

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 28/04/2024.

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

**EFEITO DA PROTEÍNA BALANCEADA NA FORMAÇÃO DA  
FRANGA E NA PRODUÇÃO DE POEDEIRAS**

**Ingryd Palloma Teodósio da Nóbrega**

Zootecnista

**2022**

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

**EFEITO DA PROTEÍNA BALANCEADA NA FORMAÇÃO DA  
FRANGA E NA PRODUÇÃO DE POEDEIRAS**

**Msc. Ingrid Palloma Teodósio da Nóbrega**

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nilva Kazue Sakomura**

**Co-orientador: Dr. Matheus de Paula Reis**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de doutor (a) em Zootecnia.

## FICHA CATALOGRÁFICA

N754e Nóbrega, Ingrid Palloma Teodósio da  
Efeito da proteína balanceada na formação da franga e na  
produção de poedeiras / Ingrid Palloma Teodósio da Nóbrega.  
-- Jaboticabal, 2022  
109 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientadora: Nilva Kazue Sakomura  
Coorientadora: Matheus de Paula Reis

1. Nutrição animal. 2. Aminoácidos na nutrição. 3. Aves  
domésticas Alimentação e rações. 4. Ovos Produção. 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.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

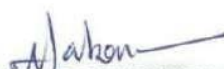
TÍTULO DA TESE: EFEITO DA PROTEÍNA BALANCEADA NA FORMAÇÃO DA FRANGA E NA PRODUÇÃO DE POEDEIRAS

AUTORA: INGRYD PALLOMA TEODÓSIO DA NÓBREGA

ORIENTADORA: NILVA KAZUE SAKOMURA

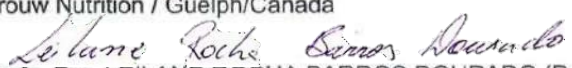
COORIENTADOR: MATHEUS DE PAULA REIS

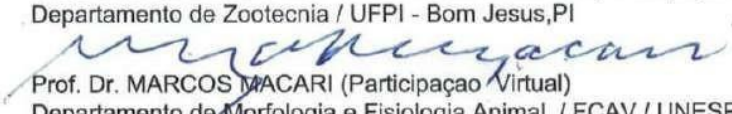
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

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

  
Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Dra. NAYARA TAVARES FERREIRA (Participação Virtual)  
Trouw Nutrition / Guelph/Canadá

  
Profa. Dra. LEILANE ROCHA BARROS DOURADO (Participação Virtual)  
Departamento de Zootecnia / UFPI - Bom Jesus, PI

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

Jaboticabal, 28 de abril de 2022

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

INGRYD PALLEMA TEODÓSIO DA NÓBREGA, nascida no dia 15 de maio de 1993 em Princesa Isabel, Paraíba, Brasil, filha de Afonso da Nóbrega e Jailma Teodósio da Silva. Ingressou no curso de Zootecnia em 2011 na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus de Serra Talhada, graduando-se em 2016, sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Thaysa Rodrigues Torres. Em agosto de 2016 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, sob a orientação do Prof. Dr. Edney Pereira da Silva, sendo bolsista CNPq, obtendo o título de mestre em Zootecnia em fevereiro de 2018. Em março de 2018, iniciou as atividades de doutorado em Zootecnia no mesmo programa sob orientação da Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura, sendo bolsista CAPES, submetendo-se à defesa da tese em abril de 2022.

Lembre-se da minha ordem: “Seja forte e corajoso! Não fique desanimado, nem tenha medo, porque eu, o Senhor, seu Deus, estarei com você em qualquer lugar para onde você for!”

Josué 1:9

**Dedico...**

À Jesus, Maravilhoso Conselheiro, Deus poderoso, Pai Eterno, Príncipe  
da paz.



## AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo Espírito Santo, pela capacitação, sabedoria e consolo.

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Jaboticabal e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, pela oportunidade acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - 88882.330322/2019-01

À empresa DSM Innovation & Applied Science – Brasil, pelo apoio financeiro ao estudo e a Letícia Cardoso Bittencourt pelo apoio técnico.

À empresa Lohmann Planalto pela doação das aves para condução desta pesquisa.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nilva Kazue Sakomura pela oportunidade e confiança em conceder este estudo aos meus cuidados. Agradeço o apoio oferecido e o conhecimento compartilhado ao longo desses anos. Também agradeço pelas conversas e aconselhamentos que foram primordiais para o meu desenvolvimento profissional.

Ao Dr<sup>o</sup> Matheus de Paula Reis pelos ensinamentos ao longo do doutorado, pela disponibilidade, dedicação, colaboração e orientação para a condução dessa pesquisa e para elaboração dos artigos científicos que compõem essa tese.

Aos integrantes e ex-integrantes do Laboratório de Ciências Avícolas, entre eles: graduandos, pós-graduando, técnicos e estagiários pela ajuda para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos alunos do Técnico Agrícola pela cooperação.

Aos meus companheiros Thaya Moura, Guilherme Teofilo, Freddy Horna e Matheus Reis pelo relacionamento desenvolvido aos longos desses anos.

Pelas conversas confrontantes, mas muito edificantes, pela parceria e pela ajuda.

À minha amiga e irmã Érika Nayara por estar ao meu lado durante esses anos, me ajudando com o experimento, me suportando em amor, me consolando, me fortalecendo e me animando ao longo dos anos.

À minha família da fé da Comunidade Cristã de Jaboticabal, pelo consolo, conforto, pelos momentos de lutas e alegrias compartilhados ao longo desses anos.

O meu muito obrigado a todos que me ajudaram nessa jornada.



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 "**Diferentes relações de energia/proteína balanceada: Efeito da composição corporal no ciclo produtivo**", protocolo nº 012598/2018, sob a responsabilidade da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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 extraordinária de 14 de fevereiro de 2019.

Vigência do Projeto	11/03/2019 a 15/04/2021
Espécie / Linhagem	Aves Lohmman LSL-LITE
Nº de animais	1000
Peso / Idade	± 1.800 kg / 101 semanas
Sexo	Fêmeas
Origem	Incubatório Lohmman do Brasil – Nova Granada/SP

Jaboticabal, 14 de fevereiro de 2019.

*Fabiana Pilarski*  
**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiana Pilarski**  
Coordenadora – CEUA

## EFEITO DA PROTEÍNA BALANCEADA NA FORMAÇÃO DA FRANGA E NA PRODUÇÃO DE POEDEIRAS

**Resumo** - Esta pesquisa foi realizada para estudar como níveis de proteína balanceada em cinco cenários de nutrição diferentes: controle, baixo, alto, depleção e repleção afetam o desenvolvimento, composição corporal, desempenho produtivo e qualidade dos ovos em galinhas poedeiras. Um total de 600 frangas da linhagem Lohmann-LSL Lite NA de 8 semanas foram distribuídas aleatoriamente em 5 tratamentos: Controle (**CC**, 100% da BP desde a recria até o período de postura), Baixo (**LL**, -20% BP Controle), Alto (**HH**, +20% BP Controle), repleção (**LH**, -20% de controle de BP na recria e +20% de controle de BP na postura) e depleção (**HL**, +20% de controle de BP na recria e -20% de controle de BP na postura). As rações experimentais para os períodos de recria (8-18 semanas) e postura (19 – 102 semanas) foram formuladas para atender as recomendações nutricionais do programa nutricional da Lohmann. As variáveis resposta avaliadas foram desempenho (produção de ovos, %; peso do ovo, g/ovo; massa de ovo, g; conversão alimentar, CA, g/g), composição corporal (porcentagem de proteína, gordura, cinzas e água) e qualidade do ovo (proporções de gema, albúmen, casca de ovo, resistência e espessura da casca). Análises de regressão foram realizadas para descrever as variações na composição corporal e dos ovos para os tratamentos **CC**, **LL** e **HH** ao longo da vida. Para avaliar a mudança nos níveis de BP no período completo de postura, foram realizados os seguintes contrastes ortogonais para desempenho, composição corporal e qualidade dos ovos: repleção (**LL** vs **LH**) e depleção (**HH** vs **HL**). Galinhas alimentadas com **LL** afetaram negativamente suas variáveis de desempenho sem afetar a composição corporal e a qualidade dos ovos; no entanto, as galinhas alimentadas com **HH** aumentaram o peso corporal (g/ave), gordura (%), massa de ovos (g/ave), enquanto a proteína corporal (%), cinzas (%) e água (%) foi reduzida. Galinhas poedeiras submetidas à repleção da BP melhoram o desempenho, aumentam o peso corporal (g/ave) e gordura (%) reduzindo proteína corporal (%) e cinzas (%); entretanto, a depleção da **BP** prejudicou o peso do ovo (g), a produção de ovos (g/ave) e a CA (g/g) sem afetar a composição corporal, a produção de ovos (%) e a qualidade dos ovos. Pode-se concluir que o regime prévio e contínuo do nível de **BP** no período de postura afeta o desempenho, a composição corporal e a qualidade dos ovos.

**Palavras-chave:** Conteúdo de composição corporal, componentes do ovo, produção de ovos, proteína balanceada, galinhas poedeiras

## EFFECT OF BALANCED PROTEIN ON DEVELOPMENT AND EGG PRODUCTION IN LAYING HENS

### Abstract

This research was carried out to study how a balanced protein levels in five different scenarios of nutrition: control, low, high, depletion, and repletion affects the development, body composition, laying rate, and egg quality in laying hens. A total of 600 8-week-pullets (Lohmann-LSL Lite NA) were randomized allocated in 5 treatments: Control (**CC**, 100% of BP from rearing to laying period), Low (**LL**, -20% BP Control), High (**HH**, +20% BP Control), repletion (**LH**, -20% BP control on rearing period and +20% BP control on laying period), and depletion (**HL**, +20% BP control on rearing period and -20% BP control on laying period). The experimental feeds for rearing (8-18 weeks) and laying (19 – 102 weeks) periods were formulated to meet the nutritional recommendations of nutritional program of Lohmann. The response variables evaluated were performance (Egg production, %; Egg weight, g/egg; egg output, g; fed conversion ratio, FCR, g/g), body composition (percentages of protein, fat, and ash), and egg quality (proportions of yolk, albumen, eggshell, shell strength and thickness). Regression analyses were performed to describe the variations in body and egg composition for treatment **CC**, **LL**, and **HH** along lifetime. To assess the change in **BP** levels over laying periods, the following orthogonal contrast for performance, body composition and egg quality were performed: repletion (**LL** vs **LH**) and depletion (**HH** vs **HL**). Hens fed with **LL** negatively affect their performance variables without affect the body composition and egg quality; however, hens fed with **HH** increase body weight (g/bird), fat (%), egg mass (g/bird) meanwhile body protein (%), ash (%), and water (%) was reduced. Laying hens subjected to **BP** repletion improve performance, increase body weight (g/bird) and fat (%) reducing body protein (%) and ash (%); however, **BP** depletion impair egg weight (g), egg output (g/bird), **FCR** without affecting body composition, egg production (%), and egg quality. It can be concluded that previous and continuous regime of **BP** level on laying period affect the performance, body composition and egg quality.

**Keywords:** Body composition content, egg components, egg production, balanced protein, laying hens

## **CAPÍTULO 1 – Considerações gerais**

### **INTRODUÇÃO**

Os geneticistas têm sido bem-sucedidos no aumento do número de ovos produzidos por ave alojada como evidenciado pelos relatórios produtivos nos últimos anos (Lohmann-LSL Management Guide 2011, Lohmann-LSL Lite Management Guide 2019). A extensão do ciclo de postura de 90 para 100 semanas de idade na última década resultou em um aumento de aproximadamente 100 ovos a mais por ave alojada, além do mais, as aves se tornaram mais eficientes, resultando em uma redução de mais de 10% na ração consumida por ovo produzido (Leentfaar, 2020).

O progresso genético e os ciclos mais longos de postura têm consequências diretas para a nutrição das aves, a qual exerce papel estratégico na busca por melhores índices produtivos, econômicos e ambientais. Nesse sentido, o aporte proteico no período de crescimento e produção é de extrema importância para a síntese de proteína no corpo, desenvolvimento dos órgãos reprodutivos e características de produção (Soares et. al, 2019; Bregendahl et al. 2008).

A restrição dos aminoácidos essenciais na fase que antecede a postura (pré-postura) pode provocar um atraso no início da postura e no peso inicial dos ovos, podendo inviabilizar a produção de ovos além das 90 semanas de idade (Keshavarz e Jackson,1992). Adicionalmente, a falta de equilíbrio dos aminoácidos essenciais na dieta pode afetar a performance das aves na fase de postura, o tamanho do ovo e a relação dos componentes interno (gema e albúmen) e externo (casca) do ovo, sendo estes fatores importantes para o produtor e para a indústria de ovos processados (Mousavi et al., 2013; Novak et al., 2004).

Trabalhos recentes demonstraram que o aumento dos níveis de proteína balanceada na dieta de poedeiras impactou positivamente a produção de ovo, o peso do ovo, a massa de ovo e a relação dos componentes do ovo (Bregendahl et al., 2008; Bonekamp et al.,2010; Kumar et al., 2018 a, 2018 b). Kumar e colaboradores observaram que tanto o aumento como a redução da BP na dieta

modificaram o teor de gordura abdominal e musculo peitoral de poedeiras no período de 27 a 66 semanas de idade.

Algumas pesquisas demonstraram que matrizes de frango de corte podem usar os componentes corporais para manter a produção de ovos quando os níveis nutricionais são inferiores a exigência das aves (Nonis e Gous, 2012; Nonis e Gous 2016; Vignale et al., 2016; Caldas et al. 2018). No entanto, não há evidências de como esse mecanismo ocorre em poedeiras leves e como a redução ou aumento da proteína balanceada na dieta influencia a dinâmica dos componentes do corpo e do ovo ao longo do tempo. Tendo em vista que o teor de proteína balanceada pode afetar o crescimento de matriz em crescimento, impactando o desempenho reprodutivo (Van Emous et al., 2012; Oviedo-Rondon et al., 2022), levantamos a hipótese de que baixos níveis de proteína balanceados afeta a formação de frangas e a composição corporal subsequente, levando a uma mudança no ciclo de postura a longo prazo e na relação dos componentes do ovo. Assim, os objetivos deste estudo foram: 1-Compreender como os níveis de proteína induzem variações na composição corporal e nos componentes do ovo ao longo da idade das aves; 2-Avaliar o impacto da repleção e depleção da proteína balanceada na dieta de postura sobre a composição corporal, o desempenho e a qualidade dos ovos em poedeiras submetidas a dietas de alta e baixa nutrição proteica durante o período de recria.

## **Conclusion**

The results presented herein demonstrate how pullets respond to dietary balanced protein and the consequences of a repletion or a depletion of dietary balanced protein in the laying phase. The adverse effects of reducing the balanced protein in the growing phase were minimized by repleting the dietary balanced protein in the laying period. On the other hand, depletion of balanced protein in the layer phase reduced the performance of hens, reaching similar results of hens consuming the lower protein diet during the whole study.

## **Acknowledgments**

The authors would like to thank the CAPES – Brazil, grant number 88882.330322/2019-01. We are also grateful to DSM Innovation & Applied Science - Brazil For the financial support of this study.

## **Declaration of interest**

The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this article.

## **Software and data repository resources**



None of the data was deposited in an official repository. The data can be obtained from the authors upon request.

## References

- Akaike H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19, 716–723. doi:10.1109/ TAC.1974.1100705
- Al-Saffar, A. A. and Rose, S. P. 2002. The response of laying hens to dietary amino acids. *World's Poultry Science Journal*, 58(2), pp.209-234.  
<https://doi.org/10.1079/WPS20020019>
- Alves, W. J., Malheiros, E. B., Sakomura, N. K., Silva, E. P., Viana, G. S., Reis, M. P., Gonçalves, C. A. and Suzuki, R. A. 2019. In vivo description of body growth and chemical components of egg-laying pullets. *Livestock Science* 220, 221–229.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.023>
- Azevedo, J. M., de Paula Reis, M., Gous, R. M., de Paula Dorigam, J. C., Leme, B. B. and Sakomura, N. K. 2021. Response of broilers to dietary balanced protein. 1. Feed intake and growth. *Animal Production Science*, 61(14), pp.1425-1434.  
<https://doi.org/10.1071/AN20655>
- Babiker, M. S., Abbas, S. A., Kijora, C. and Danier, J. 2010. The effect of dietary protein and energy levels during the growing period of egg-type pullets on internal egg characteristics of phase one of production in arid hot climate. *International Journal of Poultry Science*, 10(9), 697-704. ISSN 1682-8356
- Bendezu, H. C. P., Sakomura, N. K., Malheiros, E. B., Gous, R. M., Ferreira, N. T. and Fernandes, J. B. K. 2019. Modelling the egg components and internal cycle length of laying hens. *Animal Production Science*, 59(3), pp.420-426.  
<https://doi.org/10.1071/AN17215>

- Bouvarel, I., Nys, Y. and Lescoat, P. 2011. Hen nutrition for sustained egg quality. Pages 261-290 in *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*. Nys, Y., Bain, M. and Vanimmerseel, F, Cambridge, England. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.3.261>
- Bregendahl, K., Roberts, S. A., Kerr, B. and Hoehler, D. 2008. Ideal ratios of isoleucine, methionine, methionine plus cysteine, threonine, tryptophan and valine relative to lysine for white Leghorn-type laying hens of twenty-eight to thirty-four weeks of age. *Poultry Science* 87, 744-758. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00412>
- Bregendahl, K., Sell, J. L. and Zimmerman, D. R. 2002. Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poultry science*, 81(8), pp.1156-1167. <https://doi.org/10.1093/ps/81.8.1156>
- Burley, H. K., Patterson, P. H. and Elliot, M. A. 2013. Effect of a reduced crude protein, amino acid-balanced diet on hen performance, production costs, and ammonia emissions in a commercial laying hen flock. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(2), pp.217-228. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00609>
- Cheng, T. K., Peguri, A., Hamre, M. L. and Coon, C. N. 1991. Effect of rearing regimens on pullet growth and subsequent laying performance. *Poultry Science*, 70(4), pp.907-916. <https://doi.org/10.3382/ps.0700907>
- Cicccone, N. A., Dunn, I. C., Boswell, T., Tsutsuni, K., Ubuka, T., Ukena, K. and Sharp, P. J. 2004. Gonadotrophin inhibitory hormone depresses gonadotrophin  $\alpha$  and follicle stimulating hormone  $\beta$  subunit expression in the pituitary of the domestic chicken. *Journal of Neuroendocrinology* 16: 999-1006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2826.2005.01260.x>

- Du, Y. Liu, L. He, Y. Dou, T. Jia, J. and Ge, C. 2020. Endocrine and genetic factors affecting egg laying performance in chickens: a review, *British Poultry Science*, 61:5, 538-549, Doi: 10.1080/00071668.2020.1758299
- Eits, R. M., Kwakkel, R. P., Verstegen, M. W. A. and Den Hartog, L. A. 2005. Dietary balanced protein in broiler chickens. 1. A flexible and practical tool to predict dose–response curves. *British Poultry Science*, 46(3), pp.300-309. doi:10.1080/00071660500126656.
- Flock, D. K. 1980. Genetic improvement of egg production in laying type chickens. Pages 214–224 in *Selection Experiments in Laboratory and Domestic Animals*. A.
- Grossman, M., Gossman, T. N., and Koops, A. W. 2000. A model for persistency of egg production. *Poultry Science*, 79(12), 1715-1724. <https://doi.org/10.1093/ps/79.12.1715>
- Hanlon, C., Takeshima, K., and Bédécarrats, G. Y. 2021. Changes in the Control of the Hypothalamic-Pituitary Gonadal Axis Across Three Differentially Selected Strains of Laying Hens (*Gallus gallus domesticus*). *Frontiers in physiology*, 12. 10.3389/fphys.2021.651491
- Hurwitz, S. and Bornstein, S. 1973. The protein and amino acid requirement of laying hens: Suggested models for calculation. *Poult. Sci.*, 52: 1124-1134. <https://doi.org/10.3382/ps.0521124>
- Hussein, A. S. 2002. Effect of dietary protein programs on pullet development and egg production performance of local hens. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, pp.34-44. doi: 10.9755/ejfa.v14i1.4983
- Khajali, F., Faraji, M. and Dehkordi, S. K. 2007. Effects of reduced-protein diets at constant total sulfur amino acids: lysine ratio on pullet development and subsequent

laying hen performance. American Journal of Animal and Veterinary Sciences.  
ISSN 1557-4555

Kumar, D., Raginski, C., Schwean-Lardner, K. and Classen, H. L. 2018 a. Assessing the performance response of laying hens to intake levels of digestible balanced protein from 27 to 66 wk of age. Canadian Journal of Animal Science, 98 (suppl. 4), 801-808. <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0132>

Kumar, D., Raginski, C., Schwean-Lardner, K. and Classen, H. L. 2018 b. Assessing the response of hen weight, body composition, feather score, egg quality, and level of excreta nitrogen content to digestible balanced protein intake of laying hens. Canadian Journal of Animal Science, 98 (suppl. 4), 619-630. <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0134>

Leeson, S. and Summers, J. D. 1989. Response of Leghorn pullets to protein and energy in the diet when reared in regular or hot-cyclic environments. Poultry Science, 68(4), pp.546-557. <https://doi.org/10.3382/ps.0680546>

Leeson, S., and J. D. Summers. 1981. Effect of rearing diet on performance of early maturing pullets. Canadian Journal of Animal Science. 61(3): 743-749. <https://doi.org/10.4141/cjas81-089>

Leeson, S., Caston, L. and Summers, J. D. 1997. Layer performance of four strains of Leghorn pullets subjected to various rearing programs. Poultry Science, 76(1), pp.1-5. <https://doi.org/10.1093/ps/76.1.1>

Lemme, A. 2009. Amino acid recommendations for laying hens. Lohmann Information, 44, (suppl. 2), 21-32.

Lewis, P. D. and Morris, T. R. 2006. Poultry lighting: the theory and practice. Northcot. Lohmann-LSL Lite NA Management Guide. 2019. Lohmann Tierzucht GmbH, Cuxhaven, Germany.

- Muir, W. M., 1990. Association between persistency of lay and partial record egg production in White Leghorn hens and implications to selection programs for annual egg production. *Poultry Sci.* 69:1447–1454. <https://doi.org/10.3382/ps.0691447>
- Nascimento, M. Q., Gous, R. M., Reis, M. P., Viana, G. S., Nogueira, B. R. F., and Sakomura, N. K. 2021. Gut capacity of broiler breeder hens. *British Poultry Science*, 62(5), 710-716. <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1912290>
- Novak, C. L., Yakout, H. M. and Remus, J. 2008. Response to varying dietary energy and protein with or without enzyme supplementation on leghorn performance and economics. 2. Laying period. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(1), pp.17-33. <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00126>
- Novak, C., Yakout, H. M. and Scheideler, S. E. 2006. The effect of dietary protein level and total sulfur amino acid:lysine ratio on egg production parameters and egg yield in hy-line w-98 hens1. *Poultry Science* 85, 2195-2206 <https://doi.org/10.1093/ps/85.12.2195>
- Ocak, N. and Sungu, M. 2009. Growth and egg production of layer pullets can be affected by the method of supplying energy and protein sources. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(11), pp.1963-1968. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3684>
- Pottgüter, R., 2016. Feeding laying hens to 100 weeks of age. *Lohmann Inf*, 50, pp.18-21.
- Scanes, C. G. 1984. Hypothalamic, pituitary and gonadal hormones. Pages 1-14 in *Reproductive Biology of Poultry*, Cunningham, F. J., Lake, P. E. and Hewitt, D. Harlow, Longman Group.
- Shim, M. Y., Song, E., Billard, L., Aggrey, S. E., Pesti, G. M., Sodsee, P. 2013. Effects of balanced dietary protein levels on egg production and egg quality parameters of

individual commercial layers. Poultry science, 92 (suppl. 10), 2687-2696.

<https://doi.org/10.3382/ps.2012-02569>

Silva, E. P., Sakomura, N. K., Dorigam, J. C. P., Lima, M. B., Malheiros, E. B. and Fernandes, J. B. K. 2021. Sulfur amino acid requirements for pullets in growth and pre-laying trials. Animal Production Science, 61(15), pp.1526-1533.

<https://doi.org/10.1071/AN20448>

Spratt, R.S. and Leeson, S. 1987. Broiler breeder performance in response to diet protein and energy. Poultry Science, 66(4), pp.683-693.

<https://doi.org/10.3382/ps.0660683>

Summers, J.D., Leeson, S. and Spratt, D. 1987. Rearing early maturing pullets. Poultry Science, 66(11), pp.1750-1757. <https://doi.org/10.3382/ps.0661750>

Thiele, H.H., 2012. Management tools to influence egg weight in commercial layers. Lohmann Information, 47(1), p.21.

Van Emous, R. A., Kwakkel, R. P., Van Krimpen, M. M. and Hendriks, W. H. 2015. Effects of dietary protein levels during rearing and dietary energy levels during lay on body composition and reproduction in broiler breeder females. Poultry Science, 94(5), pp.1030-1042. <https://doi.org/10.3382/ps/pev079>

VSN International. 2017. Genstat 17th edition (VSN Ltd: Hemel Hempstead, UK).