

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 27/03/2025.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DINÂMICA DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM MATRIZES DE
FRANGO DE CORTE AO LONGO DO PERÍODO DE POSTURA**

Guilherme Ferreira da Silva Teofilo
Zootecnista

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DINÂMICA DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM MATRIZES DE
FRANGO DE CORTE AO LONGO DO PERÍODO DE POSTURA**

Discente: Guilherme Ferreira da Silva Teofilo

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nilva Kazue Sakomura

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Macari

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

2023

T314d

Teofilo, Guilherme Ferreira da Silva

Dinâmica da utilização de energia em matrizes de frango de corte
ao longo do período de postura / Guilherme Ferreira da Silva Teofilo. --
, 2023

104 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal,

Orientadora: Nilva Kazue Sakomura

Coorientador: Marcos Macari

1. Zootecnia. 2. Aves criação. 3. Animais nutrição. 4. Metabolismo
energético. 5. Gasto energético. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Em torno de 70% dos custos de produção na criação avícola é destinado à alimentação. Logo, obter estimativas mais acuradas das exigências energéticas das matrizes de corte permitirá um maior desempenho das aves e a redução dos custos de alimentação, associado ao menor impacto ambiental. Este estudo caracterizou a dinâmica de utilização energética e como as reprodutoras particionam a energia ingerida para manutenção, deposição de tecidos corporais e para produção de ovos ao longo de todo ciclo produtivo, permitindo propor estratégias nutricionais e programas alimentares para diferentes condições práticas, possibilitando uma melhora no desempenho produtivo, reprodutivo e no bem-estar das aves.

Como impacto científico, esse conhecimento facilitará a implementação do sistema de energia líquida em matrizes de frangos de corte, o sistema mais acurado da partição energética. Esses achados têm o potencial de tornar a produção de matrizes de corte mais sustentável e com redução dos impactos ambientais sem deixar de lado a excelente produtividade, contribuindo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 (fome zero e agricultura sustentável), 12 (consumo e produção responsáveis), 13 (ação contra mudança global do clima) e 15 (vida terrestre).

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Around 70% of production costs in poultry industry are used for feed. Therefore, obtaining more accurate estimates of the energy requirements of the broiler breeders will allow for greater bird performance and a reduction in feed costs, associated with a lower environmental impact. This study determined the dynamics of energy utilization and how the broiler breeders partition the energy intake for maintenance, deposition of body tissues and for egg production throughout the production cycle, allowing to propose nutritional strategies and feeding programs for different practical conditions, enabling an improvement on the productive, reproductive performance and welfare of the birds.

As a scientific impact, this knowledge will facilitate the implementation of the net energy system in broiler breeders, the most accurate system of energy partition. These findings have the potential to make the production of broiler breeders more sustainable and reduce environmental impacts without neglecting excellent productivity, contributing to the Sustainable Development Goals (SDG) 2 (zero hunger and sustainable agriculture), 12 (responsible consumption and production), 13 (action against global climate change) and 15 (land life).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DINÂMICA DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM MATRIZES DE FRANGO DE CORTE AO LONGO DO PERÍODO DE POSTURA

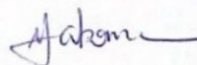
AUTOR: GUILHERME FERREIRA DA SILVA TEOFILO

ORIENTADORA: NILVA KAZUE SAKOMURA

COORIENTADOR: MARCOS MACARI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA (Participação Presencial)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

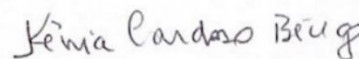


Prof. Dr. CARLOS BOA VIAGEM RABELLO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal Rural de Pernambuco

gov.br

Documento assinado digitalmente
CARLOS BOA VIAGEM RABELLO
Data: 27/03/2023 21:06:23-0300
Verifique em <https://validar.rf.gov.br>

Profa. Dra. KÊNIA CARDOSO BÍCEGO (Participação Presencial)
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV UNESP Jaboticabal



Jaboticabal, 27 de março de 2023

DADOS CURRICULARES

GUILHERME FERREIRA DA SILVA TEOFILO, filho de Solange Maria da Silva e Silvio Ferreira da Silva Teófilo, nascido no dia 11 de maio de 1998 em Diadema, São Paulo. Em 2016, ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal. Em outubro de 2020 obteve o título de Zootecnista. Durante esse período realizou iniciação científica com bolsa financiada pela FAPESP, sob orientação da Prof.^a Dr.^a Nilva Kazue Sakomura. Em outubro de 2020 iniciou o curso de mestrado em zootecnia no programa de pós-graduação da mesma universidade, com bolsa financiada pela FAPESP e sob orientação da referida professora, submetendo-se à defesa da dissertação em março de 2023.

Dê um Rolê

Gal Costa

Não se assuste pessoa
Se eu lhe disser que a vida é boa
Enquanto eles se batem
Dê um rolê e você vai ouvir
Apenas quem já dizia
Eu não tenho nada
antes de você ser eu sou
Eu sou, eu sou, eu sou amor
Da cabeça aos pés
Eu sou, eu sou, eu sou amor
Da cabeça aos pés
E só tô beijando o rosto de quem dá valor
Pra quem vale mais o gosto do que cem mil réis
Eu sou, eu sou, eu sou amor
Da cabeça aos pés

(Moraes Moreira e Luiz Galvão, 1971)

À Deus

À minha avó Venera

Aos meus pais Solange e Silvio

À minha irmã Mariana e meu sobrinho Derick

A vocês, dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela graça da vida.

Em especial, aos meus pais Solange e Silvio que mesmo distantes se fizeram presentes. Por serem meu porto seguro, pelo amor e por todo incentivo e suporte, amo muito vocês.

À minha irmã Mariana por acreditar em mim e me apoiar em todos os momentos e decisões, obrigado por me tornar tio do Derick, amo vocês.

Aos meus maiores companheiros Ísis e Guilbert, o amor e companhia de vocês me motivam todos os dias.

À minha amiga irmã Yasmin, ao meu afilhado Enrico e a Tia Patricia por todo carinho e amor, por todo incentivo e pelas risadas. Muita sorte tê-los ao meu lado.

À minha orientadora, professora doutora Nilva Kazue Sakomura pela oportunidade, confiança e por todos os experientes conselhos que contribuíram para minha formação e aperfeiçoamento do meu trabalho.

Ao meu coorientador, professor doutor Marcos Macari por toda ajuda, atenção e paciência. Suas contribuições foram de suma importância.

Às minhas amigas Palloma Nobrega, Thaila Moura, Thais Fortunato, Larissa Pereira e Bárbara Marçal por toda ajuda, conselhos e aprendizados científicos e pessoais, pela confiança e amizade. Vocês tornaram esse período mais alegre.

Ao Freddy Horna pela amizade, por toda atenção dedicada desde a graduação e por estar sempre disposto a ensinar tudo que sabe. Sou muito grato por todas nossas conversas que agregaram imensamente na minha construção como pessoa/pesquisador.

À Rosiane Camargos e ao Bruno Balbino pela paciência e por todo auxílio durante esses dois anos, sem vocês não teria sido possível. Obrigado por todos os momentos felizes.

À Gabriela Argentini, Alana Choppe, Giovane, Samara Ferreira, Raul Miranda, Thiago Banov, Thaisa França, Maria Luisa e Rafael Paulino pela amizade, por todos os conselhos e momentos encorajadores.

Aos colegas do aviário que participaram incondicionalmente na realização desse trabalho: Luís Filipe, Kareen Damilola, Lucas Bonagurio, Matheus Reis, Amanda, Gabriela Leandro, Leticia Gallon, Bernardo Rocha, Miguel Zanetti, Camila Kanesiro, Beatriz Collucci, Breno Balabenute, Igor Correia, Fabricio Santana, Gabriela Andrikonis e em especial ao Rony Riveros por toda ajuda dedicada desde a elaboração do projeto.

Aos funcionários do setor de avicultura: Robson e Toninho.

Aos membros da banca de qualificação e defesa, prof. Renato Furlan, prof.^a Kênia Cardoso Bicego, prof. Carlos Boa-Viagem Rabello e ao Dr. Jaap Van Milgen pelas discussões e contribuições nesse trabalho.

À Cobb (matrizeiro Guapiaçu-SP) pela doação das matrizes de corte, em especial ao Victor Hugo e ao Rodrigo Terra. A Poli-nutri e ao Vinicius Bruzeguez pela doação do premix.

À Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, FCAV - UNESP campus Jaboticabal por ter me acolhido e proporcionado recursos e infraestrutura durante esses oito anos. A CAPES pela concessão da bolsa.

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

À Fundação de apoio e amparo a pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de mestrado e reserva técnica concedida (processo nº 2021/ 04425-2) viabilizando este estudo.

E a todos que de alguma forma contribuíram com a minha formação e realização desse trabalho.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Efeito do nível prévio de alimentação sobre fasting heat production e descrição do metabolismo energético ao longo da fase de postura em matrizes de corte"**, protocolo nº 5398/20, 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 10 de dezembro de 2020.

Vigência do Projeto	07/01/2021 a 19/06/2021
Espécie / Linhagem	<i>Gallus gallus domesticus</i> / Cobb 500
Nº de animais	300
Peso / Idade	3100 g / 21 semanas
Sexo	Fêmeas
Origem	Cobb – Vantress, Guapiaçu - SP

Jaboticabal, 10 de dezembro de 2020.

Profa. Dra. Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

DINÂMICA DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM MATRIZES DE FRANGO DE CORTE AO LONGO DO PERÍODO DE POSTURA

RESUMO

Compreender a dinâmica de utilização energética em matrizes de corte permite propor estratégias nutricionais e melhorarias no desempenho reprodutivo. Baseado nisso, o presente estudo objetivou descrever a utilização e o particionamento da energia ingerida em matrizes de corte durante o período de postura e propor modelos de exigências de energia. Para tal, foram conduzidos dois ensaios experimentais utilizando matrizes de corte da linhagem Cobb 500. O primeiro ensaio teve como objetivo fracionar a energia ingerida em: manutenção e energia retida (**ER**) no corpo e no ovo. Foram utilizadas 50 aves de 27 a 63 semanas de idade, sendo 5 aves avaliadas a cada 4 semanas. Cada ave foi alojada individualmente em câmaras respirométricas e alimentada com base nas recomendações do guia de manejo. A produção total de calor total (**PCT**) e em jejum (**PCJ**) foram calculadas pela equação de Brouwer. O consumo de ração (**CR**), excretas produzidas e a massa de ovo (**MO**) foram registrados diariamente. Ao final desse período a composição corporal das aves foi estimada pelo **DEXA**. Os dados foram analisados em função da idade por meio de regressões lineares ($P \leq 0,05$). O segundo ensaio objetivou determinar a utilização energética e propor modelos de exigências. Foram utilizadas 60 aves de 29 a 65 semanas de idade, sendo 6 aves avaliadas a cada 4 semanas. Oito dias anteriores às medições, as aves foram adaptadas a três níveis de ingestão energética e em seguida, as aves foram alojadas em câmaras respirométricas. O **CR**, peso corporal, **MO** e coleta de excretas foram realizados diariamente. Ao final das avaliações de respirometria, as aves foram eutanasiadas para mensuração da massa visceral. Para avaliar o efeito da idade e energia metabolizável ingerida (**EMAI**) nos dados do balanço energético foi ajustada uma regressão multifatorial. Além disso, foi realizada a correlação de Pearson entre a massa visceral e os parâmetros do metabolismo energético. Para obter a exigência de energia metabolizável (**EM**) e líquida (**EL**), quatro modelos mistos foram ajustados, incluindo ou não o efeito de idade. Para o primeiro ensaio o **CR** e consequentemente o **EMAI** foram decrescentes com o avanço da idade ($P < 0,001$), com maiores valores durante pico de produção (31 e 35 semanas). Não houve efeitos significativos ($P > 0,05$) da idade na **PCJ**, **PCT** e incremento calórico. A **MO** e o **ER** no ovo como gordura e proteína foram constantes ao longo das idades ($P > 0,05$), enquanto o **ER** no corpo como proteína aumentou linearmente ($P = 0,0011$) conforme as aves envelheceram. A maior **EMAI** no pico de produção resultou em aumento da **ER** como gordura no corpo ($P < 0,0001$). Para o segundo ensaio, os resultados mostraram que a **PCJ** ($259 \text{ kJ/kg}^{0,75} \cdot \text{d}$) permaneceu constante durante todo o ciclo de produção independente do nível de **EMAI** ($P > 0,05$). A **PCJ** e o **PCT** apresentaram correlação positiva com os órgãos digestivos e reprodutivos ($P < 0,05$). A eficiência de utilização de energia para depositar proteína e gordura no corpo mudou com a idade da ave. Os modelos de **EL** e **EM** desconsiderando o efeito da idade apresentou menor erro. As eficiências de utilização de energia foram 0,89; 0,78 e 0,80 para manutenção, ganho e

produção de ovos, respectivamente. O modelo de **EL** não foi afetado pela idade e apresentou menor erro quando comparado ao de **EM**. Conclui-se que para matrizes de corte a **EMa** é usada principalmente para suportar a demanda de **EL** para manutenção e produção de ovos, e o restante é depositado nos tecidos corporais em maior eficiência como gordura, enquanto a **ER** como proteína no corpo aumenta com a idade da ave. Os modelos mistos são viáveis para construir modelos de recomendações energéticas para os sistemas de **EM** e **EL**, sendo a **EL** mais acurada em expressar as exigências energéticas de matrizes pesadas.

Palavras-chave: energia líquida, energia para manutenção, balanço energético, balanço de nitrogênio, calorimetria indireta

DYNAMICS OF ENERGY USE IN BROILER BREEDERS DURING THE LAYING PERIOD

ABSTRACT

Understanding the dynamics of energy utilization in broiler breeders allows proposing nutritional strategies and improvements in reproductive performance. Based on this, the present study aimed to describe the utilization and partitioning of energy intake in broiler breeders during the laying period and to propose models of energy requirements. For this purpose, two experimental trials were carried out using Cobb 500 broiler breeders. The first trial aimed to partitioning the energy intake into: maintenance and retained energy (**RE**) in the body and in the egg. Fifty birds from 27 to 63 wks of age were used, with 5 birds evaluated every 4 wks. Each bird was individually housed in respirometric chambers and fed based on the guideline recommendations. Total heat production (**THP**) and fasting (**FHP**) were calculated using the Brouwer equation. Feed intake (**FI**), excreta produced, and egg mass (**EM**) were recorded daily. At the end of this period, the body composition of the birds was estimated by DEXA. Data were analyzed as a function of age using linear regressions ($P \leq 0.05$). The second trial aimed to determine energy utilization and propose models of energy requirements. Sixty birds from 29 to 65 weeks of age were used, with 6 birds evaluated every 4 wks. Eight days prior to the measurements, the birds were adapted to three levels of energy intake. Then, the birds were housed in respirometric chambers. The **FI**, body weight, **EM** and excreta collection were performed daily. At the end of the respirometry evaluations, the birds were euthanized to measure the visceral mass. To assess the effect of age and apparent metabolizable energy intake (**AMEi**) on energy balance data, a multifactor regression was fitted. In addition, Pearson's correlation between visceral mass and parameters of energy metabolism was performed. To obtain metabolizable (**ME**) and net (**NE**) energy requirements, four mixed models were fitted, including, or not including the effect of age. For the first trial, the **FI** and consequently the **AMEi** decreased with the age of the birds ($P < 0.001$), with higher values during peak production (31 and 35 wks). There were no significant effects ($P > 0.05$) of age on **FHP**, **THP** and heat increment. The **EM** and **RE** in the egg as fat and protein were constant across ages ($P > 0.05$), while **RE** in the body as protein increased linearly ($P = 0.0011$) as the birds aged. Higher **AMEi** at peak production resulted in increased **RE** as body fat ($P < 0.0001$). For the second trial, the **FHP** ($259 \text{ kJ/kg}^{0.75} \cdot \text{d}$) remained constant throughout the production cycle regardless of the **AMEi** level ($P > 0.05$). The **FHP** and **THP** showed a positive correlation with digestive and reproductive organs ($P < 0.05$). The efficiency of energy utilization to deposit protein and fat in the body changed with bird age. The **NE** and **ME** models disregarding the effect of age showed the lowest error. Efficiencies of energy utilization were 0.89; 0.78 and 0.80 for maintenance, gain and egg production, respectively. The **NE** model was not affected by age and presented a smaller error when compared to the **ME**. It is concluded that for broiler breeders **AMEi** is mainly used to support the **NE** demand for maintenance and egg production, and the remainder is deposited in body tissues more efficiently as fat, while **RE** as protein in the body

increases with the age of the bird. Mixed models are feasible to build energy recommendation models for **ME** and **NE** systems, with **NE** being more accurate in expressing the energy requirements of broiler breeders.

Keywords: net energy, energy for maintenance, energy balance, nitrogen balance, indirect calorimetry

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. Introdução

O aumento na demanda de proteína animal em função do aumento da população mundial caracterizou uma oportunidade para a produção de frangos de corte, por ser uma fonte de proteína de menor custo, de rápida obtenção e acessível ao consumidor de diversos perfis econômicos e sociais. No Brasil, nos últimos dez anos o volume da produção de carne de frango aumentou aproximadamente 15%, posicionando o Brasil como o maior exportador e terceiro maior produtor de carne de frango no mundo (ABPA, 2022). Com o aumento na demanda de carne de frango, houve necessidade de aumentar a produção e eficiência reprodutiva das matrizes de corte, a partir de melhorias genéticas, sanitárias e nutricionais (Furtado et al., 2011).

A seleção genética para aumentar a taxa de crescimento dos frangos de corte promoveu aumento no consumo de ração, peso corporal e na deposição de gordura nas galinhas reprodutoras. Em aves domésticas o aumento na deposição de gordura leva a redução da produção de ovos, fertilidade e eclodibilidade (Pearson e Herron, 1981). Nesse sentido, programas de restrição alimentar são comumente usados para limitar a ingestão de energia e nutrientes (Renema e Robinson, 2004; Salas et al., 2019), controlando a excessiva deposição de gordura e seus efeitos deletérios na reprodução.

Na nutrição comercial de aves, a formulação das dietas é baseada no sistema de energia metabolizável (**EM**), no entanto este sistema apresenta certas limitações. Ao longo dos anos foi proposto que o sistema de energia líquida (**EL**) seria o sistema de energia mais acurado para expressar tanto o valor energético do alimento, quanto as exigências do animal, pois permite quantificar as perdas energéticas decorrente dos processos digestivos, absorptivos e metabólicos, denominado incremento calórico (**IC**) (Noblet, 2007). Com base na abordagem fatorial, as exigências de **EL** são divididas em manutenção e produção, de modo que a manutenção é atribuída à produção de calor em jejum (**PCJ**) ou gasto energético destinado as

funções essenciais do organismo, enquanto a energia para produção é atribuída a energia bruta retida nos tecidos e/ou massa de ovo (Zuidhof, 2019). A **PCT** e a **PCJ** podem ser obtidas por meio da técnica de calorimetria indireta (**CI**), utilizada para determinar o consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbônio em câmaras respirométricas, permitindo calcular a produção de calor (**PC**) e quociente respiratório (**QR**) (Brouwer, 1965; Spratt et al., 1990; Caldas et al., 2018). O princípio do cálculo da **PC** usando calorimetria indireta se baseia na relação estequiométrica da oxidação dos nutrientes durante o metabolismo animal.

Ao longo dos anos, grande parte dos estudos sobre metabolismo e utilização energética foram desenvolvidos principalmente em frangos de corte no sistema **EM**, e seus resultados têm sido aplicados para outras categorias de aves (NRC, 1994). No entanto, sabe-se que existem diferenças no aproveitamento de energia entre as diferentes categorias comerciais de aves. Estas diferenças estão associadas com idade, sexo, nível de produção, nível prévio de alimentação, genética, etc. (Zelenka, 1968), sendo necessário contrastar os resultados obtidos em aves em crescimento com outras categorias de aves de produção, permitindo futuras melhorias na nutrição comercial de aves. Em matrizes de corte, poucos estudos investigaram a partição da energia com base na **EM**, e, estudos com base na **EL** são ainda mais escassos. O presente estudo teve como objetivo descrever a dinâmica do particionamento e da utilização da energia ingerida para manutenção, deposição de tecidos e produção de ovos, bem como as exigências energéticas de matrizes de corte

5. Conclusion

The results of the study indicate that the net energy requirement for maintenance does not change during the reproductive cycle and represents an expenditure of 267 kJ/kg^{0.75} per day in broiler breeders under a feed-controlled program. Furthermore, energy is primarily used for maintenance and egg production in the net energy system, with extra energy stored preferentially as fat rather than protein.

REFERENCES

- Afrouziyeh, M., N. M. Zukiwsky, J. You, R. P. Kwakkel, D. R. Korver, and M. J. Zuidhof. 2022. Architecture of broiler breeder energy partitioning models. *Poult. Sci.* 101:101518. doi:10.1016/j.psj.2021.101518
- AOAC. 2005. Official Method of Analysis, Ash and Moisture Content. 15th rev. ed. Association of Official Anal. Chem., Arlington, USA.
- Barzegar, S., S. B. Wu, J. Noblet, M. Choct, and R. A. Swick. 2019. Energy efficiency and net energy prediction of feed in laying hens. *Poult. Sci.* 98:5746-5758. doi:10.3382/ps/pez362
- Bennett, P. M., and P. H. Harvey. 1987. Active and resting metabolism in birds: allometry, phylogeny and ecology. *J. Zool.* 213:327-344. doi:10.1111/j.1469-7998.1987.tb03708.x
- Brouwer, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. K.L. Blaxter (Ed.), *Energy metabolism of farm animals. Proc. 3 nd symposium on energy metabolism of farm animals. EAAP Publ. no. 11. Academic Press. London, UK*
- Caldas, J. V., K. Hilton, N. Boonsinchai, J. A. England, A. Mauromoustakos, and C. N. Coon. 2018. Dynamics of nutrient utilization, heat production, and body composition in broiler breeder hens during egg production. *Poult. Sci.* 97:2845-2853. doi:10.3382/ps/pey133
- Carneiro, P. R. O., R. Lunedo, M. F. Fernandez-Alarcon, G. Baldissera, G. G. Freitas, and M. Macari. 2019. Effect of different feed restriction programs on the performance and reproductive traits of broiler breeders. *Poult. Sci.* 98:4705-4715. doi:10.3382/ps/pez181

Cobb-Vantress. 2016. Guia de Manejo de Matrizes [internet]. Cobb-Vantress, Inc.; [cited 2016 Jun]. Available from: <https://silo.tips/download/guia-de-manejo-de-matrizes>

de Lange, K., J. van Milgen, J. Noblet, S. Dubois, and S. Birkett. 2006. Previous feeding level influences plateau heat production following a 24 h fast in growing pigs. *British J. Nutr.* 95:1082-1087. doi:10.1079/BJN20061748

Dixon, L.M., I. C. Dunn, S. Brocklehurst, L. Baker, T. Boswell, S. D, Caughey, A. Reid, V. Sandilands, P. W. Wilson, and R. B. D'Eath. 2022. The effects of feed restriction, time of day, and time since feeding on behavioral and physiological indicators of hunger in broiler breeder hens. *Poult. Sci.*, 101:101838. doi:10.1016/j.psj.2022.101838

Gous, R. M., and M. K. Nonis. 2010. Modelling egg production and nutrient responses in broiler breeder hens. *J. Agric. Sci.*, 148:287-301. doi:10.1017/s0021859610000183

Johnson, R. J., and D. J. Farrell. 1983. Energy metabolism of groups of broiler breeders in open-circuit respiration chambers. *Br. Poult. Sci.* 24:439-453. doi:10.1080/00071668308416760

Joyner, C. J., M. J. Peddie, and T. G. Taylor. 1987. The effect of age on egg production in the domestic hen. *Gen. Comp. Endocrinol.* 65:331-336. doi:10.1016/0016-6480(87)90117-1

Kielanowski, J. 1965. Estimates of the energy cost of protein deposition in growing animals. Pages 13-20 in *Energy metabolism*. K. L. Blaxter, ed. European association for animal production publication. Academic Press

- Koong, L. J., C. L. Ferrell, and J. A. Nienaber. 1985. Assessment of interrelationships among levels of intake and production, organ size and fasting heat production in growing animals. *J. Nutr.* 115:1383-1390. doi:10.1093/jn/115.10.1383
- Labussière, E., S. Dubois, J. van Milgen, and J. Noblet. 2013. Partitioning of heat production in growing pigs as a tool to improve the determination of efficiency of energy utilization. *Front. Physiol.* 4:146. doi:10.3389/fphys.2013.00146
- Labussière, E., G. Maxin, S. Dubois, J. Van Milgen, G. Bertrand, and J. Noblet. 2009. Effect of feed intake on heat production and protein and fat deposition in milk-fed veal calves. *Anim.* 3:557-567. doi:10.1017/S1751731108003777
- Labussière, E., J. Van Milgen, C. F. de Lange, and J. Noblet. 2011. Maintenance energy requirements of growing pigs and calves are influenced by feeding level. *J. Nutri.* 141:1855-1861. doi:10.3945/jn.111.141291
- Leeson, S., and J. D. Summers. 2009. *Commercial poultry nutrition*. 3th rev. ed. Nottingham University Press, Guelph, Ontario, Canada.
- Lighton, J. R. B. 2018. *Measuring metabolic rates: a manual for scientists*. Oxford University Press, Oxford. NY. doi:10.1093/acprof:oso/9780195310610.001.0001
- Liu, S. Y., H. H. Truong, and P. H. Selle. 2014. Whole-grain feeding for chicken-meat production: possible mechanisms driving enhanced energy utilisation and feed conversion. *Anim. Prod. Sci.* 55:559-572. doi:10.1071/AN13417

Noblet, J., C. Karege, S. Dubois, and J. Van Milgen. 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J. Anim. Sci.* 77:1208-1216. doi:10.2527/1999.7751208x

Rabello, C. B. V., N. K. Sakomura, F. A. Longo, and K. T. D. Resende. 2004. Efeito da temperatura ambiente e do sistema de criação sobre as exigências de energia metabolizável para manutenção de aves reprodutoras pesadas. *Rev. Bras. de Zootec.* 33:382-390. doi:10.1590/S1516-35982004000200015

Rabello, C.B.V., N. K. Sakomura, F. A. Longo, H. P. Couto, C. R. Pacheco, and J. B. K. Fernandes. 2006. Modelling energy utilization in broiler breeder hens. *Br. Poult. Sci.*, 47:622-631. doi:10.1080/00071660600963628

Renema, R. A., and F. E. Robinson. 2004. Defining normal: comparison of feed restriction and full feeding of female broiler breeders. *World's Poult. Sci. J.* 60:508-522. doi:10.1079/WPS200434

Reyes, M. E., C. Salas, and C. N. Coon. 2011. Energy requirement for maintenance and egg production for broiler breeder hens. *Int. J. Poult. Sci.* 10:913-920. doi:10.3923/ijps.2011.913.920

Romero, L. F., M. J. Zuidhof, R. A. Renema, F. E. Robinson, and A. Naeima. 2009. Nonlinear mixed models to study metabolizable energy utilization in broiler breeder hens. *Poult. Sci.* 88:1310-1320. doi: 10.3382/ps.2008-00102

Sakomura, N. K. and H. S. Rostagno. 2016. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2th rev. ed. Funep, Jaboticabal, SP.

Sakomura, N.K., R. Silva, H. P. Couto, C. Coon, and C. R. Pacheco. 2003. Modeling metabolizable energy utilization in broiler breeder pullets. *Poult. Sci.* 82:419-427. doi:10.1093/ps/82.3.419

Sakomura, N.K. 2004. Modeling energy utilization in broiler breeders, laying hens and broilers. *Braz. J. Poult. Sci.* 6:1-11. doi:10.1590/S1516-635X2004000100001

Salas, C., R. D. Ekmay, J. England, S. Cerrate, and C. N. Coon. 2012. Determination of chicken body composition measured by dual energy x-ray absorptiometry. *Int. J. Poult. Sci.* 11:462. doi:10.3923/ijps.2012.462.468

Spratt, R. S., H. S. Bayley, B. W. McBride, and S. Leeson. 1990a. Energy metabolism of broiler breeder hens.: 1. The partition of dietary energy intake. *Poult. Sci.* 69:1339-1347. doi:10.3382/ps.0691339

Spratt, R. S., B. W. McBride, H. S. Bayley, and S. Leeson. 1990b. Energy metabolism of broiler breeder hens.: 2. Contribution of tissues to total heat production in fed and fasted hens. *Poult. Sci.* 69:1348-1356. doi:10.3382/ps.0691348

Teofilo, G. F. S., R. R. Lizana, R. S. Camargos, B. B. Leme, F. A. H. Morillo, R. L. Silva, J. B. K. Fernandes, and N. K. Sakomura. 2022. Effect of feed restriction on the maintenance energy requirement of broiler breeders. *Anim. Biosci.* 35:690. doi:10.5713/ab.21.0183

Van der Klein, S. A. S., G. Y. Bédécarrats, and M. J. Zuidhof. 2020. Modeling life-time energy partitioning in broiler breeders with differing body weight and rearing photoperiods. *Poult. Sci.* 99:4421-4435. doi:10.1016/j.psj.2020.05.016

Vignale, K., J. V. Caldas, J. A. England, N. Boonsinchai, P. Sodsee, M. Putsakum, E. D. Pollock, S. Dridi, and C. N. Coon. 2017. The effect of four different feeding regimens from rearing period to sexual maturity on breast muscle protein turnover in broiler breeder parent stock. *Poult. Sci.* 96:1219-1227. doi:10.3382/ps/pew369

Zubair, A. K. and S. Leeson. 1994. Effect of early feed restriction and realimentation on heat production and changes in sizes of digestive organs of male broilers. *Poult. Sci.* 73:529-538. doi:10.3382/ps.0730529

Zuidhof, M. J. 2019. A review of dietary metabolizable and net energy: Uncoupling heat production and retained energy. *J. Appl. Poult. Res.* 28:231-241. doi:10.3382/japr/pfx062

Zuidhof, M. J. 2020. Multiphasic poultry growth models: method and application. *Poult. Sci.* 99:5607-5614. doi:10.1016/j.psj.2020.08.049