aquelas que receberam FB na dieta ($P > 0,05$).

Na tabela 4, é possível observar que aves que receberam TRIC em suas dietas apresentaram maior valor de pH (6,1 vs 5,5; $P = 0,0005$), menor perda por cocção (23,027% vs 28,676%; $P = 0,0005$), maior capacidade de retenção de água (13,161% vs 10,398%; $P = 0,0043$), maior valor de a^* (1,197 vs 0,857; $P = 0,0292$) e de b^* (3,144 vs 2,578; $P = 0,0093$) que aquelas alimentadas com FB. Não houve efeito dos tratamentos para os demais parâmetros avaliados.

Na figura 1 podemos observar que as aves que receberam o TRIC como fonte de P em suas dietas apresentaram carne mais macia em relação as aves alimentadas com FB: menores valores de firmeza (53,367 vs 73,183; $P = 0,0015$) e de mastigabilidade (101,77 vs 136,26; $P = 0,0046$).

Na tabela 5 estão os dados das análises bioquímicas onde observou-se que as aves alimentadas com TRIC apresentaram maiores valores de creatina quinase (6136,8 vs 4110,0; $P = 0,0002$) e fosfatase alcalina (3203,0 vs 1663,6; $P = 0,0344$) comparado as

aves alimentadas com FB. Já para a enzima aspartato aminotransferase, aves que receberam na dieta o FB apresentaram maiores valores (566,6 vs 273; $P = 0,0408$) do que aves alimentadas com TRIC.

Na avaliação de expressão gênica (Figura 2) é possível observar que as aves que receberam o TRIC apresentaram maior expressão do gene *CALB1* em relação as aves que foram alimentadas com FB (0,9458 vs 0,4419; $P = <.0001$).

DISCUSSÃO

Esta pesquisa avaliou uma nova fonte de fósforo (tricinophós) obtida a partir do ácido fosfórico e reações complexas, sendo assim uma fonte com uma molécula de P estável e com alta biodisponibilidade. A maior disponibilidade de fósforo em comparação com outras fontes ocorre porque o P ingerido não sofre interação com o meio intestinal, evitando o antagonismo com outros minerais. Segundo Rostagno (2017), o ácido fosfórico possui maior biodisponibilidade de P do que o FB.

A hipótese levantada para justificar esta pesquisa foi confirmada, já que as aves alimentadas com o TRIC apresentaram resultados semelhantes e até superiores ao FB em avaliações desempenho zootécnico e qualidade da carne. Para o desempenho, as aves alimentadas com dieta contendo TRIC obtiveram resultados semelhantes ao FB, com diferença apenas na fase de crescimento (1-21 dias) para o consumo de ração, onde as aves que consumiram FB apresentaram maior consumo de ração; enquanto os resultados da conversão alimentar foram similares entre os tratamentos utilizados.

Entre os fatores que afetam o apetite das aves, está a diminuição das concentrações de P nas dietas ou no organismo, contribuindo para um menor consumo de ração (Proszkowiec-Weglarz; Angel, 2013; Ribeiro, 2019; Lamp *et al.*, 2020). Foi observado por Aderibigbe *et al.* (2022) que aves com deficiência dietética de P consomem menos

ração. Em trabalho desenvolvido por Omotoso et al. (2023), também foi observado que uma menor concentração de P na dieta de frangos de corte, na fase inicial de crescimento, pode afetar o desenvolvimento animal, resultando em menor peso corporal e consumo de ração. Dessa forma, é possível justificar que o TRIC foi suficiente para atender as demandas nutricionais de P no organismo animal, já que as aves apresentaram conversão alimentar semelhante ao FB.

Ainda não está bem elucidado como o P afeta o consumo de ração, no entanto, ele desempenha funções essenciais para o desenvolvimento animal, como a formação da estrutura óssea, o transporte de energia através do ATP (adenosina trifosfato) (RUNHO *et al.*, 2001). Aves que não têm o sistema esquelético bem formado podem apresentar problemas locomotores, o que afeta diretamente o desempenho das aves, por dificultar a locomoção para chegada aos comedouros. De forma semelhante, pode ocorrer com aves que possuem déficit no transporte de energia.

Além de um desempenho satisfatório, outras características são avaliadas, como a coloração, que pode ser usada como um indicativo de qualidade da carne, assim como a textura e o rendimento da carne (Ding *et al.*, 2021). A coloração dos alimentos está entre os fatores que levam um consumidor a escolher o produto para ser consumido, e na escolha da carne não seria diferente.

Os valores de L^* obtidos no experimento foram semelhantes aos encontrados na literatura. Segundo Fletcher (2002), fatores como idade, sexo, nutrição, tempo de armazenamento e forma de congelamento podem interferir na coloração da carne de frango. Segundo Allen et al. (1998), para que a carne de frango tenha uma boa luminosidade, os valores de L^* devem estar entre 50 e 45. Valores de $L^* > 50$ indicam que a carne está clara, e quando $L^* < 45$ a carne terá uma coloração mais escura. Em trabalho de Qiao et al. (2001), é definido que os valores normais de L^* devem estar entre

46 e 53. Já Barbut et al. (2008) afirmam que um bom valor de luminosidade para carne de aves é de 49 a 50.

O maior valor de a^* para as aves que tinha o TRIC na sua dieta indica que a carne do *pectoralis major* tinha uma maior intensidade da cor vermelha, se comparada com as aves que receberam FB. O maior valor de b^* afirma existe uma coloração de amarelo mais intenso para as aves alimentadas com TRIC.

O pH da carne é também outro parâmetro importante na avaliação da qualidade da carne (Le Bihan-Duval *et al.*, 2008; Soglia *et al.*, 2018). Aves alimentadas com TRIC apresentaram maior valor de pH do que aves alimentadas com FB, justificando assim os melhores resultados de mastigabilidade e firmeza. A maciez da carne pode ser influenciada pelos valores de pH, visto que ele influencia o espaçamento entre as fibras musculares. Quando os valores de pH estão mais baixos, essas fibras musculares tendem a ficar mais próximas, o inverso ocorre quando o valor de pH da carne está mais alto, proporcionando assim uma menor perda de líquido tanto na capacidade de retenção quanto na perda de líquido por cocção (Ramos; Gomide, 2017).

A capacidade de retenção de água está ligada à degeneração muscular, que por sua vez diminui as proteínas actina e miosina, que são proteínas contráteis, afetando assim a ligação entre os músculos e, conseqüentemente, a capacidade de reter água (Patriacci, 2014).

O nível de Ca na corrente sanguínea e nos músculos é importante por estar ligado à contração muscular, influenciando assim na maciez da carne. Essa contração muscular potencializada realiza um maior gasto das reservas energéticas da carne, o que contribui para uma carne mais macia (Sanfelice, 2012).

O Ca também desempenha um papel crucial na regulação das enzimas proteolíticas, como a calpaína, que é responsável por degradar proteínas como nebulina,

titina e desmina, responsáveis pelo amaciamento da carne (Whipple; Koohmaraie, 1993). Segundo Yang; Jiang (2005), a maciez da carne interfere nas características sensoriais de firmeza e mastigabilidade. Como podemos observar, o TRIC é responsável por influenciar na maciez da carne, já que apresentou carnes com melhor mastigabilidade e firmeza, e uma menor perda por cocção se comparado com aves que foram alimentadas com FB.

Com base nas análises bioquímicas é observado que as aves que foram alimentadas com FB apresentaram maior atividade das enzimas aspartato aminotransferase (TGO), e aves alimentadas com TRIC apresentaram maior atividade das enzimas creatina quinase (CK) e fosfatase alcalina (FA), sendo sugestivo com base nos dados encontrados lesão hepática e muscular. Valores acima de 275 UI/L pode ser um indicativo de lesão hepática ou muscular, para descartar ou afirmar a lesão hepática é utilizado uma enzima muscular específica que é a creatina quinase (CK) (Schmidt *et al.*, 2007; Campbell *et al.*, 2012).

A fosfatase alcalina também pode ser utilizada para observação de danos hepáticos, sendo caracterizado essas lesões hepáticas por meio do aumento da concentração da fosfatase alcalina na corrente sanguínea (Tennant, 1997; Thrall *et al.*, 2007). Apesar do indicativo do dano muscular e hepático causado pelo TRIC devido aos valores encontrados com maior atividade de CK e FA não foram observados os efeitos deletérios em desempenho animal e na qualidade da carne das aves.

Nos resultados de análise de expressão gênica foi observado que aves alimentadas com TRIC apresentaram uma maior expressão gênica do gene *CALB1*. Esse gene tem sua expressão em todo o intestino delgado das aves, sendo responsável por se expressar no citoplasma das células localizadas na superfície apical dos enterócitos vilosos (Han *et al.*, 2022). A *CALB1* é responsável por realizar o transporte de Ca e facilitar a entrada dele

na superfície apical e na basolateral da célula (Hoenderop *et al.*, 2005). A maior expressão do gene *CALB1* para aves alimentadas com TRIC pode ser um indicativo de diminuição da concentração de cálcio no organismo animal, a maior expressão do transportado *CALB1* ocorre na tentativa de fazer a maior absorção de Ca disponível.

Diversos trabalhos encontrados na literatura afirmam que quando há um aumento nas concentrações de Ca no organismo animal, a expressão da *CALB1* diminui, e quando ocorre o inverso, há uma maior expressão em região de duodeno e jejuno (Bar *et al.*, 1990; Rousseau *et al.*, 2016; Kiani; Taheri, 2020). Em trabalho desenvolvido por Han et al. (2022) ele também afirma por meios de seus dados que uma menor quantidade de Ca ofertado aumentou a expressão do gene *CALB1* em região de jejuno de frango de corte, e que o aumento da quantidade de Ca ofertado na ração dos frangos diminuiu a expressão.

Em trabalho desenvolvido por Hu et al. (2018), é confirmado que o gene *SLC34A2* não é o único transportador de P, existindo também os transportadores *SLC20A1* e *SLC20A2* no intestino delgado das aves. No entanto, o *SLC34A2* nos segmentos do intestino delgado é responsável pelo maior transporte de P (Xu *et al.*, 2002; Huber *et al.*, 2016). De acordo com Hurwitz; Bar (1970) e Xue et al. (2016), é no segmento de jejuno que ocorre a maior absorção de P.

Os dois tratamentos apresentaram resultados semelhantes para a expressão de genes transportadores de P. Alguns pesquisadores afirmam que quando as dietas ofertam menores quantidades de fósforo disponível, a expressão dos transportadores de P aumenta, na tentativa de realizar a máxima absorção de P (Rousseau *et al.*, 2016; Hu *et al.*, 2018; Knöpfel *et al.*, 2019).

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados desse trabalho as aves alimentadas com dieta contendo TRIC apresentaram desempenho semelhante ou superior ao FB, além de uma carne com maior maciez, melhor mastigabilidade, elasticidade e com menores perdas de líquido no cozimento, maior retenção de líquido.

REFERÊNCIAS

- Aguirre, M. E., et al. (2018). Descriptive sensory and instrumental texture profile analysis of woody breast in marinated chicken. *Poultry Science*, 97(4), 1456-1461.
- Allen, C. D., et al. (1998). The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poultry Science*, 77(2), 361-366.
- Bar, A., et al. (1990). Modulation of chick intestinal and renal calbindin gene expression by dietary vitamin D3, 1, 25-dihydroxyvitamin D3, calcium and phosphorus. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 72(1), 23-31.
- Barbut, S., et al. (2008). Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *Meat Science*, 79(1), 46-63.
- Bridi, A. M., & Silva, C. da. (2009). Avaliação da carcaça. *Avaliação da carne suína*. Londrina: Midiograf, 1-15.
- Caldas-Cueva, J. P., Mauromoustakos, A., & Owens, C. M. (2021). Instrumental texture analysis of chicken patties prepared with broiler breast fillets exhibiting woody breast characteristics. *Poultry Science*, 100(2), 1239-1247.
- Caldas-Cueva, J. P., & Owens, C. M. (2020). A review on the woody breast condition, detection methods, and product utilization in the contemporary poultry industry. *Journal of Animal Science*, 98(8), skaa207.
- Campbell, T. W., et al. (2012). *Veterinary hematology and clinical chemistry* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Casey, A., & Walsh, G. (2004). Identification and characterization of a phytase of potential commercial interest. *Journal of Biotechnology*, 110(3), 313-322.
- Chang, W., et al. (2008). The extracellular calcium-sensing receptor (CaSR) is a critical modulator of skeletal development. *Science Signaling*, 1(35), ra1-ra1.
- Dalle Zotte, A., et al. (2017). Effect of "wooden breast" appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. *Czech Journal of Animal Science*, 62(2), 51-57.
- Dilelis, F., et al. (2020). Digestible phosphorus of ingredients for poultry: methodologies and news. *Research, Society and Development*, 9(7), e915974543.
- Ding, Y., et al. (2021). Effects of feeding fermented mulberry leaf powder on growth performance, slaughter performance, and meat quality in chicken broilers. *Animals*, 11(11), 3294.
- Faria Filho, D. E. et al. (2002). Avaliação da farinha de carne e ossos na alimentação de frangos de corte. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 4(1), 1-9.

- Fletcher, D. L. (2002). Poultry meat quality. *World's Poultry Science Journal*, 58(2), 131-145.
- Garcia, R. G., et al. (2010). Incidência e propriedades físicas da carne de frango PSE em uma planta de processamento comercial. *Revista Brasileira de Avicultura*, 12, 233-237.
- Gewehr, C. E., et al. (2023). Meat quality of broiler chickens submitted to different times of pre-slaughter fasting. *Semina: Ciência Agrária*, 44(4), 1429-1440.
- Glória, L. J. A., et al. (2024). Utilização de tenébrio molitor como fonte proteica para a alimentação de aves. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, 2(1).
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 10, 355-463.
- Han, J. C., et al. (2022). Dietary calcium levels regulate calcium transporter gene expression levels in the small intestine of broiler chickens. *British Poultry Science*, 63(2), 202-210.
- Harris, D. L. (1970). Breeding for efficiency in livestock production: defining the economic objectives. *Journal of Animal Science*, 30(6), 860-865.
- Hoenderop, J. G. J., Nilius, B., & Bindels, R. J. M. (2005). Calcium absorption across epithelia. *Physiological Reviews*, 85, 373-422.
- Hu, Y., et al. (2018). Phosphorus absorption and gene expression levels of related transporters in the small intestine of broilers. *British Journal of Nutrition*, 119(12), 1346-1354.
- Huber, K., Zeller, E., & Rodehutsord, M. (2015). Modulation of small intestinal phosphate transporter by dietary supplements of mineral phosphorus and phytase in broilers. *Poultry Science*, 94(5), 1009-1017.
- Hurwitz, S., & Bar, A. (1970). The sites of calcium and phosphate absorption in the chick. *Poultry Science*, 49(1), 324-325.
- Instituto Adolfo Lutz. (1985). *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz* (3rd ed., Vol. 1). IMESP.
- Júnior, J. P. F., et al. (2013). Exigência de cálcio e fósforo para poedeiras leves em todas as fases de criação e “ciclos de produção. *Revista eletrônica nutritime*, 10(4), 2583-2626.
- Khaksefidi, A., & Rahimi, S. (2005). Effect of probiotic inclusion in the diet of broiler chickens on performance, feed efficiency and carcass quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(8), 1153-1156.
- Kiani, A., & Taheri, H. R. (2020). Effect of constant 2:1 calcium to non-phytate phosphorus ratio over a range of concentrations during starter-grower and finisher phases on performance of broiler chicken. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114473.

- Knöpfel, T., et al. (2019). Paracellular transport of phosphate along the intestine. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 317(2), 233-241.
- Kranjac, D., et al. (2018). Outlook on EU and Croatian poultry meat market-Partial equilibrium model approach. *World's Poultry Science Journal*, 75(1), 93-104.
- Lamp, A. E., et al. (2020). Inorganic feed phosphate type determines mineral digestibility, broiler performance, and bone mineralization. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(3), 559-572.
- Lana, G. R. Q. (2000). *Avicultura*. São Paulo: Rural.
- Le Bihan-Duval, E., et al. (2008). Chicken meat quality: genetic variability and relationship with growth and muscle characteristics. *BMC Genetics*, 9, 1-6.
- Livingston, M. L., et al. (2019). White striping and wooden breast myopathies of broiler breast muscle is affected by time-limited feeding, genetic background, and egg storage. *Poultry Science*, 98(1), 217-226.
- Macari, M., Furlan, R. L., & Gonzales, E. (2002). *Fisiologia Aviária Aplicada a Frangos de Corte* (2nd ed., pp. 113-123). Jaboticabal: Editora FUNEP/UNESP.
- Manyeula, F., et al. (2020). Partial replacement of soybean products with canola meal in indigenous chicken diets: size of internal organs, carcass characteristics and breast meat quality. *Poultry Science*, 99(1), 256-262.
- Nie, W., et al. (2018). Effects of dietary phosphorous supplementation on laying performance, egg quality, bone health and immune responses of laying hens challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(9), 53.
- Nunes, R. V., et al. (2006). Efeito dos teores de cálcio para poedeiras semipesadas durante a fase de pré-postura e no início da postura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 2007-2012.
- Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E., & Cavani, C. (2014). Effect of White Striping on Chemical Composition and Nutritional Value of Chicken Breast Meat. *Italian Journal of Animal Science*, 13(1), 31-38.
- Proszkowiec-Weglarz, M., et al. (2019). Effect of early neonatal development and delayed feeding post-hatch on jejunal and ileal calcium and phosphorus transporter genes expression in broiler chickens. *Poultry Science*, 98(2), 551-563.
- Proszkowiec-Weglarz, M., & Angel, R. (2013). Calcium and phosphorus metabolism in broilers: effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(3), 609-627.
- Rafacz-Livingston, K. A., & Angel, R. (2007). Developmental changes in phosphorus homeostasis in broilers. *Poultry Science*, 86(8), 1731-1739.

- Ravindran, V., et al. (2000). Total and phytate phosphorus contents of various foods and feedstuffs of plant origin. *Food Chemistry*, 79(4), 485-491.
- Rocha, T. S., et al. (2013). Effects of crude glycerin levels in diets for broilers on growth performance, serum metabolites and meat quality. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 15(1), 31-36.
- Rodehutsord, M., et al. (2002). Inositol phosphate degradation in the crop of geese, turkeys and ducks. *British Poultry Science*, 43(4), 566-573.
- Rostagno, H. S., et al. (2005). *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos: Composición de Alimentos y Requisitos Nutricionales* (2nd ed., Vol. 2). Viçosa: UFV.
- Scheuermann, G. N., et al. (2003). Muscle growth and meat quality characteristics in broilers. *World's Poultry Science Journal*, 59(3), 221-231.
- Sharma, K., & Burmester, B. R. (1982). The role of vitamins in production and reproduction of poultry. *World's Poultry Science Journal*, 38(4), 246-258.
- Silva, D. J., & Queiroz, A. C. (2002). *Análise de Alimentos: Métodos Químicos e Biológicos* (3rd ed.). Viçosa: UFV.
- Sikandar, A., et al. (2017). Phytase supplementation to low phosphorus diets improves performance, bone mineralization, and alters the activity of intestinal enzymes and serum metabolites in broilers. *Poultry Science*, 96(4), 652-660.
- Sklan, D., et al. (1978). Calcium absorption along the gastrointestinal tract of the chick: effect of vitamin D and calcium. *The Journal of Nutrition*, 108(1), 45-48.
- Souza, X. R. de, et al. (2019). Substituição parcial de farelo de soja por farelo de canola na alimentação de frangos caipiras. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 20(2), 254-263.
- Steenfeldt, S., et al. (2007). The effect of dietary phosphorus level and phytase supplementation on performance and utilization of phosphorus, calcium, and crude protein in broilers. *Poultry Science*, 86(6), 1090-1096.
- Suhre, M. H., et al. (2021). Desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dietas contendo óleo de palma e óleo de linhaça. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 73(1), 93-100.
- Tizzani, A., et al. (2021). Características de carcaça e qualidade de carne de frangos de corte alimentados com dietas contendo canola em diferentes formas de processamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50, e20200062.
- Tomazelli, J. P. da S., et al. (2016). The influence of dietary calcium and phosphorus balance on performance, bone, and blood parameters in broilers. *Poultry Science*, 95(11), 2545-2553.

Vieira, S. L., et al. (2019). Effect of dietary calcium and phosphorus levels on broiler performance and their utilization. *Poultry Science*, 98(2), 1978-1986.

Wang, X., et al. (2018). Effects of dietary non-phytate phosphorus levels on growth performance, plasma metabolites, and bone status in broiler chickens from 22 to 42 days of age. *British Poultry Science*, 59(3), 259-266.

Wilson, H. R., et al. (1996). Phytase supplementation of diets for broilers: effects on performance, bone traits, and phosphorus excretion. *Poultry Science*, 75(7), 849-855.

Zhai, S. W., et al. (2020). Effects of dietary calcium levels on growth performance, tibia mineralization, and expressions of calcium and phosphorus transporters in the small intestine of broilers. *Poultry Science*, 99(11), 5492-5500

Tabela 1 - Dietas experimentais fornecidas para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade com diferentes fontes de P

Ingredientes	Dietas							
	1 a 7d		8 a 21d		22 a 35d		36 a 42	
	FB	TRIC	FB	TRIC	FB	TRIC	FB	TRIC
Milho 7,86 TB	608,0	614,3	627,4	633,1	682,4	687,6	695,6	699,9
Farelo de Soja 46 TB	347,0	346,0	324,0	323,0	270,0	269,0	253,0	252,0
Óleo de Soja	10,0	8,0	18,0	16,0	20,0	18,0	25,0	24,0
Fosf Bic 24,5/18,5	11,6	0,0	9,9	0,0	7,9	0,0	7,5	0,0
TRIC EP 300 Conc SF	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50
Calcário Fino 38	9,0	17,0	8,0	15,0	7,5	13,0	7,5	12,5
Sal	4,71	4,41	4,46	4,16	4,48	4,18	4,23	3,93
DL-Metionina 99	3,38	3,37	3,09	3,08	2,85	2,85	2,61	2,60
L-Lisina HCl 78	2,71	2,73	2,28	2,29	2,27	2,28	2,17	2,18
L-Treonina 98	1,09	1,09	0,49	0,49	0,32	0,32	0,25	0,25
Cloreto Colina 60 52	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Fitase ¹	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Premix Aves Produção ²	1,70	1,70	1,50	1,50	1,40	1,40	1,30	1,30
Batida Total	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Energia Metabolizável	3000	3000	3080	3080	3150	3150	3200	3200
Proteína Bruta	21,7	21,7	20,7	20,7	18,6	18,6	17,9	17,9
Arginina Digestível	1,321	1,320	1,254	1,253	1,101	1,101	1,051	1,051
Lisina Digestível	1,240	1,240	1,150	1,150	1,020	1,020	0,970	0,970
Metionina Digestível	0,628	0,627	0,589	0,588	0,543	0,542	0,511	0,511
Metionina + Cistina Dig	0,920	0,920	0,870	0,870	0,800	0,800	0,760	0,760
Treonina Digestível	0,835	0,835	0,745	0,745	0,660	0,660	0,630	0,630
Triptofano Digestível	0,243	0,243	0,231	0,230	0,202	0,202	0,193	0,193
Isoleucina Digestível	0,826	0,826	0,786	0,786	0,696	0,695	0,666	0,666
Valina Digestível	0,890	0,890	0,850	0,850	0,760	0,760	0,730	0,730
Gordura Bruta	4,315	4,101	5,129	4,947	5,329	5,186	5,872	5,736
Fibra Bruta	2,541	2,548	2,475	2,481	2,340	2,344	2,288	2,293
Cinzas	4,809	4,446	4,450	4,140	3,933	3,684	3,794	3,557
Cálcio	0,950	0,950	0,870	0,870	0,780	0,780	0,760	0,760
Fósforo Total	0,711	0,748	0,671	0,739	0,615	0,720	0,601	0,713
Fósforo Disponível	0,470	0,506	0,435	0,502	0,390	0,494	0,380	0,491
Fósforo Fítico	0,241	0,242	0,236	0,237	0,225	0,226	0,221	0,222
Sódio	0,200	0,200	0,190	0,190	0,190	0,190	0,180	0,180
Potássio	0,831	0,831	0,794	0,795	0,713	0,714	0,686	0,686
Balanço Eletrolítico	208	208	199	199	174	174	166	166
Colina	1504	1506	1470	1472	1397	1398	1370	1372

¹ HiPhos M 20g 0,146 P (35 kcal+PB+AA ; ² Premix vitamínico e Mineral: Ácido fólico 900 mg, pantotenato de cálcio 10 g, vitamina A 7.000.000 UI, vitamina B1 1.500 mg, vitamina B12 12.500 mcg,

vitamina B2 5.500 mg, vitamina B6 1.600 mg, vitamina D3 2.500.000 UI, vitamina E 18.000 UI, niacina 32,5 g, vitamina K3 1.000 mg, biotina 50 mg. Ferro 60g, cobre 13 g, zinco 100 g, manganês 120 g, Iodo 2,500 mg, selênio 500 mg, veículo q.s.p. 1000g.

Tabela 2 - Sequência de primers utilizados para RT-qPCR para avaliar expressão gênica de transportadores de Ca e P em jejuno de frangos de cortes com 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P

Genes	pb ¹	Número de acesso	Sequência do primer 5'→3'
<i>SLC20A1</i>	95	ENSGALG00000013740	F: CTCTCGTCGTCTGGTTCTTTG R: CTTCTCCATCAGCGGACTTTC
<i>SLC20A2</i>	161	ENSGALG00000038336	F: TGCTGCTACCATGCTATTAACG R: TTCTCTTCATCCAGGGGCATAC
<i>SLC34A2</i>	170	ENSGALG00000014372	F: CTGATCTTGCCATCGGTCTC R: TCCAGCCAGCCAAGTAAAAG
<i>TRPV4</i>	112	NM_204692.2	F: AGCAAGATTGAGAACCGCCATGAG R: AGGAGACCACGCTGATGTAGAAGG
<i>CALB1</i>	187	NM_205513.1	F: AGATCTGGCACCACACTACGAC R: TGAGCAAGCTCAACGATTTCCT
<i>CLDN2</i>	121	NM_001277622.1	F: CAACTGGAAGATCAGCTCCT R: TGTAGATGTCGCACTGAGTG
<i>OCN</i>	123	D21837.1	F: ACGGCAGCACCTACCTCAA R: GGGCGAAGAAGCAGATGAG
<i>β-actina</i>	136	L08165.1	F: ACCCCAAAGCCAACAGA R: CCAGAGTCCATCACAATACC

[†]*SLC20A1*, família de transportadores de soluto 20 membro 1; *SLC20A2*, família de transportadores de soluto 20 membro 2; *SLC34A2*, família de transportadores de soluto 34 membro 2; *TRPV4*, subfamília V do canal de cátions de potencial receptor transitório 4; *CALB1*, calbidina 1; *CLDN2*, claudina 2; *OCN*, ocludina.¹pb, pares de bases.

Tabela 3 - Desempenho zootécnico de frangos de corte em diferentes fases de crescimento alimentados com diferentes fontes de P

Trat.	Ganho de Peso, g			Consumo de ração, g			Conversão Alimentar, g/g		
	1 a 7	1 a 21	1 a 42	1 a 7	1 a 21	1 a 42	1 a 7	1 a 21	1 a 42
FB	144,4	1000,2	2951,7	177,6	1432,6 ^a	4928,1	1,229	1,432	1,669
TRIC	142,7	992,4	2962,4	177,9	1371,1 ^b	4902,3	1,244	1,382	1,654
Anova¹									
P,value	0,481	0,480	0,732	0,908	0,021	0,087	0,441	0,076	0,467
EPM	1,735	7,667	28,573	1,911	17,893	74,162	0,014	0,019	0,015

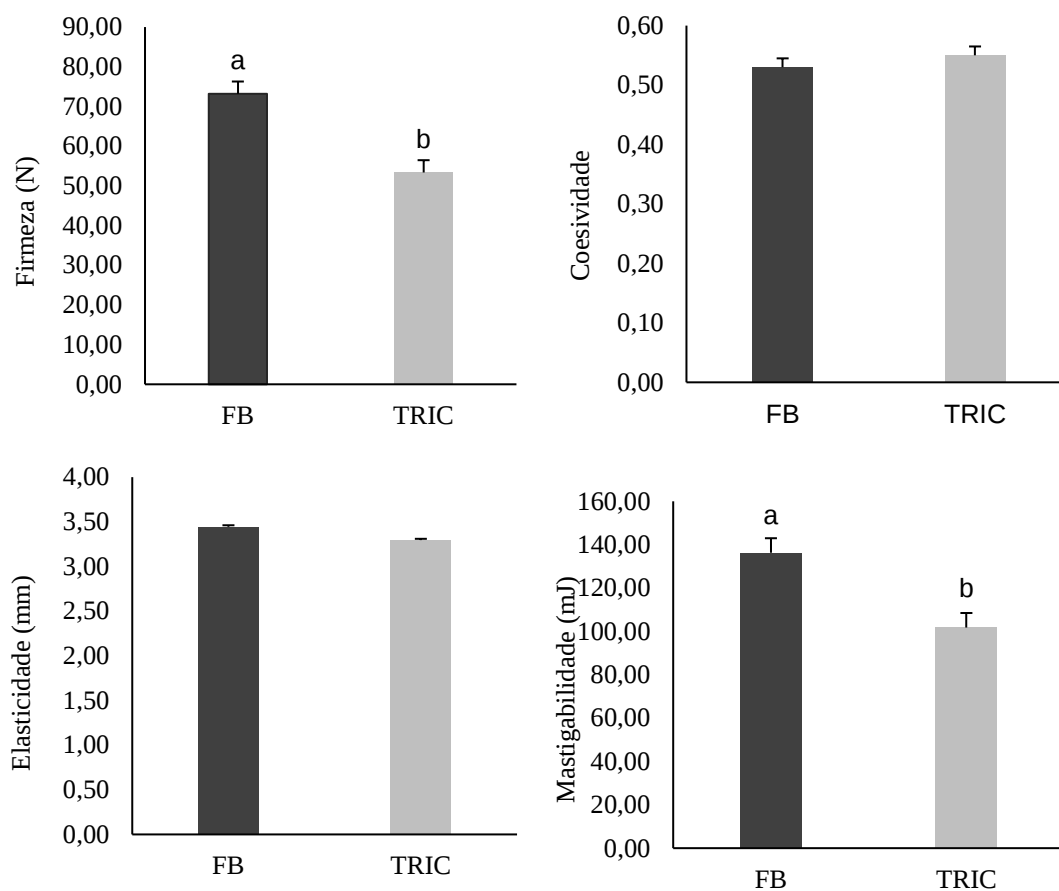
¹a,b = presença de letras diferentes entre tratamentos representa diferença estatística significativa entre as médias; P, Value - significância entre os tratamentos; DPM = Erro padrão médio; FB - Fosfato bicálcico; TRIC – Tricinophós; TRAT – Tratamneto.

Tabela 4 - Avaliação de parâmetros da qualidade de carne de frango de corte aos 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P

Tratamento	Variável						
	PD (%)	PC (%)	CRA (%)	pH	L*	a*	b*
FB	9,682	28,675 ^a	10,398 ^b	5,554 ^b	47,702	0,857 ^b	2,578 ^b
TRIC	9,810	23,027 ^b	13,161 ^a	6,148 ^a	47,817	1,197 ^a	3,144 ^a
Anova¹							
P.value	0,9340	0,0005	0,0043	0,0005	0,8415	0,0292	0,0093
EPM	0,9333	0,8506	0,5281	0,0796	0,3333	0,08402	0,1283

¹ a,b = presença de letras diferentes entre tratamentos representa diferença estatística significativa entre as médias; P.value - significância entre os tratamentos; SEM = Erro Padrão da Média; PD – Perda por descongelamento; PC - Perda por cocção; CRA – Capacidade de retenção de água; L* Luminosidade; - a* - Vermelho ao azul; b* - Amarelo ao verde; FB - Fosfato bicálcico; TRIC – Tricinophós.

Figura 1 - Análises de firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade do músculo *pectoralis major* de frangos de corte aos 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P



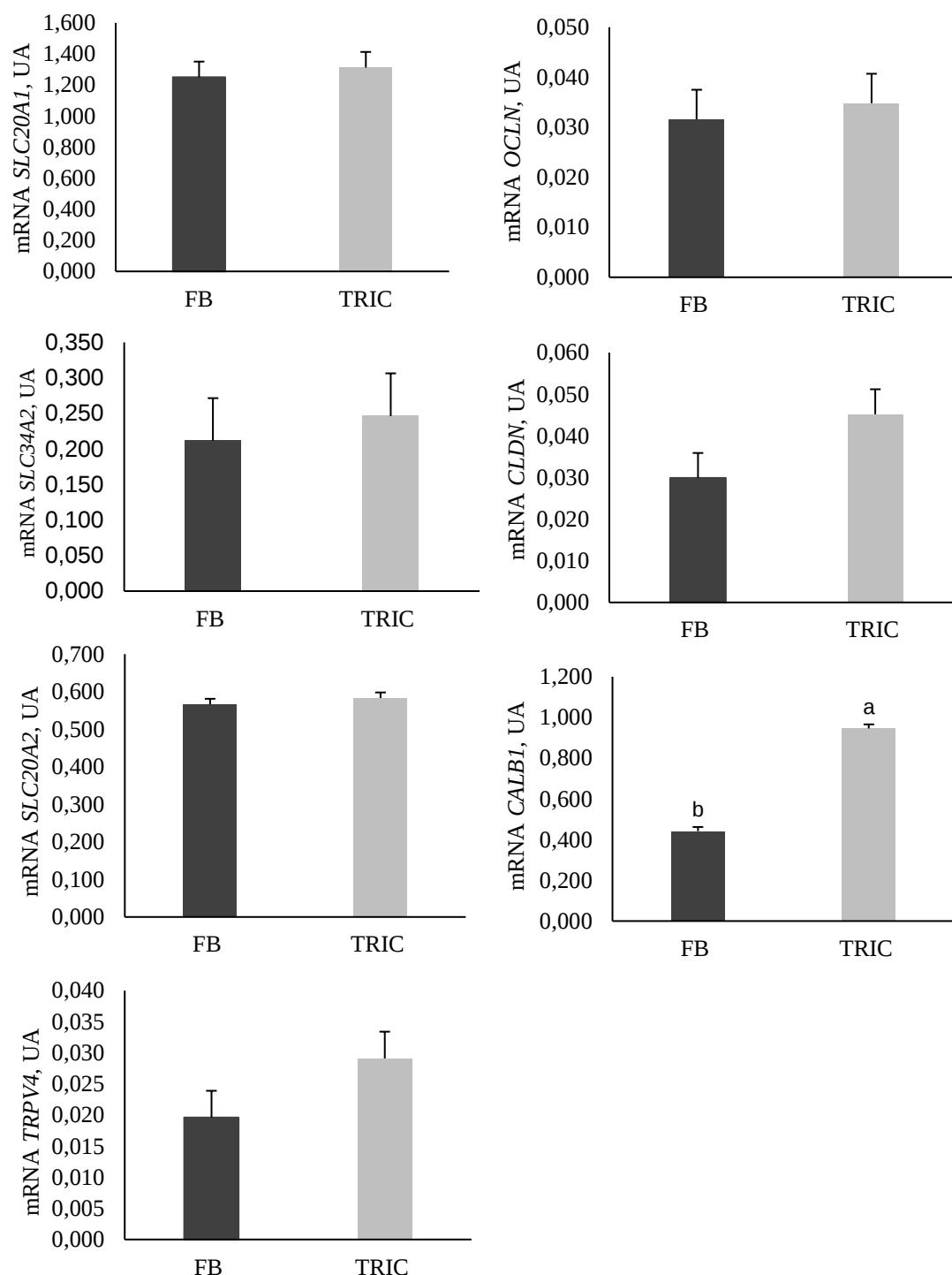
¹ a,b = presença de letras diferentes entre tratamentos representa diferença estatística significativa entre as médias; P.value - significância entre os tratamentos; Firmeza P.value = 0.0015; Elasticidade P.value = 0.1940; Coesividade P.value = 0.3663; Matigabilidade P.value = 0.0046; FB - Fosfato bicálcico; TRIC – Tricinophós;

Tabela 5 - Análises bioquímicas em soro de frango de corte aos 42 dias de idade alimentados com diferentes fontes de P

Tratamento	Bioquímicos								
	FOS (mg/dl)	CA (mg/dl)	CK (U/l)	ALB (g/dl)	FA (U/l)	TGO (U/l)	TGP (U/l)	TRIG (mg/dl)	COLES (mg/dl)
FB	2,8	5,0	4110,0 ^b	1,4	1663,6 ^b	563,6 ^a	6,4	50,2	130,0
TRIC	3,2	5,6	6136,8 ^a	1,6	3203,0 ^a	273,3 ^b	6,2	62,2	137,2
Anova ¹									
P.value	0,2393	0,3113	0,0002	0,0616	0,0344	0,0408	0,2424	0,2424	0,5710
EPM	0,2387	0,3943	201,6970	0,0571	414,7171	81,9224	1,2902	6,6631	8,6123

¹ a,b = presença de letras diferentes entre tratamentos representa diferença estatística significativa entre as médias; P.value - significância entre os tratamentos; FOS - Fósforo; CA - Cálcio; CK - Creatina quinase; ALB - Albumina; FA - Fosfatase alcalina; AST - Aspartato Aminotransferase; ALT - Alanina Aminotransferase; TRIG - Triglicerídeos; COLES - Colesterol; FB - Fosfato bicálcico; TRIC – Tricinophós.

Figura 2 - Análise de expressão gênica de transportadores de Ca e P em jejuno de frangos de corte alimentados com diferentes fontes de P



¹ a,b = presença de letras diferentes entre tratamentos representa diferença estatística significativa entre as médias; P.value - significância entre os tratamentos; *SLC20A1* P.value = 0,4582 ; *SLC20A2* P.value = <,0001; *SLC34A2* P.value = 0,2923; *TRPV4* P.value = 0,3348; *CALB1* P.value = 0,021; *CLDN2* P.value = 0,2291; *OCLN* P.value = 0,9211; *SLC20A1*, família de transportadores de soluto 20 membro 1; *SLC20A2*, família de transportadores de soluto 20 membro 2; *SLC34A2*, família de transportadores de soluto 34 membro 2; *TRPV4*, subfamília V do canal de cátions de potencial receptor transitório 4; *CALB1*, calbidina 1; *CLDN2*, claudina 2; *OCLN*, ocludina. FB - Fosfato bicálcico; TRIC – Tricinophós

APÊNDICES

Normas do periódico Poultry Science

Submission

All manuscripts are submitted and reviewed via the journal's Editorial Manager manuscripts submission site at <https://www.editorialmanager.com/psj>. New authors should create an account prior to submitting a manuscript for consideration.

The submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details (please note that co-corresponding authors are not allowed):

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Figure legends
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided

Figure files (figures must be uploaded as separate files, not embedded in the manuscript)

Supplemental files (where applicable)

Conflict of Interest statement

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'

- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

Pre-Submission Language Editing

Please write your text in good English (American usage). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services

Role Of The Funding Source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Role Of The Funding Source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

The Use And Declaration Of Ai And Ai-Assisted Technologies I

Where authors use artificial intelligence (AI) and AI-assisted technologies in the writing process, authors should:

- Only use these technologies to improve readability and language, not to replace key researcher tasks such as interpreting data or drawing scientific conclusions.
- Apply the technology with human oversight and control, and carefully review and edit the result, as AI can generate authoritative-sounding output that can be incorrect, incomplete or biased.

- Not list AI and AI-assisted technologies as an author or co-author, or cite AI as an author. Authorship implies responsibilities and tasks that can only be attributed to and performed by humans, as outlined in Elsevier's [AI policy for authors](#).
- Disclose in their manuscript the use of AI and AI-assisted technologies in the writing process by following the instructions below. A statement will appear in the published work. Please note that authors are ultimately responsible and accountable for the contents of the work.

Disclosure instructions

Authors must disclose the use of AI and AI-assisted technologies in the writing process by adding a statement at the end of their manuscript in a new section entitled 'Declaration of AI and AI-assisted technologies in the writing process.' *Statement: During the preparation of this work the author(s) used [NAME TOOL / SERVICE] in order to [REASON]. After using this tool/service, the author(s) reviewed and edited the content as needed and take(s) full responsibility for the content of the publication.* This declaration does not apply to the use of basic tools for checking grammar, spelling, references etc. If there is nothing to disclose, there is no need to add a statement.

Manuscript Formatting

General

Papers must be written in English. The text and all supporting materials must use American spelling and usage as given in The American Heritage Dictionary, Webster's Third New International Dictionary, or the Oxford American English Dictionary. Authors should follow the style and form recommended in Scientific Style and Format: The CSE Manual for Authors, Editors, and Publishers. 2006. 7th ed. Style Manual Committee, Council of Science Editors, Reston, VA.

Preparing the manuscript file

Manuscripts should be typed double-spaced, with lines and pages numbered consecutively, using Times New Roman font at 12 points. All special characters (e.g., Greek, math, symbols) should be inserted using the symbols palette available in this font. Please submit math equations as editable text and not as images. Tables and figure legends should be placed in a separate section at the end of the manuscript (not placed within the text). Figure files should be uploaded as separate files (not embedded in the manuscript).

Use of word-processing software:

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only

one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also [the Guide to Publishing with Elsevier](#)). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Headings

Major headings

Major headings are centered (except ABSTRACT), all capitals, boldface, and consist of ABSTRACT, INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION (or RESULTS AND DISCUSSION), ACKNOWLEDGMENTS (optional), and REFERENCES.

First subheadings

First subheadings are placed on a separate line, begin at the left margin, the first letter of all important words is capitalized, and the headings are boldface and italic. Text that follows a first subheading should be in a new paragraph.

Second subheadings

Second subheadings begin the first line of a paragraph. They are indented, boldface, italic, and followed by a period. The first letter of each important word should be capitalized. The text follows immediately after the final period of the subheading.

Title Page

The title page shall begin with a running head (short title) of not more than 45 characters. The running head is centered, is in all capital letters, and shall appear on the top of the title page. No abbreviations should be used.

The title of the paper must be in boldface; the first letter of the article title and proper names are capitalized, and the remainder of the title is lowercase. The title must not have abbreviations.

Under the title, names of authors should be typed (first name or initial, middle initial, last name). Affiliations will be footnoted using the following symbols: *, †, ‡, §, #, ||, and be placed below the author names. Do not give authors' titles, positions, or degrees. Numbered footnotes may be used to provide supplementary information, such as present address, acknowledgment of grants, and experiment station or journal series number. The corresponding author should be indicated with a numbered footnote (e.g., Corresponding

author: name@university.edu). Note: *Poultry Science* allows a single corresponding author; co-corresponding authors are not permitted.

In some instances, the first two authors of a manuscript may be designated as equal contributors. However, the corresponding author should be prepared to justify such designation, if asked by the editorial staff. More than two equal contributors is not permitted under any circumstance.

Note that there is no period after the corresponding author's e-mail address. The title page shall include the name and full address of the corresponding author. Telephone numbers and e-mail address must also be provided. The title page must indicate the appropriate scientific section for the paper (i.e., Animal Well-Being and Behavior; Genetics and Genomics; Immunology, Health and Disease; Metabolism and Nutrition; Molecular and Cellular Biology; Physiology and Reproduction; Processing and Products; Microbiology and Food Safety; Management and Production).

Abbreviations

Author-derived abbreviations should be defined at first use in the abstract and again in the body of the manuscript. The abbreviation will be shown in bold type at first use in the body of the manuscript. Refer to the Miscellaneous Usage Notes for more information on abbreviations.

Abstract

The Abstract disseminates scientific information through abstracting journals and through convenience for the readers. The Abstract, consisting of not more than 325 words, appears at the beginning of the manuscript with the word ABSTRACT without a following period. It must summarize the major objectives, methods, results, conclusions, and practical applications of the research. The Abstract must consist of complete sentences and use of abbreviations should be limited. References to other work and footnotes are not permitted. The Abstract and Key Words must be on a separate sheet of paper.

Key Words

The Abstract shall be followed by a maximum of five key words or phrases to be used for subject indexing. These should include important words from the title and the running head and should be singular, not plural, terms (e.g., broiler, not broilers). Key words should be formatted as follows: Key words: . . .

Article Structure

Introduction

The Introduction, while brief, should provide the reader with information necessary for understanding research presented in the paper. Previous work on the topic should be summarized, and the objectives of the current research must be clearly stated.

Materials and methods

All sources of products, equipment, and chemicals used in the experiments must be specified parenthetically at first mention in text, tables, and figures [i.e., (model 123, ABC Corp., Provo, UT)]. Model and catalog numbers should be included. Information shall include the full corporate name (including division, branch, or other subordinate part of the corporation, if applicable), city, and state (country if outside the United States), or Web address. Street addresses need not be given unless the reader would not be able to determine the full address for mailing purposes easily by consulting standard references.

Age, sex, breed, and strain or genetic stock of animals used in the experiments shall be specified. Animal care guidelines should be referenced if appropriate.

Results and discussion

Results and Discussion sections may be combined, or they may appear in separate sections. If separate, the Results section shall contain only the results and summary of the author's experiments; there should be no literature comparisons. Those comparisons should appear in the Discussion section. Manuscripts reporting sequence data must have GenBank accession numbers prior to submitting. One of the hallmarks for experimental evidence is repeatability. Care should be taken to ensure that experiments are adequately replicated. The results of experiments must be replicated, either by replicating treatments within experiments or by repeating experiments.

Acknowledgements

An Acknowledgments section, if desired, shall follow the Discussion section. Acknowledgments of individuals should include affiliations but not titles, such as Dr., Mr., or Ms. Affiliations shall include institution, city, and state.

References

Citations in text

In the body of the manuscript, refer to authors as follows: Smith and Jones (1992) or Smith and Jones (1990, 1992). If the sentence structure requires that the authors' names be included in parentheses, the proper format is (Smith and Jones, 1982; Jones, 1988a,b; Jones et al., 1993). Where there are more than two authors of one article, the first author's name is followed by the abbreviation et al. More than one article listed in the same sentence of text must be in chronological order first, and alphabetical order for two publications in the same year. Work that has not been accepted for publication shall be listed in the text as: "J. E. Jones (institution, city, and state, personal communication)." The author's own unpublished work should be listed in the text as "(J. Smith, unpublished data)." Personal communications and unpublished data must not be included in the References section.

References section

To be listed in the References section, papers must be published or accepted for publication. Manuscripts submitted for publication can be cited as "personal communication" or "unpublished data" in the text.

In the References section, references shall first be listed alphabetically by author(s)' last name(s), and then chronologically. The year of publication follows the authors' names. As with text citations, two or more publications by the same author or set of authors in the same year shall be differentiated by adding lowercase letters after the date. The dates for papers with the same first author that would be abbreviated in the text as et al., even though the second and subsequent authors differ, shall also be differentiated by letters. All authors' names must appear in the Reference section. Journals shall be abbreviated according to the conventional ISO abbreviations given in journals database of the National Library of Medicine. One-word titles must be spelled out. Inclusive page numbers must be provided. Sample references are given below. Consult recent issues of *Poultry Science* for examples not included below.

N.B. - The online version of Poultry Science uses a reference format that differs from that prescribed by the journal. The Guide for Authors is the sole source for the reference format. Any papers that do not follow this format risk rejection.

Article:

Bagley, L. G., and V. L. Christensen. 1991. Hatchability and physiology of turkey embryos incubated at sea level with increased eggshell permeability. *Poult. Sci.* 70:1412-1418.

Bagley, L. G., V. L. Christensen, and R. P. Gildersleeve. 1990. Hematological indices of turkey embryos incubated at high altitude as affected by oxygen and shell permeability. *Poult. Sci.* 69:2035- 2039.

Witter, R. L., and I. M. Gimeno. 2006. Susceptibility of adult chickens, with and without prior vaccination, to challenge with Marek's disease virus. *Avian Dis.* 50:354-365. doi:10.1637/7498-010306R.1

Book:

Metcalfe, J., M. K. Stock, and R. L. Ingermann. 1984. The effects of oxygen on growth and development of the chick embryo. Pages 205- 219 in *Respiration and Metabolism of Embryonic Vertebrates*. R. S. Seymour, ed. Dr. W. Junk, Dordrecht, the Netherlands.

National Research Council. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Federal Register:

Department of Agriculture, Plant and Animal Health Inspection Service. 2004. Blood and tissue collection at slaughtering and rendering establishments, final rule. 9CFR part 71. Fed. Regis. 69:10137-10151.

Other:

Choct, M., and R. J. Hughes. 1996. Long-chain hydrocarbons as a marker for digestibility studies in poultry. Proc. Aust. Poult. Sci. Symp. 8:186. (Abstr.)

Dyro, F. M. 2005. Arsenic. WebMD. Accessed Feb. 2006. <http://www.emedicine.com/neuro/topic20.htm>.

El Halawani, M. E., and I. Rosenboim. 2004. Method to enhance reproductive performance in poultry. Univ. Minnesota, as- signee. US Pat. No. 6,766,767.

Hruby, M., J. C. Remus, and E. E. M. Pierson. 2004. Nutritional strategies to meet the challenge of feeding poultry without antibiotic growth promotants. Proc. 2nd Mid-Atlantic Nutr. Conf., Timonium, MD. Univ. Maryland, College Park.

Luzuriaga, D. A. 1999. Application of computer vision and electronic nose technologies for quality assessment of color and odor of shrimp and salmon. PhD Diss. Univ. Florida, Gainesville.

Peak, S. D., and J. Brake. 2000. The influence of feeding program on broiler breeder male mortality. Poult. Sci. 79(Suppl. 1):2. (Abstr.)

Tables

Tables must be created using the MS Word table feature and inserted in the manuscript after the references section. When possible, tables should be organized to fit across the page without running broadside. Be aware of the dimensions of the printed page when planning tables (use of more than 15 columns will create layout problems). Place the table number and title on the same line above the table. The table title does not require a period. Do not use vertical lines and use few horizontal lines. Use of bold and italic typefaces in the table should be done sparingly; you must define such use in a footnote. Each table must be on a separate page. To facilitate placement of all tables into the manuscript file (just after the references) authors should use "section breaks" rather than "page breaks" at the end of the manuscript (before the tables) and between tables.

Units of measure for each variable must be indicated. Papers with several tables must use consistent format. All columns must have appropriate headings. Abbreviations not found on the inside front cover of the journal must be defined in each table and must match those used in the text. Footnotes to tables should be marked by superscript numbers. Each footnote should begin a new line. Superscript letters shall be used for the separation of means in the body of the table and explanatory footnotes must be provided [i.e., "Means within a row lacking a common superscript differ ($P < 0.05$)."]; other significant P-values may be specified. Comparison of means within rows and columns should be indicated

by different series of superscripts (e.g., a,b,... in rows; x-z ... in columns) The first alphabetical letter in the series (e.g., a or A) shall be used to indicate the largest mean. Lowercase super- scripts indicate $P \leq 0.05$. Uppercase letters indicate $P \leq 0.01$ or less.

Probability values may be indicated as follows: * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$, and † $P \leq 0.10$. Consult a recent issue of *Poultry Science* for examples of tables.

Generally, results should be presented to the significant figure of the instrument used to collect the data. For example, results should not be presented to 5 digits when the instrument used only reads to 2 digits.

Miscellaneous Usage Notes

Abbreviations

- Abbreviations shall not be used in the title, key words, or to begin sentences, except when they are widely known throughout science (e.g., DNA, RNA) or are terms better known by abbreviation (e.g., IgG, CD). A helpful criterion for use of abbreviation is whether it has been accepted into thesauri and indexes widely used for searching major bibliographic databases in the scientific field. Abbreviations may be used in heads within the paper, if they have been first defined within the text. The inside back cover of every issue of the journal lists abbreviations that can be used without definition. The list is subject to revision at any time, so authors should always consult the most recent issue of the journal for relevant information. Abbreviations are allowed when they help the flow of the manuscript; however, excessive use of abbreviations can confuse the reader. The suitability of abbreviations will be evaluated by the reviewers and editors during the review process and by the technical editor during editing. As a rule, author-derived abbreviations should be in all capital letters. Terms used less than three times must be spelled out in full rather than abbreviated. All terms are to be spelled out in full with the abbreviation following in bold type in parentheses the first time they are mentioned in the main body of the text. Abbreviations shall be used consistently thereafter, rather than the full term.

International words and phrases

Non-English words in common usage (defined in recent editions of standard dictionaries) will not appear in italics (e.g., in vitro, in vivo, in situ, a priori). However, genus and species of plants, animals, or bacteria and viruses should be italicized. Authors must indicate accent marks and other diacriticals on international names and institutions. German nouns shall begin with capital letters.

Capitalization

Breed and variety names are to be capitalized (e.g., Single Comb White Leghorn).

Number style

Numbers less than 1 shall be written with preceding zeros (e.g., 0.75). All numbers shall be written as digits. Measures must be in the metric system; however, US equivalents may be given in parentheses. *Poultry Science* requires that measures of energy be given in calories rather than joules, but the equivalent in joules may be shown in parentheses or in a footnote to tables. Units of measure not preceded by numbers must be written out rather than abbreviated (e.g., lysine content was measured in milligrams per kilogram of diet) unless used parenthetically. Measures of variation must be defined in the Abstract and in the body of the paper at first use. Units of measure for feed conversion or feed efficiency shall be provided (i.e., g:g).

General points

- Submit each illustration as a separate file.
- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.

A detailed guide on electronic artwork is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or online only. Further information on the preparation of electronic artwork.

Illustration services

Elsevier's Author Services offers Illustration Services to authors preparing to submit a manuscript but concerned about the quality of the images accompanying their article. Elsevier's expert illustrators can produce scientific, technical and medical-style images, as well as a full range of charts, tables and graphs. Image 'polishing' is also available, where our illustrators take your image(s) and improve them to a professional standard. Please visit the website to find out more.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Supplementary Data

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make

changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Ensure that the supplementary material is referred to in the main manuscript at an appropriate point in the text. Supplementary material will be available online only and will not be copyedited, so ensure that it is clearly and succinctly presented, and that the style conforms to the rest of the paper. Also ensure that the presentation will work on any Internet browser. It is not recommended for the files to be more than 2 MB each, although exceptions can be made at the editorial office's discretion.

Proofs

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to their proof. Please annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Articles In Press

For *Poultry Science*, manuscripts arrive at Elsevier and go through the production process until the final versions are ready to publish. These are then published on the journal's articles in press page. They will remain on the page up until the issue that they are assigned to is published.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication.

Reporting sex- and gender-based analyses

Reporting guidance

For research involving or pertaining to humans, animals or eukaryotic cells, investigators should integrate sex and gender-based analyses (SGBA) into their

research design according to funder/sponsor requirements and best practices within a field. Authors should address the sex and/or gender dimensions of their research in their article. In cases where they cannot, they should discuss this as a limitation to their research's generalizability. Importantly, authors should explicitly state what definitions of sex and/or gender they are applying to enhance the precision, rigor and reproducibility of their research and to avoid ambiguity or conflation of terms and the constructs to which they refer (see Definitions section below). Authors can refer to the [Sex and Gender Equity in Research \(SAGER\) guidelines](#) and the [SAGER guidelines checklist](#). These offer systematic approaches to the use and editorial review of sex and gender information in study design, data analysis, outcome reporting and research interpretation - however, please note there is no single, universally agreed-upon set of guidelines for defining sex and gender.

Definitions

Sex generally refers to a set of biological attributes that are associated with physical and physiological features (e.g., chromosomal genotype, hormonal levels, internal and external anatomy). A binary sex categorization (male/female) is usually designated at birth ("sex assigned at birth"), most often based solely on the visible external anatomy of a newborn. Gender generally refers to socially constructed roles, behaviors, and identities of women, men and gender-diverse people that occur in a historical and cultural context and may vary across societies and over time. Gender influences how people view themselves and each other, how they behave and interact and how power is distributed in society. Sex and gender are often incorrectly portrayed as binary (female/male or woman/man) and unchanging whereas these constructs actually exist along a spectrum and include additional sex categorizations and gender identities such as people who are intersex/have differences of sex development (DSD) or identify as non-binary. Moreover, the terms "sex" and "gender" can be ambiguous--thus it is important for authors to define the manner in which they are used. In addition to this definition guidance and the SAGER guidelines, the [resources on this page](#) offer further insight around sex and gender in research studies.