

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 10/06/2026.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FITASE E DA FORMA
FÍSICA DA RAÇÃO NA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA E
PRODUÇÃO DE CALOR EM FRANGOS DE CORTE**

Bruno Albino Leme
Zootecnista

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FITASE E DA FORMA
FÍSICA DA RAÇÃO NA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA E
PRODUÇÃO DE CALOR EM FRANGOS DE CORTE**

Bruno Balbino Leme

Orientadora: Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

2024

L551e

Leme, Bruno Balbino

Efeito da suplementação de fitase e da forma física da ração na utilização da energia e produção de calor em frangos de corte / Bruno Balbino Leme. -- Jaboticabal, 2024

91 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Nilva Kazue Sakomura

1. Energia líquida. 2. Energia retida. 3. Peletização. 4.
Respirometria. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa visa esclarecer as respostas do metabolismo energético de frangos de corte recebendo dietas suplementadas com fitase e sobre a forma física da ração. Ao investigar como o aproveitamento energético das dietas frente a essas duas tecnologias empregadas, fitase e peletização, e suas respostas na retenção de energia no corpo, este estudo contribuirá para que os nutricionistas possam traçar estratégias com melhor entendimento da utilização da energia quando empregado essas tecnologias. Os insights obtidos nesta pesquisa podem colaborar com o avanço da nutrição de frangos de corte, promovendo uma maior rentabilidade e sustentabilidade da produção avícola.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research aims to clarify the responses of energy metabolism of broilers receiving diets supplemented with phytase and the physical form of the feed. By investigating how the energy utilization of diets in relation to these two technologies employed, phytase and pelleting, and their responses in energy retention in the body, this study will help nutritionists to design strategies with a better understanding of energy utilization when using these technologies. The insights obtained in this research can contribute to the advancement of broiler nutrition, promoting greater profitability and sustainability of poultry production.

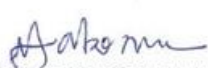
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FITASE E DA FORMA FÍSICA DA RAÇÃO NA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA E PRODUÇÃO DE CALOR EM FRANGOS DE CORTE

AUTOR: BRUNO BALBINO LEME

ORIENTADORA: NILVA KAZUE SAKOMURA

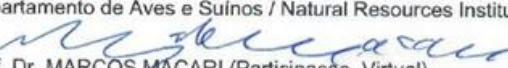
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciência Animal, área: Nutrição Animal pela Comissão Examinadora:


Prof. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal



Documento assinado digitalmente
LETÍCIA SOARES
Data: 10/06/2024 10:57:23-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Pesquisadora Dra. LETÍCIA SOARES (Participação Virtual)
Departamento de Aves e Suínos / Natural Resources Institute Finland - Jokioinen/Finlândia/UE


Prof. Dr. MARCOS MACARI (Participação Virtual)
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV UNESP Jaboticabal

Pesquisador Dr. MATHEUS DE PAULA REIS (Participação Virtual)
Departamento de Aves / Instituição Trow Nutrition - Madrid/ES



Documento assinado digitalmente
MATHEUS DE PAULA REIS
Data: 10/06/2024 12:09:57-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Pós-Doutoranda LEILANE ROCHA BARROS DOURADO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal



Documento assinado digitalmente
LEILANE ROCHA BARROS DOURADO
Data: 10/06/2024 18:33:52-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jaboticabal, 10 de junho de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

BRUNO BALBINO LEME, filho de Flávio Donizete Leme e Aparecida de Fátima Balbino Leme, nascido no dia 27 de novembro de 1995 em Mirassol, São Paulo. Ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, em fevereiro de 2013. Em fevereiro de 2018 obteve o título de Zootecnista. Em março de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, sob orientação da Prof^a Dr^a Nilva Kazue Sakomura, obtendo o título de Mestre em Zootecnia em fevereiro de 2020. Em março de 2020 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, sob orientação da Prof^a Dr^a Nilva Kazue Sakomura, submetendo a defesa da tese em junho de 2024.

Dedico

Aos meus pais Flávio e Aparecida, por todo amor, carinho e dedicação que sempre tiveram por mim, pelos esforços e incentivo durante toda minha trajetória. Amo cada um de vocês incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força, apoio, sabedoria, coragem nesta caminhada, por ter guiado meus passos.

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Nilva Kazue Sakomura, por toda confiança em deixar aos meus cuidados este estudo, e por toda confiança depositada em mim para ajudá-la em diversas atividades para o bom desenvolvimento do nosso grupo de pesquisa. Agradeço também pela amizade construída ao longo desses 11 anos de orientação, levarei sempre comigo esse carinho. Agradeço também pela oportunidade de trabalharmos juntos na empresa Sakomura e Leme.

Aos meus pais, Aparecida e Flávio, por todo apoio, carinho, dedicação, amor e contribuição para poder ter chegado até aqui, minha irmã, Fabiana, por sempre estar ao meu lado, ajudando nas decisões a serem tomadas para meu bem, pelo carinho e amor ímpar e por nunca desistir de mim, meu cunhado, Fábio, pelo companheirismo e força para alcançar meu sonho almejado. E a minha pequena e doce Alícia, sobrinha e afilhada, que chegou para alegrar e completar nossa família, o Digo ama muito você!

Aos membros da banca examinadora, por aceitar a colaborar na melhoria desta tese, o Prof. Macari, por todo ensinamento ao longo de minha trajetória acadêmica, a Prof.^a Leilane, Dra. Letícia e Dr. Matheus, obrigado!

A todos os amigos e colegas que tive a oportunidade de aprender e conviver no LAVINESP, em especial para o desenvolvimento desta tese à Rosiane, Rony, Guilherme, Raully, Matheus, Larissa, Bárbara, Audasley, Gabriel, Dami, Luís, Paloma, Daniela, Gabriela e Pedro, o meu muito obrigado!

Aos funcionários, que passaram e aos que estão conosco, Robson, Izildo, Vicente, Toninho e Beterraba, obrigado por toda ajuda, amizade e companheirismo.

Agradeço a minha amiga e companheira de casa, Rosi, por todo apoio nessa trajetória, pelo carinho e ajuda nos momentos mais difíceis. Serei eternamente grato a essa amizade. E a Lolinha, uma pequena que encheu nossa casa de amor e alegria.

A minha amiga e irmã, Letícia, que o LAVINESP me proporcionou e que mesmo não trabalhando juntos mais carregamos a amizade mais sincera, obrigado por todos os puxões de orelha e por todo apoio nessa caminhada.

Ao Gabriel, uma pessoa incrível que tive a oportunidade de conhecer e ser presente na minha vida em uma parte do desenvolvimento desta tese, o meu muito obrigado.

Aos meus amigos que fiz ao longo dessa trajetória no LAVINESP que sempre serão lembrados, em especial a Pomba, Pioia, Murango, Macaé, Matheus, Mirielly, Katy, Mel, Camila, Michele, Hilda, Karla, Fernando, Dani, Nayara.

Aos meus amigos de graduação, Lurdes, Jane e Amanda, obrigado pelo carinho em parte dessa trajetória.

Aos meus amigos e colegas de outros laboratórios, em especial Thaís, Livia, Anne, Maria, Sirlene, Gabriela, Camila, Lud, Lucas, Lara, Amanda.

As minhas amigas de infância, que sempre estiveram comigo, Larissa, Mariane e Monielle, e ao meu afilhado Pietro, amo vocês!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. (Proc. 88887.487170/2020-00).

A Danisco Iff pelo financiamento parcial desta tese, e pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Belo.

A FAPESP pelo financiamento da pesquisa (Proc 2019/26575-6).

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus Jaboticabal, pelo acolhimento e estrutura concedida.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que eu pudesse obter o título de Doutor.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
1. Introdução	1
2. Objetivos	2
3. Revisão de literatura.....	2
3.1. Metabolismo energético	4
3.2. Utilização do ATP como moeda energética	6
3.3. Cálculo da produção de calor através do $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$	7
3.4. Sistema de energia líquida.....	9
3.5. Utilização de fitase em dietas para frangos de corte e o impacto na disponibilidade de energia	11
3.6. Utilização de rações peletizadas para frangos de corte e o impacto na utilização da energia	14
4. Referências bibliográficas	15
CAPÍTULO 2 – Effect of a novel consensus bacterial 6-phytase variant enzyme supplementation to broiler chicken diets on performance, digestibility of nutrients, bone mineralization, body composition and carcass yield	21
INTRODUCTION.....	23
MATERIAL AND METHODS.....	24
RESULTS	29
DISCUSSION.....	32
REFERENCE	36
CAPÍTULO 3 – Energy utilization of broilers chickens fed with a novel consensus bacterial 6-phytase variant enzyme	47
INTRODUCTION.....	49
MATERIAL AND METHODS.....	49
RESULTS	50
DISCUSSION.....	55
REFERENCE	57
CAPÍTULO 4 – Effect of feed physical form on food preference, energy metabolism, performance, and carcass yield of broiler chickens.....	63
INTRODUCTION.....	65
MATERIAL E METHODS.....	66

RESULTS	66
DISCUSSION.....	71
REFERENCE	74
CAPÍTULO 5 – Considerações Finais	88

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Efeito da suplementação de enzimas e da forma física da ração na utilização da energia e na partição da produção de calor em frangos de corte"**, protocolo nº 5400/20, sob a responsabilidade da Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 11 de fevereiro de 2021.

Vigência do Projeto	03/07/2021 a 01/03/2023
Espécie / Linhagem	<i>Gallus gallus domesticus</i> / Cobb 500
Nº de animais	2976
Peso / Idade	40 gramas / 1 dia
Sexo	Macho
Origem	Incubatório Pluma, Descalvado – SP

Jaboticabal, 16 de fevereiro de 2021.


Profa. Dra. Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO DE FITASE E DA FORMA FÍSICA DA RAÇÃO NA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA E PRODUÇÃO DE CALOR EM FRANGOS DE CORTE

RESUMO – Objetivou-se com esta tese avaliar o efeito da suplementação de fitase e da forma física da ração na utilização de energia, partição da produção de calor, digestibilidade dos nutrientes, desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ciências Avícolas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo. Para avaliar o efeito da suplementação de fitase foram realizados dois ensaios, um de desempenho, digestibilidade dos nutrientes, mineralização óssea, rendimento de carcaça e outro de metabolismo energético. No primeiro ensaio, foram avaliados dois controles negativos (CN) para 1000 e 1500FTU de fitase e a suplementação de fitase nos CN, com nove repetições de 30 aves cada, totalizando 1080 frangos de corte. Foram avaliados em quatro fases, 1-7 dias; 8-21 dias; 22-35 dias; e 36-42 dias, o desempenho das aves. Aos 21 dias foi determinado a digestibilidade do cálcio, fósforo, proteína e energia. Aos 21 e 42 dias foram avaliados o teor de cinzas, cálcio e fósforo da tíbia. Aos 23 e 41 dias foi mensurado a composição corporal, através do DEXA, e aos 43 dias, avaliado o rendimento de carcaça e cortes. Os CN apresentaram redução no consumo de ração, ganho de peso e piora na conversão alimentar, porém quando foi adicionado a fitase, em ambos os níveis houve melhora nesses parâmetros. A suplementação da fitase aumentou ($P<0,05$) a digestibilidade do fósforo, proteína e energia, e resultou em maior mineralização óssea das tíbias, assim como o conteúdo mineral ósseo mensurado pelo DEXA. Foi observado efeito ($P<0,05$) no rendimento de carcaça apenas para o grupo de 1500FTU de fitase. A suplementação de fitase melhorou o desempenho, digestibilidade e mineralização óssea de frangos de corte em dietas com redução de cálcio, fósforo e energia. No segundo ensaio, para avaliar o particionamento e utilização da energia, foram utilizados 160 frangos de corte de 11 a 20 dias. Os tratamentos consistiram em controle positivo, controle negativo (CN) com redução dos níveis nutricionais e o CN com 1000 e 2000 FTU de fitase. Foram mensurados a produção de calor total, consumo de ração e produção de excretas para o cálculo da energia metabolizável aparente (EMA) e corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn). Para o cálculo da energia líquida (EL) da dieta, e a retenção de energia no corpo, foi utilizado um valor fixo do *Fasting heat production* de $107\text{kcal/kg}^{0,75}$. A energia retida (ER) no corpo foi determinado em ER como proteína e gordura. Foi observado efeito ($P<0,05$) na ingestão de EL, ER total e ERp e ERg, o CP apresentou valores superiores ao CN e quando se adicionou os dois níveis de fitase houve um maior conteúdo de EL da dieta, e maior retenção de energia no corpo, igual ao CP. O RQ (quociente respiratório) apresentou menor valor ($P<0,05$) para o CN em relação aos demais tratamentos. O sistema de EL foi capaz de detectar diferenças evidenciando a melhora do aproveitamento energético de dietas suplementadas com fitase em frangos de corte. Para avaliar o efeito da forma física da ração, foi realizado um ensaio com seis tratamentos com quatro repetições de oito aves cada, para o metabolismo energético, sendo ração: farelada, peletizada, finos, peletes + finos em comedouros separados e peletes + finos misturados, e um

tratamento pair feeding em pelete do tratamento farelado. Foram utilizados 192 frangos de corte de 17 a 26 dias. Os ensaios foram realizados em câmaras respirométricas para mensurar a produção de calor total, consumo de ração, produção de excretas e calculado os valores de EMA, EMAn, EL, RE e incremento calórico (IC). Foi mensurado o peso da moela, proventrículo, intestino, fígado e gordura abdominal de duas aves por parcela no final do ensaio. Para os tratamentos que receberam as dietas pelete + finos separados ou misturado foi realizado uma análise de preferência alimentar. Foi observado melhora na disponibilidade e utilização da energia das aves que receberam peletes, o que resultou em maior teor de ER, principalmente como gordura. Também apresentaram maior peso relativo de gordura abdominal, fígado, intestino e proventrículo. As aves tiveram maior preferência por pelete quando foi fornecido pelete e finos misturados do que em comedouros separados. Concomitantemente a esse ensaio, foi realizado um ensaio de desempenho em galpão com os mesmos tratamentos, exceto o *pair feeding* do ensaio de metabolismo. Foram utilizados 1500 frangos de corte machos de 11 a 42 dias, divididos em duas fases, 11 a 21 e 22 a 42 dias. Foram avaliados consumo de ração e peso corporal, e calculado ganho de peso e conversão alimentar. Aos 42 dias, foi avaliado rendimento de carcaça e cortes e realizado abate comparativo para determinar a deposição de proteína e gordura corporal. Foi observado maior ($P<0,05$) consumo de ração, ganho de peso e melhor conversão alimentar nas aves que receberam pelete. Neste ensaio, as aves que tiveram maior preferência por peletes foram as que receberam peletes e finos em comedouros separados. O rendimento de carcaça não foi afetado pelos tratamentos, e a deposição de proteína e gordura não apresentou efeito ($P<0,05$), porém foi observado maior conteúdo de gordura abdominal.

Palavras-chave: Energia líquida, energia retida, peletização, respirometria

EFFECT OF PHYTASE SUPPLEMENTATION AND PHYSICAL FORM OF THE FEED ON THE USE OF ENERGY AND HEAT PRODUCTION IN BROILER CHICKENS

ABSTRACT – The aims of this thesis were to evaluate the effects of phytase supplementation and the physical form of feed on energy utilization, heat production partitioning, nutrient digestibility, performance, and carcass yield of broiler chickens. The trials were conducted at the Poultry Sciences Laboratory of the Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences – UNESP, Jaboticabal Campus, São Paulo. To evaluate the effect of phytase supplementation, two trials were carried out: one for performance, nutrient digestibility, bone mineralization, and carcass yield, and another for energy metabolism. In the first trial, two negative controls (NC) were evaluated for 1000 and 1500 FTU of phytase matrix of nutrients, with and without phytase supplementation, with nine replications of 30 birds each, totaling 1,080 broiler chickens. They were evaluated in four phases: 1-7 days, 8-21 days, 22-35 days, and 36-42 days, assessing bird performance. At 21 days, the digestibility of calcium, phosphorus, protein, and energy was determined. At 21 and 42 days, the ash, calcium, and phosphorus content of the tibia were evaluated. At 23 and 41 days, body composition was measured using DEXA, and at 43 days, carcass and cuts yield were evaluated. The NC showed reduced feed intake, body weight gain, and worsened feed conversion ratio. However, phytase supplementation at both levels improved these parameters. Phytase supplementation increased ($P<0.05$) the digestibility of phosphorus, protein, and energy, leading to greater bone mineralization of the tibias, as well as higher bone mineral content measured by DEXA. An effect ($P<0.05$) on carcass yield was observed only in the 1500 FTU phytase group. Phytase supplementation improved performance, digestibility, and bone mineralization in broiler chickens on diets with reduced calcium, phosphorus, and energy. In the second trial, 160 broiler chickens aged 11 to 20 days were used to evaluate energy partitioning and use. The treatments included positive control (PC), negative control (NC) with reduced nutritional levels, and NC with 1000 and 2000 FTU of phytase. Total heat production, feed intake, and excreta production were measured to calculate apparent metabolizable energy (AME) and AME corrected by nitrogen balance (AMEn). To calculate the net energy (NE) of the diet and energy retention in the body, a fixed fasting heat production value of $107 \text{ kcal/kg}^{0.75}$ was used. Retained energy (RE) in the body was determined in RE as protein and fat. An effect ($P<0.05$) was observed on the intake of NE, total RE, RE as protein (REp), and RE as fat (Ref). The PC presented higher values than the NC, and when phytase was added, there was a greater content of NE in the diet and greater retention of energy in the body, comparable to PC. The respiratory quotient (RQ) was lower ($P<0.05$) for NC compared to the other treatments. There were differences in the NE, showing improved energy utilization in diets supplemented with phytase in broiler chickens. To evaluate the effect of the physical form of the feed, a trial was conducted with six treatments, each with four replications of eight birds, for energy metabolism: mash, pellet, fines, pellets + fines in separate feeders, pellets + fines mixed, and a pair feeding treatment in pellets of the mash treatment. 192 broiler chickens aged 17 to 26 days were used. The trial was conducted in respirometric chambers to measure total heat production, feed intake, and excreta production, and to calculate the values of AME, AMEn, NE, RE, and heat increment

(HI). The weights of the gizzard, proventriculus, gut, liver, and abdominal fat of two birds per unit were measured at the end of the trial. For treatments that received separate or mixed pellet + fines diets, a food preference analysis was carried out. Improved energy availability and use were observed in birds that received pellets, resulting in a higher RE content, mainly as fat. They also presented greater relative weights of abdominal fat, liver, gut, and proventriculus. Birds showed a greater preference for pellets when pellets and fines were provided mixed rather than in separate feeders. Concomitantly with this trial, a performance trial was conducted in a barn with the same treatments, except for pair feeding in the metabolism trial. 1500 male broilers aged 11 to 42 days were used, divided into two phases: 11 to 21 and 22 to 42 days. Feed intake and body weight were evaluated, and body weight gain and feed conversion ratio were calculated. At 42 days, carcass and cuts yield were evaluated, and comparative slaughter was conducted to determine protein and fat deposition in the body. Greater ($P<0.05$) feed intake, weight gain, and better feed conversion ratio were observed in birds that received pellets. Birds showed a greater preference for pellets when pellets and fines were provided in separate feeders. Carcass yield was not affected by the treatments, and protein and fat deposition showed no significant effect ($P<0.05$), although a higher abdominal fat content was observed.

Keywords: Net energy, retained energy, pelletization, respirometry

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1. Introdução

O Brasil ocupa a segunda posição mundial em produção de carne de frango (14,524 milhões de toneladas) e a primeira (4,822 milhões de toneladas) como exportador (ABPA, 2023). É certo a influência da genética, nutrição e ambiência na produtividade para a obtenção de melhores resultados no desempenho e na qualidade no produto final. Sabe-se que o custo da alimentação de frangos de corte corresponde à maior fração do custo final de produção, portanto o desenvolvimento de pesquisas na área de nutrição com objetivo de gerar programas com maior eficiência alimentar e de reduzir tais custos são de grande importância para a cadeia produtiva de frangos de corte.

Tendo em vista que o consumo de ração de aves é regulado principalmente para atender suas necessidades energéticas, uma estimativa acurada de energia em relação às exigências da ave e ao valor nos ingredientes usados na formulação de dietas, baseados em um mesmo sistema, é importante para traçar estratégias nutricionais mais precisas, de menor custo e favorecer a oferta de alimento adequada para atender as necessidades energéticas dos animais. Embora o sistema de energia metabolizável (EM) tenha sido comumente utilizado para formular dieta para aves, ele apresenta certas limitações, incluindo a não contabilização da perda de energia pela produção de calor.

O sistema de energia líquida (EL) tem sido sugerido como o mais acurado para expressar tanto a exigência energética das aves quanto o valor energético dos alimentos, pois considera as diferenças na eficiência de utilização da EM das dietas (Noblet, 2007). Essa característica é importante, pois permite incluir ingredientes de diferentes origens e composições nutricionais na formulação de rações sem que prejudique a precisão do valor energético das dietas. Estas vantagens permitem ajustar o fornecimento de energia para as aves reduzindo os efeitos do estresse térmico e custos com a alimentação. Mesmo considerando todos os benefícios de sua implementação, o sistema de EL não tem sido usado na formulação de dietas comerciais para aves, pois ainda não está bem estabelecido com uso prático como, por exemplo, é para suínos.

A energia ingerida decorrente da oxidação dos nutrientes da dieta é utilizada pelas aves para diferentes funções metabólicas e deposição de tecidos, porém existem variações na composição nutricional da dieta que afetam a digestibilidade e a eficiência de utilização da energia, portanto, uma fração dos nutrientes não é totalmente aproveitada. É bem conhecido que o uso de enzimas exógenas melhora a digestibilidade e aproveitamento dos nutrientes, principalmente as fitases, favorecendo uma maior liberação de cálcio, fósforo e energia, tendo como resultado melhoras na resposta produtiva das aves (Cowieson, 2005; Cowieson et al., 2019). Outro fator que pode alterar o consumo e desempenho desses animais é o processo de peletização da ração, que disponibiliza os nutrientes por desnaturação pelo cozimento parcial da dieta (Massuquetto et.al., 2019). Entretanto, existem lacunas em relação aos efeitos do uso de enzimas e o processo de peletização sobre a partição da EM. Sabe-se que o incremento calórico (IC) representa o custo energético da ingestão, digestão e atividade física, e é possível observar reduções no IC quando são aplicadas as estratégias mencionadas. Por outro lado, também pode ser evidenciada uma redução da energia líquida para manutenção (ELm) pela redução da demanda energética do metabolismo basal, em ambos os casos, esperando-se um aumento na deposição de tecido evidenciado no ganho de peso das aves.

Conclusion

In conclusion, broiler chickens fed pelleted feed had higher FI, greater BWG, and improved FCR. Birds showed a preference for pellets but required an adaptation period. Pelleted feed also resulted in higher NE utilization and greater energy retention in the body, primarily as fat, suggesting that the NE system better represents energy utilization based on feed form.

REFERENCE

Brouwer, E. Report of sub-committee on constants and factors. In: Proceedings of the 3rd symposium on energy metabolism of farm animals, 1965. European association for animal production, 1965. p. 441-443.

Noblet, J.; Dubois, S.; Lasnier, J.; Warpechowski, M.; Dimon, P.; Carré, B.; Van Milgen, J.; Labussière, E. Fasting heat production and metabolic BW in group-housed broilers. *Animal*, v. 9, p. 1138-1144, 2015.

Riveros, R., de Souza Camargos, R., Silva, R. L., Leme, B., & Sakomura, N. K. (2023). Description and Validation of Flow-Through Chambers of Respirometry for Measuring Gas Exchange in Animal Trials.

Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. Oliveira, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, L. S. T. Barreto, R. F. Euclides. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.

Sakomura, N. K., Rostagno, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, p.262, 2016.

Dozier, W. A., III, K. C. Behnke, C. K. Gehring, and S. L. Branton. Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. *J. Appl. Poult. Res.* 19:219–226. 2010.

Massuquetto, A., Panisson, J. C., Marx, F. O., Surek, D., Krabbe, E. L., & Maiorka, A. Effect of pelleting and different feeding programs on growth performance, carcass yield, and nutrient digestibility in broiler chickens. *Poultry science*, 98(11), 5497-5503. 2019.

Massuquetto, A., Panisson, J. C., Schramm, V. G., Surek, D., Krabbe, E. L., & Maiorka, A. Effects of feed form and energy levels on growth performance, carcass yield and nutrient digestibility in broilers. *Animal*, 14(6), 1139-1146. 2020.

McKinney, L. J., Teeter, R. G. Predicting Effective Caloric Value of Nonnutritive Factors: I. Pellet Quality and II. Prediction of Consequential Formulation Dead Zones, *Poultry Science* 83:1165 – 1174. 2004.

Serrano, M. P., D. G. Valencia, J. Mendez, and G. G. Mateos. Influence of feed form and source of soybean meal of the diet on growth performance of broilers from 1 to 42 days of age. 1. Floor pen study. *Poult. Sci.* 91:2838–2844. 2012.

Svihus, B., Uhlen, A.K., Harstad, O.M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 122, 303–320. 2005.

Jiménez-Moreno, E., de Coca-Sinova, A., González-Alvarado, J. M., & Mateos, G. G. Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake. *Poultry science*, 95(1), 41-52. 2016.

Amerah, A. M., V. Ravindran, R. G. Lentle, and D. G. Thomas. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poult. Sci. J.* 63:439–455. 2007^a.

Jensen, L. S.; Merrill, L. H.; Reddy, C. V.; McGinnis, J.; Observations on eating patterns and rate of food passage of birds fed pelleted and unpelleted diets. *Poultry Science*, v.41, p.1414–1419, 1962.

Abdollahi, M. R.; Ravindran, V.; Wester, T. J.; Ravindran, G.; Thomas, D. V. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Animal Feed Science and Technology*, v.168, p.88-99, 2011.

Abdollahi, M.R.; Ravindran, R.; Svihus, B. Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal feed science and technology* v. 179, p. 1-23, 2013.

Chewning, C. G., C. R. Stark, and J. Brake. Effects of particle size and feed form on broiler performance. *J. Appl. Poult. Res.* 21:830–837. 2012.

Mingbin, L. V., Y. Lei, W. Zhengguo, A. Sha, W. Miaomiao, and L. V. Zunzhou. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. *Anim. Nutr.* 1:252–256. 2015.

Roza, L. F., F. C. Tavernari, D. Surek, C. Sordia, L. F. T. Albino, D. Paiano, M. M. Boiago, T. G. Petrolli, and A. Cunha J´unior. Metabolizable energy and amino acid digestibility of mash and pelleted diets for broilers determined under different methodologies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 235:1–7. 2018.

Bolton, W. The digestibility of mash and pellets by chicks. *Journal Agriculture Science*, v.55, p.141-142, 1960.

Corzo, A., L. Mejia, and I. I. R. E. Loar. Effect of pellet quality on various broiler production parameters. *J. Appl. Poult. Res.* 20:68–74. 2011.

Latshaw, J. D.; Moritz, J. S. The partitioning of metabolizable energy by broiler chickens. *Poultry Science*, v.88, p.98–105, 2009.

Maiorka, A., F. Dahlke, A. M. Penz JR, and A. M. Kessler. Diets formulated on total or digestible amino acid basis with different energy levels and physical form on broiler performance. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 7:47–50. 2005.

Association of Official Analytical Chemists, and Association of Official Agricultural Chemists (US). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Vol. 2. The Association, 1925.

López, C. A. A.; Baião, N. C.; Lara, L. J. C.; Rodriguez, N. M.; Cançado, S. V. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, p.1006-1013, 2007.

Abdollahi, M. R.; Ravindran, V.; Wester, T. J.; Ravindran, G.; Thomas, D. V. Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed-maize and sorghum-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, v.162, p.106–115, 2010.

Zhu, L.; Jones, C.; Guo, Q.; Lewis, L.; Stark, C. R.; Alavi, S. An evaluation of total starch and starch gelatinization methodologies in pelleted animal feed. *Journal of Animal Science*, v.94(4), p. 1501-1507, 2016.