UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

THIAGO WILLIAM DE ALMEIDA

Rações formuladas por meio da programação linear e não linear para poedeiras comerciais

Pirassununga

2016

THIAGO WILLIAM DE ALMEIDA

Rações formuladas por meio da programação linear e não linear para poedeiras comerciais

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Daniel Emygdio de Faria Filho

Pirassununga

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A447r

Almeida, Thiago William de
Rações formuladas por meio da programação linear e não linear para poedeiras comerciais / Thiago William de Almeida ; orientador Daniel Emygdio de Faria Filho. -- Pirassununga, 2016.
43 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Metanálise. 2. Modelos matemáticos. 3. Avicultura. 4. Galinhas poedeiras . 5. Formulação de ração. I. Faria Filho, Daniel Emygdio de, orient. II. Título.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - o autor

Rações formuladas por meio da programação linear e não linear para poedeiras comerciais

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Data de aprovação: 29 / 07 / 2016

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Daniel Emygdio de Faria Filho
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. César Gonçalves de Lima
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Manoel Garcia Neto
Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. Messias Alves da Trindade Neto
Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus,

À toda minha família, em especial ao meu pai Benedito Gonçalves de Almeida e minha mãe Maria Ap. Coelho de Almeida pelo amor e empenho na minha criação e apoio nas horas mais difíceis,

Ao Professor, orientador Daniel Emygdio de Faria Filho pela confiança e dedicação oferecidas a mim, tendo enorme influência na consolidação e construção de conhecimentos na minha formação profissional,

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos pelas condições e oportunidades oferecidas,

À toda a equipe do Laboratório de Avicultura da FZEA/USP que ajudaram neste trabalho,

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio à pesquisa tornando viável a execução deste trabalho,

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado,

À toda equipe da Pós-graduação em Zootecnia da FZEA/USP campus de Pirassununga SP,

Aos funcionários do campus, secretaria do ZAZ e Pós-graduação, setor de avicultura e fábrica de ração, todos que ajudaram, direta ou indiretamente, para que este trabalho fosse realizado.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

ALMEIDA, T. W. **Rações formuladas por meio da programação linear e não linear para poedeiras comerciais**. 2016. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de comparar a formulação de ração por meio da programação linear (custo mínimo) e programação não linear (lucro máximo) para poedeiras comerciais. Utilizou-se 288 poedeiras da linhagem Hisex® White de 33 a 45 semanas de idade, com 1,540 ± 0,1167 kg de peso corporal. As aves foram distribuídas em delineamento em blocos ao acaso, com seis tratamentos com seis repetições de oito aves cada, totalizando 36 parcelas. Os tratamentos experimentais foram: 1) ração de custo mínimo com exigências nutricionais das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos; 2) ração de custo mínimo com as exigências nutricionais recomendadas pelo Manual da Linhagem; 3) ração de custo mínimo com exigências nutricionais obtidas de modelos matemáticos para otimização de desempenho; 4) ração de lucro máximo em cenário de mercado normal; 5) ração de lucro máximo em cenário de mercado favorável; e 6) ração de lucro máximo em cenário de mercado desfavorável. O desempenho foi avaliado por meio do consumo de ração, produção de ovos, peso dos ovos, massa de ovos e conversão alimentar. Na qualidade interna e externa, em quatro ovos por parcela, foram avaliadas o peso do ovo, gravidade específica, resistência à quebra da casca, peso da casca, espessura da casca, coloração da gema, altura de albúmen e unidade Haugh. Para avaliação econômica calculou-se o lucro. Os dados foram submetidos a análise de variância e em caso de significância ($P<0,05$) foi aplicado o teste de Scott-Knott (5%). Não houve diferença estatística ($P>0,05$) para a unidade Haugh, altura do albúmen e para as características de qualidade externa de ovos. Verificou-se efeito de tratamento ($P<0,05$) nas características de desempenho e qualidade de ovos por meio do valor absoluto e relativos de albúmen e gema. De forma geral, os tratamentos com as exigências obtidas pelos modelos matemáticos seguido das obtidas pelo manual da linhagem, ambos da programação linear, proporcionaram melhores resultados de desempenho, pois as rações foram nutricionalmente mais densas, no entanto, pioraram os resultados econômicos. Conclui-se que rações formuladas por meio de programação linear propiciaram as aves melhor desempenho, todavia, sem correspondente benefício econômico comparadas as rações formuladas por meio de programação não linear.

Palavras-chave: Modelos matemáticos. Nutrição. Retorno decrescente.

ABSTRACT

ALMEIDA, T. W. **Diets formulated by linear and nonlinear programming for commercial laying hens**. 2016. 43 f. M.Sc. Dissertation - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

This study aimed to compares the feed formulation using linear (minimal cost) and non-linear (maximum profit) programming for commercial hens. Thus, 288 Hisex® white layer hens, from 33 to 45 weeks old, with 1,54 ± 0,12 kg of BWwere used. The hens were distributed in randomized blocks, with six treatments and six replicates with eight birds per replicate, totaling 36 plots. The treatments were: 1) minimum cost feed formulation, with nutritional requirements proposed by Rostagno et al. (2011); 2) minimum cost feed formulation, with nutritional requirements recommended by strain management guide; 3) minimum cost feed formulation, with nutritional requirements obtained from mathematical models for performance optimization; 4) maximum profit feed formulation in normal market scenario; 5) maximum profit feed formulation in favorable market scenario; and 6) maximum profit feed formulation in an unfavorable market scenario. The performance was evaluated from feed intake, egg production, egg weight, egg mass and feed conversion ratio. In four eggs per pen was evaluated the internal and external egg quality: egg weight, specific gravity, shell resistance, shell weight, shell thickness, yolk color, albumen height and Haugh unit. To economic evaluation, profit was calculated. Data were submitted to variance analyses and when significant ($P<0.05$) Scott-Knott test (5%) was applied. There was no statistical difference ($P>0.05$) for Haugh unit, albumen height and external quality of the eggs. There was effect of treatment ($P<0.05$) on performance and eggs quality from absolute and relative values of yolk and albumen. In general, treatments with requirements obtained by mathematical models or by strain management guide, both from linear programming, improved the performance results, since diets were denser nutritionally, however, worsened the economic results. In summary, feed formulated by linear programming improves performance, however, worsens economic results compared with nonlinear programming.

Keywords: Diminishing returns. Mathematical modeling. Nutrition.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO **7**

OBJETIVOS **8**

Objetivo geral 8

Objetivos específicos 8

REVISÃO DE LITERATURA **9**

Ração 9

Aspectos do custo com a alimentação 9

Lucratividade do sistema de produção 10

Métodos de formulação 11

Formulação de ração por meio da programação linear 12

Formulação de ração por meio da programação não linear 14

Pesquisas envolvendo formulação não linear 17

REFERÊNCIAS **20**

CAPÍTULO II

Formulação de ração com o uso da programação não linear sobre o desempenho e qualidade de ovos de poedeiras comerciais **24**

RESUMO **24**

ABSTRACT **25**

IMPLICAÇÕES **26**

INTRODUÇÃO **26**

MATERIAL E MÉTODOS **28**

Aves, delineamento experimental e manejo 28

Descrição dos tratamentos 28

Características avaliadas 34

Análises estatísticas 34

RESULTADOS **35**

DISCUSSÃO **38**

CONCLUSÃO **40**

REFERÊNCIAS **40**

ANEXO A – Parecer consubstanciado da Comissão de Ética no Uso de Animais **43**

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O Brasil é o sétimo maior produtor de ovos do mundo, responsável por 3% da produção mundial (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2015). Dentre os estados brasileiros, São Paulo é o que se destaca em relação à produção de ovos, com 33,24% da produção brasileira em 2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2016). Segundo dados da (ABPA, 2016), em 2015 o mercado interno brasileiro foi responsável pelo consumo de 99% da produção total de ovos. A média de consumo foi de 191 ovos/habitante/ano, número 4,71% e 12,04% superior ao obtido em 2014 e 2013, que era de 182 e 168 ovos/habitante/ano, respectivamente (ABPA, 2016). É evidente o crescimento no número de consumidores de ovos, destacando a importância da avicultura de postura para o agronegócio brasileiro. Diversos fatores têm contribuído para o crescimento da avicultura de postura, dentre os quais insere-se o aperfeiçoamento de técnicas de manejo melhores condições ambientais, melhoria do potencial genético das aves, diminuição na idade de maturidade sexual da ave e programa nutricional adequado. Esses fatores são necessários para aumentar os índices zootécnicos e atender a alta demanda do mercado consumidor (BRUMANO *et al*., 2010; GARCIA, 2004).

As exigências nutricionais das aves são influenciadas por fatores como: linhagem, idade, consumo de ração, ambiência e manejo animal. É importante atender as exigências nutricionais das aves com rações balanceadas, afim de, assegurar bons índices de desempenho e a qualidade dos ovos (HURWITZ; SKLAN; BARTOV, 1978; PERSIO *et al.*, 2015). As recomendações dos níveis nutricionais das rações de poedeiras são baseadas, principalmente, em respostas de desempenho (ROSTAGNO *et al*., 2011).

Na produção animal, os gastos com a alimentação são os que mais oneram os custos de produção. Formular rações que permitam maior eficiência produtiva e econômica é um grande desafio. Para isso, rações de custo mínimo são alternativas mais usuais para minimizar os custos com a alimentação (ROSTAGNO *et al*., 2011), mas também existem outros métodos que envolvem o uso de modelos matemáticos para tomada de decisões e a programação não linear.

Na programação não linear o objetivo não é maximizar o desempenho do animal, mas sim o lucro. Para formular rações utilizando a programação não linear é necessário o uso de modelos matemáticos que irão predizer o desempenho em função dos níveis nutricionais e conforme os preços dos ingredientes e preço pago pelo produto final, será obtida a ração de

lucro máximo. Os níveis nutricionais obtidos pela programação não linear são normalmente menores do que os utilizados para maximizar o desempenho.

Na literatura, são poucos trabalhos que abordam a utilização da programação não linear para formular rações de poedeiras comerciais. Afrouziyeh et al. (2010) e Afrouziyeh et al. (2011) formularam rações de lucro máximo para poedeiras comerciais de 24 a 32 e de 32 a 44 semanas de idade, respectivamente. Esses autores variaram o nível de energia metabolizável, de acordo com o cenário econômico, afim de maximizar o lucro. Os autores observaram que os níveis de energia gerados pela programação não linear foram menores em comparação a programação linear, e que, o nível para maximizar a lucratividade varia de acordo com as condições de mercado. Porém, os autores variaram apenas a energia metabolizável respeitando a relação dos demais nutrientes, sendo necessário variar outros nutrientes.

Dessa forma, é importante comparar esses dois métodos de formulação de ração, devido à escassez de trabalhos científicos, envolvendo programação não linear para poedeiras comerciais, considerando não somente a energia metabolizável, mas também outros nutrientes essenciais.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Comparar o método de formulação de ração por meio de programação linear (custo mínimo) e o não linear (lucro máximo) sobre o desempenho, qualidade de ovos e aspectos econômicos para poedeiras comerciais.

Objetivos específicos

Utilizar um modelo matemático que considera a energia metabolizável, proteína bruta, cálcio, fósforo disponível, sódio, metionina+cistina digestível, lisina digestível e triptofano digestível sobre o desempenho de poedeiras comerciais (FARIA FILHO *et al.*, 2015) para elaborar um programa de formulação de ração utilizando programação não linear para maximização do lucro.

Avaliar o efeito dos métodos de formulação de ração, por programação linear ou não linear, sobre o desempenho (consumo de ração, produção de ovos, peso dos ovos, massa de ovos e conversão alimentar), a qualidade interna de ovos (peso do albúmen, altura do albúmen,

peso da gema, cor da gema, unidade Haugh, porcentagem de gema e de albúmen), a qualidade externa de ovos (gravidade específica, peso da casca, espessura da casca, resistência da casca e porcentagem de casca) e análise econômica por meio do lucro.

REVISÃO DE LITERATURA

Ração

De acordo com a Instrução Normativa número 15 de 28 de maio de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ração é definida como:

> É a mistura composta por ingredientes e aditivos, destinada à alimentação de animais de produção, que constitua um produto de pronto fornecimento e capaz de atender às exigências nutricionais dos animais a que se destine (BRASIL, 2009).

Para formular ração deve-se ter conhecimento do valor nutricional dos ingredientes e da exigência nutricional do animal nas diferentes fases de criação (ROSTAGNO *et al*., 2011), assim, evitando deficiências ou excessos de nutrientes na ração. A composição de ingredientes e as exigências nutricionais podem ser obtidas em tabelas de compilação de exigências nutricionais (ROSTAGNO *et al*., 2011; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1994), manuais das linhagens comerciais (HY-LINE INTERNACIONAL, 2015; LOHMAN DO BRASIL, 2011; HISEX, 2010), livros (LEESON; SUMMERS, 2009), artigos científicos e os valores utilizados pela indústria de formulação de ração.

Aspectos do custo com a alimentação

A alimentação dos animais é o fator de maior custo no sistema de criação. A despesa com a alimentação de frangos variou de 65 a 69% do custo total da produção durante o ano de 2015 e foi de 70% no primeiro semestre de 2016 (CENTRAL DE INTELIGÊNCIA DE AVES E SUÍNOS - CIAS, 2016). O suprimento dos níveis de energia e proteína, por meio da inclusão de milho e farelo de soja, respectivamente, são os que mais influenciam no aumento do custo da ração (ARAUJO *et al*., 2011; MENDES *et al*., 2004).

Segundo Araujo *et al*. (2011), formular rações é um grande desafio para o nutricionista, pois envolve a integração de aspectos biológicos e econômicos. É necessário adotar medidas economicamente viáveis que possibilitem maior aproveitamento da ração pelos animais e maior retorno financeiro, mesmo em um cenário econômico hostil.

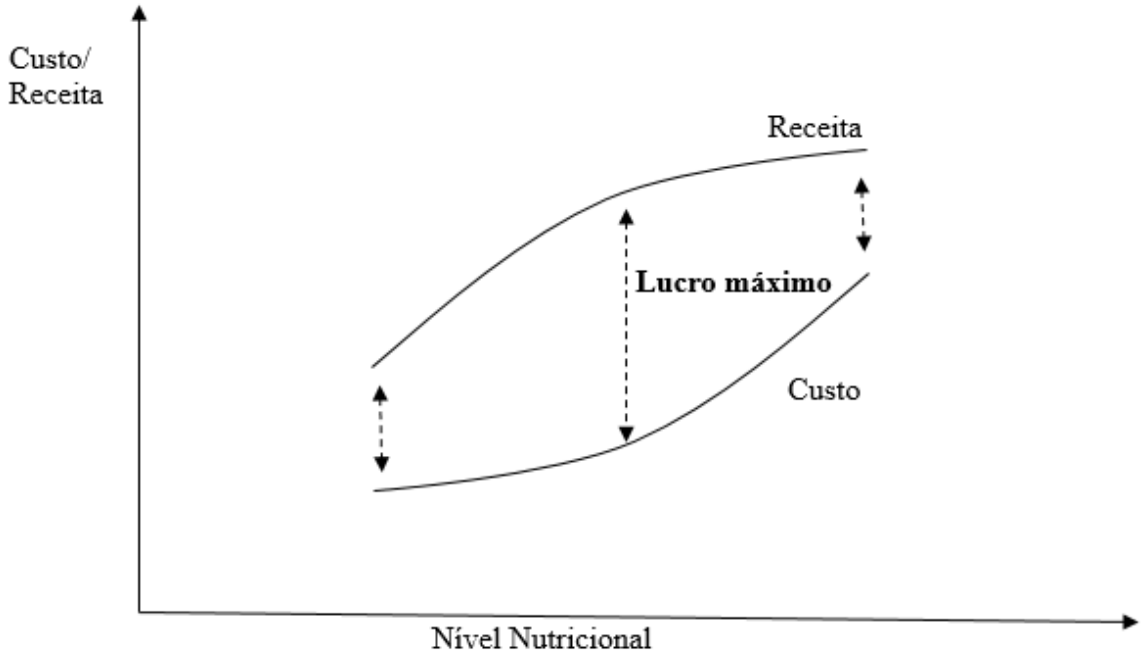
Para reduzir os custos, ingredientes alternativos podem ser inclusos nas rações de poedeiras (RUFINO *et al.,* 2015). Entretanto, esses ingredientes devem estar disponíveis na região e o nutricionista deve conhecer a composição nutricional e eventuais fatores antinutricionais e limitantes. Recomenda-se utilizar matérias primas de composição conhecida, para que se possa suprir as exigências nutricionais com maior segurança. O custo da ração, também pode ser minimizado com a adição de enzimas exógenas, que normalmente além de reduzir o custo trazem benefícios ambientais por reduzir a quantidade de excreção de nutriente (BARBOSA *et al*., 2014; FERREIRA *et al*., 2015; PEREIRA *et al*., 2012).

Outro artifício para minimizar o custo, porém menos utilizado, é a formulação de ração por programação não linear com o uso de modelos matemáticos. A programação não linear é indicada para garantir o maior lucro ao sistema de produção. A técnica de programação não linear envolve o uso da modelagem matemática e aspectos mercadológicos como o preço do insumo e do produto a ser comercializado. Assim, encontra-se a ração que irá gerar o lucro máximo dentro do cenário econômico considerado. Por meio de modelagem matemática é possível predizer o desempenho animal, permitindo ponderar ajustes no nível nutricional e a tomada de decisão (CERRATE; WALDROUP, 2010; ARAUJO et al., 2011; GARCIA NETO, 2012; SAXENA, 2011).

Lucratividade do sistema de produção

De acordo com Eits *et al*. (2005), o desempenho do animal está correlacionado positivamente com a receita. A medida em que o desempenho do animal é maximizado aumenta a receita, pois a entrada de capital será maior com a venda de maior quantidade do produto obtido. O lucro é a diferença entre a receita e o custo de produção. E, não necessariamente a receita máxima significa lucro máximo, pois para maximizar a receita o custo de produção também é alto. Em virtude disso, a máxima lucratividade não coincide com a receita máxima ou com o custo mínimo de produção. Este conceito pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Gráfico representativo da relação entre lucro máximo, receita, custo e nível nutricional da ração.



Fonte: Adaptado de EITS, R. M. *et al*. Dietary balanced protein in broiler chickens. 2. An economic analysis. **Bristish Poultry Science**, Abingdon, v. 46, p. 310-317, 2005.

Métodos de formulação

Para formular rações é necessário considerar a exigência nutricional do animal, a composição nutricional dos ingredientes e o preço dos ingredientes. Além do conhecimento desses fatores, o método de formulação de ração também deve ser levado em consideração. A ração, visando atender as exigências nutricionais com custo mínimo, é elaborada por meio da programação linear (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). As rações também podem ser formuladas visando à lucratividade máxima por meio de programação não linear (DADALT *et al*., 2015; GARCIA NETO, 2012; GONÇALVES *et al*., 2015; HEYDARI, 2014; SAXENA, 2011).

Formulação de ração por meio da programação linear

A programação linear é a forma tradicional para balancear as rações dos animais de produção, sendo usualmente utilizado pela indústria de nutrição animal. As rações obtidas pela programação linear são conhecidas como ração de custo mínimo (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

O método de programação linear combina diferentes ingredientes, que atende às exigências nutricionais ao menor custo possível. Dessa forma, elabora-se ração de custo mínimo (GONÇALVES *et al*., 2015; ROSTAGNO *et al*., 2011; SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007; SAXENA, 2011).

Os níveis nutricionais definidos na formulação de ração de custo mínimo, na maioria das vezes, se baseiam em experimentos dose-resposta. Nesses experimentos os animais são submetidos a doses crescentes de nutrientes, afim de, determinar o nível ótimo das exigências nutricionais que proporciona a melhor resposta de desempenho (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). O nutricionista estabelece as exigências para obter o desempenho máximo do animal. As exigências nutricionais são fixas e por meio da programação linear calcula a ração de custo mínimo, atendendo a todas as exigências estipuladas.

Para isso, a programação linear calcula simultaneamente diversos equações, com restrições específicas, que envolvem: preço e composição dos ingredientes disponíveis, exigências nutricionais dos animais e restrições dos ingredientes (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

Existem diversos *softwares* no mercado que formulam rações de custo mínimo. O programa computacional faz automaticamente os cálculos necessários para formular a ração. Entretanto, o nutricionista deve informar ao programa os preços e a composição dos ingredientes e estipular as exigências que serão atendidas (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). O modelo matemático da programação linear está apresentado a seguir:

Função objetivo (Z) a ser minimizada:

$$Z = \sum_{j=1}^{n} c_j * x_j$$

Sujeita às restrições:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} * x_j \ (\leq, =, \geq) \ b_i \text{ para } i = 1, \ldots, m; \ x_j \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = 1$$

Onde:

Z = preço total da ração. É a função objetivo que deve ser minimizada;

c_j = preço por Kg de j-ésimo ingredientes;

x_j = quantidade de j-ésimo ingredientes (variáveis de decisão);

a_{ij} = quantidade do i-ésimo nutriente presente no j-ésimo ingrediente (composição nutricional);

b_i = quantidade requerida do i-ésimo nutriente na ração (exigência nutricional).

Vantagens e desvantagens da programação linear

A vantagem de utilizar a programação linear para a formulação de ração, segundo Saxena (2011), está em maximizar o desempenho animal utilizando nutrientes com o menor custo possível. A formulação de ração de custo mínimo é mais usual, sendo a mais difundida no mercado. Existem diversos *softwares* que fazem essa elaboração da ração, tendo como vantagem a facilidade computacional para obter a ração.

No entanto, apesar da ração formulada por meio da programação linear atender os níveis de exigências nutricionais estabelecidas, ignora o cenário econômico de todo o sistema de produção. Deste modo, a ração de custo mínimo pode não proporcionar o ótimo retorno econômico (GUEVARA, 2004). Maximizar o desempenho do animal não, necessariamente, irá maximizar o lucro do sistema de produção animal (ARAUJO *et al*., 2011; DADALT *et al*., 2015; HEYDARI, 2014; PESTI; MILLER, 1997).

Formulação de ração por meio da programação não linear

A programação não linear permite incorporar no processo de formulação de ração variáveis de mercado como o preço pago pela dúzia dos ovos e o preço dos ingredientes, bem como o efeito da dose dos nutrientes sobre o desempenho animal. Para tanto, faz-se necessário o uso de modelos matemáticos. Segundo Guevara (2004), a programação não linear pode ser mais adequada que a programação linear, pois aperfeiçoa a resposta de desempenho através dos ajustes na densidade energética e de nutrientes da ração para aves. A programação não linear resulta em rações com níveis nutricionais distintos dos obtidos com a programação linear (ARAUJO *et al*., 2011), pois a programação não linear permite considerar o efeito simultâneo de níveis nutricionais, sexo, linhagem, dentre outras variáveis (SAXENA, 2011). A diferença entre os métodos de formulação é que a programação não linear visa maximizar desempenho econômico, enquanto a programação linear maximiza o desempenho produtivo (GUEVARA, 2004; PESTI; MILLER, 1997).

Segundo Guevara (2004), a programação não linear é mais útil que a programação linear, pois proporciona melhores relações entre o custo de produção e margem de lucro. O método de programação não linear pode ser uma alternativa para a formulação de ração de custo mínimo, por ser capaz de aliar os princípios da nutrição de precisão, o sistema econômico e a produção animal (CERRATE; WALDROUP, 2009; GONÇALVES *et al*., 2015).

Gonzalez-Alcorta, Dorfman e Pesti (1994) concluíram que, ao variar os níveis de energia e proteína de acordo com a produção e a variação do preço de insumos, pode-se aumentar o lucro em relação à ração de custo mínimo, onde, os níveis de proteína e energia são fixos. Em vista disso, o método de programação não linear tem por objetivo encontrar o conjunto de valores, incluindo os para os ingredientes e as exigências nutricionais, que maximizam a função objetivo, que neste caso é o lucro.

Para o sistema de produção obter a maior lucratividade com o uso da programação não linear, é necessário prever os resultados da receita e do custo através de modelos matemáticos. Os modelos podem ser elaborados com base em conjuntos de dados de literatura ou em dados empíricos, que servirão para estabelecer variáveis de importância para determinação da densidade nutricional das rações, de acordo com a fase do animal e condições de criação (ARAUJO *et al*., 2011; EITS *et al*., 2005).

O modelo matemático da programação não linear para a formulação de rações tem pelo menos uma de suas restrições ou a função objetivo não linear. Guevara (2004) propôs o método de formulação de ração utilizando a programação não linear em que incorporou na função

objetivo o modelo matemático para prever o peso corporal e o consumo de ração em função da energia metabolizável para frangos de corte. Afrouziyeh et al. (2011) elaboraram modelo não linear para poedeiras seguindo os princípios de Guevara (2004). Esse modelo foi:

Função objetivo:

$$Z = \{[(a\,EM^2 + b\,EM + c)\,x\,PPO] - [(d\,EM^2 + e\,EM + f)x\,PPRA]\}$$

Onde:

Z = lucro calculado por meio da diferença entre receita e custo. A receita é dada por $[(a\,EM^2 + b\,EM + c)\,x\,PPO]$ e o custo por $[(d\,EM^2 + e\,EM + f)\,x\,PPRA]$. É a função objetivo que deve ser maximizada;

Produção de ovos = $a\,EM^2 + b\,EM + c$, onde a, b, c são parâmetros do modelo e EM representa o nível de energia metabolizável (Mcal/kg).

PPO= preço pago pelos ovos (R$/30 dúzia). Variável de mercado.

Consumo de ração (kg) = $d\,EM^2 + e\,EM + f$, onde d, e, f são parâmetros do modelo e EM representa o nível de energia metabolizável (Mcal/kg).

PPRA = preço pago pela ração (R$/kg). Variável de mercado.

A função objetivo da programação não linear é a função de lucro que deve ser maximizada. A receita é obtida através da quantidade de ovos produzida e o valor de venda desses ovos, para isso, é necessário o uso de modelos matemáticos que predizem a produção de ovos de acordo com os níveis nutricionais. O custo será calculado através do preço da ração, que depende do preço dos ingredientes e o consumo de ração. Modelos matemáticos são usados para predizer esse consumo de ração, conforme níveis nutricionais.

Na programação não linear, os níveis nutricionais não são fixos, como a programação linear, existe uma faixa de variação permitida e a exigência nutricional é colocada no modelo como uma variável de decisão. Ou seja, o nível nutricional é estabelecido pela programação não linear, de forma a se obter o maior lucro, de acordo com o cenário econômico.

Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos são usados para simular aspectos de um sistema real em computador. Por meio de equações de regressão é possível prever resultados de fenômenos biológicos e tomar medidas que poderão ser aceitas ou não, constituindo dessa forma uma importante ferramenta para previsão e tomada de decisão (OVIEDO-RONDÓN; MURAKAMI; SHIGHERU SAKAGUTI, 2002; OVIEDO-RONDÓN, 2007).

Segundo Pesti e Miller (1997), os modelos para previsão do lucro máximo devem ser práticos e englobar diversas variáveis do sistema de produção, como: sexo, idade da ave, linhagem, exigências nutricionais, climatologia do local, densidade de alojamento. A maior segurança dos resultados do modelo depende dos dados obtidos de experimentações tradicionais em animais (OVIEDO-RONDÓN; MURAKAMI; SHIGHERU SAKAGUTI, 2002). De acordo com Oviedo-Rondón (2007) existem diversos modelos que são elaborados na maioria das vezes com dados empíricos, o que acarreta boa acurácia de predição da resposta de desempenho. No entanto, existem outros métodos de levantamento de dados para modelagem, um deles é a técnica de revisão sistemática da literatura.

Pode-se aplicar a técnica de revisão sistemática da literatura, sendo os dados da literatura coletados, para elaborar os modelos (CASTRO *et al*., 2007). Essa técnica identifica, seleciona e avalia criticamente artigos científicos relevantes da área (CASTRO *et al*., 2007). O uso da técnica de revisão sistemática da literatura torna os modelos matemáticos mais confiáveis (FARIA FILHO *et al*., 2008). Por meio da meta-análise é possível unir essas informações e chegar a uma conclusão sobre o tema analisado, dessa forma, elaborar modelos matemáticos (ST-PIERRE, 2007; SAUVANT; SCHMIDELY; DAUDIN, 2005).

Modelos matemáticos podem ser aplicados em diversas situações, auxiliando a tomada de decisões. Para se obter sucesso com este procedimento, é importante a aplicação apropriada do tipo de modelo matemático, a ser empregado, para simular determinado fenômeno biológico.

Damasceno *et al*. (2015) utilizando equações empíricas, testaram diversos modelos matemáticos envolvendo a geometria de ovos para predizer volume e área superficial dos ovos. Verificaram que todos os modelos testados apresentaram boa estimativa dos valores de volume e da área superficial de ovos.

Schiassi *et al*. (2015) desenvolveram modelo matemático utilizando a teoria dos conjuntos Fuzzy para predizer o consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar em função de situações de estresse térmico. Teste a campo foi realizado para validar o modelo

Fuzzy para aquele sistema de criação. Os autores verificaram que o modelo Fuzzy prediz com eficiência as variáveis consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar.

Modelos de superfície de resposta foram elaborados por Faria Filho *et al*. (2008) e Araújo *et al*. (2011) utilizando a técnica de revisão sistemática da literatura com metanálise. Esses autores estabeleceram os níveis nutricionais da ração utilizando a programação não linear, com o uso de modelos de superfície de resposta. Por meio deste modelo, foi possível realizar análises econômicas na produção de frangos de corte.

Desta forma, a técnica de modelagem matemática também pode ser empregada para formulação de ração, por programação linear ou não linear, em qualquer sistema de produção avícola. Porém, para se obter êxito com a utilização de modelos matemáticos para formular ração, é essencial que os dados sejam específicos do sistema em que vai ser empregado a técnica de modelagem (ZUIDHOF, 2009), como por exemplo, dados particulares da produção nas condições ambientais em que os animais serão submetidos.

Vantagens e desvantagens

Uma das vantagens do método de programação não linear é a sua flexibilidade, que permite encontrar no momento da formulação de ração os níveis nutricionais para maximizar a lucratividade de acordo com o preço do produto final e preço dos ingredientes. Os parâmetros podem ser expressos em termos de densidade de energia e são incluídos no modelo (AFROUZIYEH *et al*., 2011; GUEVARA, 2004).

Como desvantagem tem-se que é necessário a obtenção dos modelos matemáticos devidamente ajustados com o sistema de produção e muitas vezes não são disponíveis ou compatíveis para todos os tipos de criação. Outra desvantagem é dificuldade computacional, exigindo do formulador compreensão maior de *softwares* e programações.

Pesquisas envolvendo formulação não linear

Com o objetivo de formular diferentes rações para frangos de corte utilizando programação linear e não linear, com o auxílio do *software* Excel® utilizando o suplemento Solver® Zhang e Roush (2002) verificaram que as rações formuladas pela programação não linear foram mais flexíveis aos níveis nutricionais que a ração formulada pela programação linear. A programação não linear é capaz de lidar, simultaneamente, com várias simulações até

encontrar nível nutricional de cada nutriente, e não somente, atender todas as restrições como a programação linear.

Guevara (2004) também utilizou o *software* Excel®, com auxílio do suplemento Solver®, para estabelecer níveis ideais de energia metabolizável ao formular uma ração de lucro máximo para frangos de corte. Esse método foi usado para predizer o efeito da densidade de energia sobre o desempenho animal e rentabilidade em diferentes cenários de mercado. Os cenários foram determinados por variações positivas e negativas em 25% no preço do farelo de soja, milho, farinha de peixe e no peso do frango vivo. O autor concluiu que a programação não linear pode ser mais útil que a programação linear, pois, permite determinar o melhor nível de energia de acordo com o cenário de mercado.

Cerrate e Waldroup (2009) compararam as diferenças da programação não linear e programação linear na rentabilidade de frangos de corte. Através da programação não linear e linear simularam mudanças na densidade nutricional da ração, segundo o custo dos ingredientes, processamento da ração, temperatura ambiental, preço do frango inteiro e em cortes na programação não linear. Os autores observaram que, quando o preço do milho e do frango era elevado, a densidade nutricional da ração também aumentava, porém, quando o preço do óleo e do farelo de soja aumentava a densidade nutricional da ração diminuía. Dessa forma, concluíram que para todas as variáveis utilizadas, a programação não linear foi superior a programação linear em termos econômicos.

Araujo *et al*. (2011) utilizaram a técnica de revisão sistemática para elaborar modelos de superfície de resposta com o objetivo de predizer o ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar de frangos de corte, em função da energia metabolizável da ração, temperatura ambiente, idade de abate e sexo. As rações foram formuladas usando programação linear e programação não linear no *software* Excel®, com auxílio do suplemento Solver®. A autora verificou que a programação não linear permite elaborar rações com diferenças nutricionais da programação linear e que, os modelos matemáticos constituem em importante ferramenta para tomada de decisões, pois é possível adequar os níveis nutricionais das rações de acordo com a situação de mercado.

Utilizando o mesmo recurso do *software* Excel®, Afrouziyeh *et al*. (2010) e Afrouziyeh *et al*. (2011) formularam rações de lucro máximo para poedeiras comerciais de 24 a 32 semanas e de fase 32 a 44 semanas, respectivamente. As rações da programação não linear foram formuladas utilizado o modelo similar ao de Guevara (2004). A densidade de energia metabolizável variou, afim de maximizar o lucro, dependendo do preço dos ingredientes e preço do ovo. Para demonstrar a capacidade do modelo, aumentaram e diminuíram em 25% do preço

do ovo, milho e farelo de soja. Ao variar esses preços o modelo encontra a densidade de energia metabolizável ideal para o lucro máximo. Os resultados indicaram que a rentabilidade foi maior com o uso da programação não linear, em relação à programação linear.

Almeida (2013) avaliou as estimativas de ganho de peso, consumo de ração, consumo de energia e também a margem de lucro, obtidas com frangos de corte machos e fêmeas, visando validar planilhas de programação não linear. Constatou que a programação não linear é mais apropriada, pois projeta ração que irá proporcionar o melhor desempenho animal de acordo com o preço pago pelo mercado, assegurando maior lucro na criação de frangos.

Alhotan, Pesti e Colson (2014) compararam duas técnicas de processamento de grãos, sendo uma para armazenar todos os lotes de grãos em um silo e outra era separar os lotes acima e abaixo da concentração média de proteína bruta. Foram usados os dois métodos de formulação de ração, com programação linear e não linear, para reduzir a variação da proteína bruta em rações e determinar o melhor modelo econômico. A lucratividade foi superior com o uso da programação não linear. Sendo viável, economicamente, construir silos para separar os lotes de grãos e diminuir a variabilidade de proteína bruta das rações.

Dadalt *et al*. (2015) conduziram um experimento para comparar a formulação de ração pela programação linear e programação não linear para frangos de cortes machos e fêmeas alojados em densidades de 10 e 14 aves/m². Os sistemas de formulação propiciaram desempenho semelhantes nas aves. Os frangos de corte machos alojados em 14 aves/m² e fêmeas alojadas em densidade de 10 aves/m2, alimentados segundo a programação não linear, apresentaram melhores resultados econômicos. Houve pior conversão alimentar para esses tratamentos. No entanto, os resultados demonstram que a programação linear que permite o melhor desempenho nem sempre é o método mais lucrativo.

Gonçalves *et al*. (2015) conduziram experimentos que foram usados como base para modelagem. Aplicou-se então os modelos na Planilha Prática de Formulação de Ração (PPFR). Esta planilha foi elaborada por Garcia-Neto (2012) que, utilizou o modelo descrito por Guevara (2004), desenvolvendo a PPFR versão linear e não linear. Desta forma, Gonçalves *et al*. (2015) estimaram as respostas de desempenho de frangos de corte, em virtude de mudanças no nível energético de rações, segundo a fase de criação e do sexo dos animais. O nível energético das rações foi definido por modelos matemáticos, onde foi comparado o custo/benefício, segundo cada fase de criação. Os autores concluíram que o princípio de formulação de ração por programação não linear é melhor que a programação linear. As proporções dos nutrientes são ajustadas automaticamente para atender a densidade ideal, adequados economicamente, em cada fase da criação, maximizando a rentabilidade.

Diante disto, o Capítulo II, intitulado “Formulação de ração com o uso da programação não linear sobre o desempenho e qualidade de ovos de poedeiras comerciais”, avalia o método de formulação de ração por meio de programação linear e não linear para poedeiras comerciais. Os resultados da pesquisa serão submetidos ao periódico *Animal* (Fator de Impacto 1,841 – 2014).

REFERÊNCIAS

AFROUZIYEH, M. *et al*. Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 1. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, p. 2770-2777, 2010.

AFROUZIYEH, M. *et al*. Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 2. **The Journal Applied Poultry Research**, Cary, v. 20, p. 50-55, 2011.

ALHOTAN, R. A.; PESTI, G. M.; COLSON, G. J. Reducing crude protein variability and maximizing savings when formulating corn-soybean meal-based feeds. **The Journal of Applied Poultry Research,** Cary, v. 23, p. 456-469, 2014.

ALMEIDA, M. A. **Formulação não linear de ração para frangos de corte:** modelagem e otimização. 2013. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2013.

ARAUJO, R. B. *et al*. Modelos de superfície de resposta para predição do desempenho de frangos e elaboração de análise econômica. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 3, p. 770-783, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório anual.** São Paulo: ABPA, 2016. Disponível em:<http: http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf >. Acesso em: 16 maio 2016.

BARBOSA, N. A. A. *et al*. Ileal digestibility of broilers fed diets supplemented with exogenous enzymes. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 4, p. 361, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº 15, de 26 de maio de 2009. **Diário Oficial [da] União,** 28 de maio de 2009. p. 4. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/animal/alimentacao/legislacao>. Acesso em: 09 jun. 2015.

BRUMANO, G. *et al*. Níveis de metionina + cistina digestível para poedeiras leves no período de 42 a 58 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 1984-1992, 2010.

CASTRO, A. A. et al. **Curso de revisão sistemática e metanálise**. São Paulo: LED-DIS/UNIFESP, 2007. Disponível em: <http://www.virtual.epm.br/cursos/metanalise>. Acesso em: 20 maio 2015.

CENTRAL DE INTELIGÊNCIA DE AVES E SUÍNOS – CIAS. **Custos de produção.** Concordia, 2016. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=61>. Acesso em: 22 maio 2016.

CERRATE, S.; WALDROUP, P. Maximum profit feed formulation of broilers: 1. development of a feeding program model to predict profitability using non linear programming. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 8, p. 205- 215, 2009.

DADALT, J. C. *et al*. Comparison between linear and nonlinear systems of feed formulation for broilers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 17, p. 11-16, 2015.

DAMASCENO, F. A. et al. Validação experimental de modelos matemáticos para a predição do volume e área superficial de ovos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 64, p. 221-228, 2015.

EITS, R. M. *et al*. Dietary balanced protein in broiler chickens. 2. Na economic analysis. **British Poultry Science**, Abingdon, v. 46, p. 310-317, 2005.

FARIA FILHO, D. E. *et al*. Holo-análises das exigências nutricionais de poedeiras comerciais. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: Facta, 2015. res. NU70.

FARIA FILHO, D. E. *et al*. Response surface models to predict broiler performance andapplications for economicanalysis. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 10, p. 139-141, 2008.

FERREIRA, C. B. et al. Association of carbohydrases and phytase in enriched diets ranked and its effects on performance and quality of eggs from light laying hens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 67, n. 1, p. 249-254, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Eggfacts**. FAO. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/284410/>. Acesso em: 24 maio 2015.

GARCIA, J. R. M. Avanços na nutrição da poedeira moderna. In: CURSO DE MANEJO HY-LINE DO BRASIL, 2., 2004, Valinhos. **Anais...**Valinhos, 2004. p. 2-29.

GARCIA-NETO, M. **PPFR**: programa prático para formulação e otimização de ração frangos de corte programação não linear, 2012. Disponível em: <https://sites.google.com/site/ppfrprogramforfeedformulation/>. Acesso em: 26 maio 2015.

GONÇALVES, C. A. et al. Accuracy of nonlinear formulation of broiler diets: maximizing profits. **Brazilian Journal of Poultry Science,** Araçatuba, v. 17, n. 2, p. 173-180, 2015.

GONZALEZ-ALCORTA, M. J.; DORFMAN, J. H.; PESTI, G. M. Maximizing profit in broiler production as prices change: a simple approximation with practical value. **Agribusiness: An International Journal**, New York, v. 10, p. 389-399, 1994.

GUEVARA, V. R. Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. **Poultry Science**, Cary, v. 83, p. 147-151, 2004.

HEYDARY, S. G. Effect of linear and random non-linear programming feed formulating on performance of broilers. **Journal of Novel Applied Sciences**, Tehran, v. 3, p. 1426-1429, 2014.

HISEX. **Nutrition management guide commercials 2009-2010**. Spoorstraar: Institut de Sélection Animale B.V., 2010. 21 p.

HY-LINE INTERNACIONAL. **Manual de manejo, Hy-Line W36**. 2015. 42 p.

HURWITZ, S.; SKLAN, D.; BARTOV, I. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. **Poultry Science**, Cary, v. 57, p. 197-205, 1978.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition**. 3. ed. Ontario, Canada: University of Guelph Guelph, 2009. 413 p.

LOHMMAN DO BRASIL. **Guia de Manejo, Lohmann LSL.** São José do Rio Preto, 2011. 32 p.

MENDES, A. A. *et al*. Efeitos da energia da dieta sobre desempenho, rendimento de carcaça e gordura abdominal de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, p. 2300-2307, 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of poultry**. 9th ed. Washington: National Academy of Science, 1994. 154 p.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Modelagem por compartimentos para integrar e comunicar conhecimento em nutrição. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 305-313, 2007.

OVIEDO RONDÓN, E. O.; MURAKAMI, A. E.; SHIGHERU SAKAGUTI, E. Computer modeling for poultry production and research. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Araçatuba, v. 4, n. 1, p. 199-207, 2002

PEREIRA, R. et al. Efficiency of a bacterial phytase to release phytate phosphorus in broiler chicken diets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 64, n. 1, p. 137-144, 2012.

PERSIO, S. *et al*. Effects of feeding diets varying in energy and nutrient density to Hy-Line W-36 laying hens on production performance and economics. **Poultry Science,** Cary, v. 94, p. 195-206, 2015.

PESTI, G. M.; MILLER, B. R. Modelling for precision nutrition. **The Journal of Applied Poultry Research**, Cary, v. 6, p. 483-494, 1997.

ROSTAGNO, H. S. *et al*. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252p.

RUFINO, J. P. F. *et al.* Economical analysis of the inclusion of flour residue of tucumã (" Astrocaryum vulgare", Mart) in the feeding of laying hens. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2015.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283 p.

SAUVANT, D.; SCHMIDELY, P.; DAUDIN, J. J. Les méta-analyses des données expérimentales: applications en nutrition animale. **INRA Productions Animales**, Paris, v. 18, n. 1, p. 63-73, 2005

SAXENA, P. Comparison of linear and nonlinear programming techniques for animal diet. **Applied Mathematics**, Rosemead, v. 1, n. 2, p. 106-108, 2011.

SCHIASSI, L. *et al*. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 140-146, 2015.

ST-PIERRE, N. R. Meta-analyses of experimental data in the animal sciences. **Revista Brasileira de Zootecnia,** Viçosa, v. 36, p. 343-358, 2007.

ZHANG, F.; ROUSH, W. B. Multiple-objective (goal) programming model for feed formulation: an example for reducing nutrient variation. **Poultry Science**, Cary, v. 81, p. 182-192, 2002.

ZUIDHOF, M J. Nonlinear Effects of Diet on Broiler Production. Rogers, Arkansas, 2009.

CAPÍTULO II

Formulação de ração com o uso da programação não linear sobre o desempenho e qualidade de ovos de poedeiras comerciais

RESUMO

A formulação de ração por meio da programação linear, consiste em encontrar a mistura de ingredientes para atender exigências nutricionais pré-estabelecidas com o menor custo. Por outro lado, com o uso da programação não linear se consegue definir a exigência nutricional no momento da formulação visando o máximo lucro. Esta pesquisa teve por objetivo comparar a formulação de ração por programação linear e não linear sobre o desempenho, qualidade de interna e externa de ovos de poedeiras comerciais. Foram utilizadas 288 poedeiras da linhagem Hisex® White, com peso corporal de 1,540 ± 0,1167 kg, de 33 a 45 semanas de idade, distribuídas em delineamento em blocos ao acaso, com seis tratamentos e seis repetições de oito aves cada. Três tratamentos consistiram em rações formuladas com programação linear utilizando exigências nutricionais das tabelas brasileiras, do manual da linhagem ou de modelos matemáticos para maximização do desempenho. Os outros três tratamentos foram com o uso da programação não linear para os cenários de mercado normal, favorável ou desfavorável. Os dados foram submetidos a análise de variância e em caso de significância ($P<0,05$) aplicou-se o teste de Scott-Knott (5%). Não houve diferença estatística ($P>0,05$) para a unidade Haugh, altura do albúmen e para as características de qualidade externa de ovos. Verificou-se efeito de tratamento ($P<0,05$) para peso de gema, peso de albúmen, cor de gema, porcentagem de gema, porcentagem de albúmen e para as características de desempenho. De forma geral, os tratamentos com as exigências obtidas pelos modelos matemáticos seguido das obtidas pelo manual da linhagem, ambos da programação linear, proporcionaram melhores resultados de desempenho, pois as rações foram nutricionalmente mais densas. Entretanto, esses tratamentos que maximizaram o desempenho zootécnico não resultaram em maior rentabilidade, que ocorreu em cenário favorável de mercado com o uso da programação não linear.

Palavras-chaves: Lucro, retorno decrescente, Modelagem matemática, Programação linear.

ABSTRACT

Feed formulation using non-linear programming on performance and egg quality of commercial layer hens

Feed formulation using linear programming consists of a mix of ingredients for the compliance of pre-established nutritional requirements at the lowest cost. Non-linear programming defines the nutritional requirement during feed formulation to maximize profit. This study aimed to compares the feed formulation using linear and non-linear program on the performance, and on the internal and external egg quality of commercial hens. It was used 288 Hisex® White layer hens, with 1.540 ± 0.1167 kg of body weight, from 33 to 45 weeks old. The hens were distributed in randomized blocks, with six treatments and six replications of eight hens each. Three treatments comprised diets prepared using linear programming employing nutritional requirements according to Brazilian tables, strain management guide or mathematical models for the maximization of performance. The other three treatments were prepared with a non-linear programming approach in normal, favorable, and unfavorable market scenario. Data were submitted to analysis of variance and when significant ($P<0.05$) Scott-Knott test (5%) was applied. There was no statistical difference ($P>0.05$) for Haugh unit, albumen height and for the characteristics of the eggs´ external qualities. Treatment effect ($P<0.05$) was extant for yolk weight, albumen weight, yolk color, yolk percentage, albumen percentage and performance. As a rule, treatments with requirements obtained by mathematical models or by strain management guide, both from linear programming, provided the best performance results since diets were nutritionally higher. However, treatments that maximized performance did not cause higher profit, which occurred within a favorable market scenario with non-linear programming.

Keywords: Linear programming. Mathematical modeling. Meta-analysis. Profit.

IMPLICAÇÕES

A programação não linear é utilizada para formular rações que aumentam a lucratividade do sistema de produção animal. Os modelos matemáticos são utilizados para previsão de características de desempenho dos animais, conforme o nível nutricional. As exigências nutricionais são obtidas no momento da formulação e irão variar conforme o cenário de mercado. Este estudo mostra que o uso da programação não linear para formulação de ração é um método flexível que auxilia na tomada de decisões por rações que otimizam o lucro do sistema de produção, com grande potencial de emprego pela indústria.

INTRODUÇÃO

O custo com a alimentação é o fator que mais onera o sistema de produção avícola, representando normalmente mais de 60% do custo total. A estratégia de formulação de ração adotada pela indústria é a de custo mínimo, com o uso da programação linear, em que se combina diferentes ingredientes para atender às exigências nutricionais pré-estabelecidas pelo nutricionista (SAXENA, 2011).

As exigências nutricionais para maximização do lucro são menores das para maximizar o desempenho do animal (EITS *et al*., 2005b). Com o uso da programação não linear é possível estabelecer no momento da formulação de ração a exigência nutricional para maximizar a lucratividade da produção. Cerrate e Waldroup (2009) por meio de programação não linear, simularam mudanças na densidade nutricional da ração e observaram que, quando o preço do milho e do frango era elevado, a densidade nutricional da ração também aumentava, porém, quando o preço do óleo e do farelo de soja aumentava a densidade nutricional da ração diminuía. Portanto, trata-se de um procedimento de formulação de ração flexível que considera o cenário de mercado para definição da exigência nutricional por ocasião da formulação de ração, sem a necessidade de pré-estabelecimento.

Para adoção desse procedimento de formulação, é necessário prever o desempenho das aves em função da dose do nutriente por meio de modelos matemáticos que preferencialmente devem ser obtidos a partir de mais de um conjunto de dados (EITS *et al.*, 2005a) e os procedimentos meta-analíticos (ST-PIERRE, 2007) podem gerar modelos matemáticos precisos e acurados e que podem ser utilizados em formulação de ração utilizando programação não linear (FARIA FILHO *et al*., 2008).

Guevara (2004), com auxílio do suplemento Solver® do *software* Excel®, usou a programação não linear para formulação de ração para frangos de corte e conseguiu determinar o nível de energia metabolizável para maximizar o lucro de acordo com o cenário de mercado. Garcia-Neto (2012) aplicou o modelo descrito por Guevara (2004) para desenvolver a Planilha Prática de Formulação de Ração (PPFR), versão linear e não linear. Gonçalves *et al*. (2015) utilizaram a versão não linear da PPFR e modelos matemáticos considerando a energia metabolizável, sexo e idade e conseguiram formular rações para maximizar o lucro de acordo com cenários de mercado. Dadalt *et al*. (2015) conduziram um experimento para comparar a formulação de ração pela programação linear e programação não linear para frangos de cortes machos e fêmeas alojados em diferentes densidades de 10 e 14 aves/m². As rações de máximo lucro foram formuladas por meio do programa Camera®. Os resultados demonstraram que a programação não linear piorou a conversão alimentar, porém foi o método que resultou em maior lucro.

São escassos trabalhos que abordam a programação não linear para poedeiras comerciais. Afrouziyeh *et al*. (2010) e Afrouziyeh *et al*. (2011) utilizaram poedeiras comerciais de 24 a 32 semanas e de 32 a 44 semanas, respectivamente, e formularam rações por programação não linear ajustando a energia metabolizável para maximizar o lucro, dependendo do preço dos ingredientes e preço pago pelo ovo. Para demonstrar a capacidade do modelo, aumentaram e diminuíram em 25% do preço pago pelo ovo, milho e farelo de soja e o programa ajustou a energia metabolizável ideal para o lucro máximo, sendo mais vantajosa que a programação linear.

Com isso, esse experimento teve por objetivo formular rações por programação não linear (lucro máximo), utilizando um modelo matemático que considera a energia metabolizável, proteína bruta, cálcio, fósforo disponível, sódio, metionina+cistina digestível, lisina digestível e triptofano digestível, em diferentes cenários de mercado e comparar com rações formuladas por programação linear (custo mínimo), sobre o desempenho econômico e produtivo e a qualidade de ovos de poedeiras comerciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais adotados foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo, Brasil, sob protocolo número 5048060215.

Aves, delineamento experimental e manejo

O experimento foi realizado no setor de avicultura da FZEA/USP. Foram utilizadas 288 poedeiras da linhagem comercial Hisex White®, de 33 a 45 semanas de idade, com peso médio de 1,540 ± 0,1167 kg, distribuídas em um delineamento em blocos ao acaso, com seis tratamentos, com seis repetições, totalizando 36 unidades experimentais com oito aves cada. O delineamento em blocos ao acaso foi utilizado para controlar diferenças na produção de ovos entre as parcelas no início do experimento.

As aves foram alojadas em gaiolas de arame galvanizado com 100 cm de comprimento, 40 cm de largura e 45 cm de altura, sob galpão de alvenaria com telhas de barro e fechado nas laterais por tela de aço galvanizado. Cada gaiola era dividida em quatro compartimentos de 1000 cm^2 de área de piso cada, onde foram alojadas duas aves, resultando em 500 cm^2/ave. Assim, a unidade experimental foi composta por uma gaiola com quatro compartimentos, totalizando oito aves. O galpão era provido de cortinas e ventiladores que foram manejados convenientemente de acordo com a condição climática. Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, máxima e mínima, foram 29,31ºC e 16,21ºC - 62,46% e 27,23%, respectivamente. O programa de luz adotado foi o de 16h30min de luz por dia. As aves receberam água e ração a vontade e foram manejadas de acordo com o manual da linhagem Hisex® (2010).

Descrição dos tratamentos

Os seis tratamentos experimentais foram: 1) ração de custo mínimo com exigências nutricionais de acordo Rostagno *et al*. (2011); 2) ração de custo mínimo com as exigências nutricionais recomendadas pelo Manual da Linhagem Hisex® (2010); 3) ração de custo mínimo com as exigências nutricionais obtidas pela média da derivada parcial primeira igual a zero dos modelos matemáticos propostos por Faria Filho *et al*. (2015) (Tabela 1) para produção de ovos, massa de ovos e conversão alimentar; 4) ração para maximização do lucro em cenário de

mercado normal; 5) ração para maximização do lucro em cenário de mercado favorável; e 6) ração para maximização do lucro em cenário de mercado desfavorável.

As rações de custo mínimo, dos tratamentos de 1 a 3, foram formuladas com ingredientes convencionais e com preço de junho de 2015 para o Estado de São Paulo, Brasil, sendo: milho 0,44 R$/kg, farelo de soja 0,98 R$/kg, óleo de soja 2,20 R$/kg, fosfato bicálcico 1,70 R$/kg, calcário calcítico 0,30 R$/kg, sal comum 0,20 R$/kg, DL-metionina 17,00 R$/kg, L-lisina 10,60 R$/kg e premix 7,60 R$/kg. Adotou-se o algoritmo Simplex, técnica da programação linear, para minimização da função objetivo que foi o preço da ração. As restrições impostas ao modelo foram: i) não negatividade para os ingredientes; ii) premix fixo em 0,3%; iii) 100% para soma dos ingredientes; e iv) atendimento exato das exigências de energia metabolizável, proteína bruta, cálcio, fósforo disponível, sódio, metionina+cistina digestível e lisina digestível e o atendimento da exigência mínima para triptofano digestível. Essas rações foram formuladas no *software* Excel®, versão Professional Plus 2013, com auxílio do suplemento Solver® nas suas configurações default.

Os modelos matemáticos propostos por Faria Filho *et al*. (2015) (Tabela 1), foram utilizados para determinação das exigências nutricionais dos tratamentos 3 ao 6. Tratam-se de modelos meta-analíticos, desenvolvidos a partir de 93 artigos científicos, publicados no Brasil e no exterior, em um total de 103 experimentos. A produção de ovos (%/ave/dia), a massa de ovos (g/ave/dia) e a conversão alimentar (g/g) foram as variáveis dependentes. As variáveis independentes foram a fase do ciclo de postura (fase 1 = até 32 semanas, fase 2 = 33 a 45 semanas, fase 3 = 46 a 58 semanas ou fase 4 = 59 semanas ao descarte), variedade (branca ou vermelha), equilíbrio eletrolítico (55 a 257 meq/kg), consumo de energia metabolizável (178 a 373 kcal/dia), consumo de cálcio (1,96 a 6,30 g/dia), consumo de fósforo disponível (85 a 584 mg/dia), consumo de sódio (85 a 321 mg/dia), consumo de proteína bruta (5,74 a 22,92 g/dia), consumo de metionina + cistina digestível (220 a 905 mg/dia), consumo de lisina digestível (302 a 1062 mg/dia) e consumo de triptofano digestível (73 a 269 mg/dia). Cada experimento entrou no modelo como variável aleatória e as variáveis independentes foram consideradas como de efeito fixo (ST-PIERRE, 2007). Os modelos foram ajustados por meio do PROC MIXED do SAS (LITTELL; STROUP; FREUND, 2002), com os parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança, sendo mantidos os parâmetros com $p<0,05$.

Tabela 1 Parâmetros de regressão de modelos de meta-analíticos para a produção de ovos, massa de ovos e conversão alimentar de poedeiras comerciais.

	Produção de ovos (%/ave/dia)			Massa de ovos (g/ave/dia)			Conversão alimentar (g/g)		
	Parâmetros	EPM	P-valor	Parâmetros	EPM	P-valor	Parâmetros	EPM	P-valor
Intercepto	-75,99	8,535	***	-58,47	5,925	***	5,22	0,322	***
Fase									
1 (18 a 32 semanas)	11,29	0,759	***	2,30	0,567	***	-0,123	0,0283	***
2 (33 a 45 semanas)	10,29	0,614	***	3,75	0,465	***	-0,162	0,0234	***
3 (46 a 58 semanas)	5,10	0,687	***	1,91	0,511	***	-0,099	0,0262	***
4 (59 ao descarte)	0	-	-	0	-	-	0	-	-
Variedade									
Branca	2,37	0,484	***	-	-	NS	-0,0437	0,01869	**
Vermelha	0	-	-	-	-	-	0	-	-
Efeito linear[2]									
Energia metabolizável	0,3488	0,18500	***	0,3883	0,05052	***	-0,0160	0,00290	***
Cálcio	7,2869	2,71480	***	-	-	NS	-	-	NS
Fosforo disponível	0,0636	0,01095	***	0,0372	0,00826	***	-	-	NS
Sódio	-	-	NS	0,0654	0,02231	***	-	-	NS
Balanço eletrolítico	0,0797	0,03985	**	-	-	NS	-	-	NS
Proteína bruta	-	-	NS	-	-	NS	-0,1077	0,02141	***
Metionina+cistina digestível	0,0552	0,01444	***	-	-	NS	-	-	NS
Lisina digestível	0,0502	0,02079	***	-	-	NS	-	-	NS
Triptofano digestível	0,1778	0,04550	***	0,2380	0,02627	***	-	-	NS
Efeito quadratico[2]									
Energia metabolizável	-0,0005	0,00014	***	-0,0005	0,00009	***	0,00003	0,000001	***
Cálcio	-0,6935	0,31610	**	-	-	NS	-	-	NS
Fosforo disponível	-0,0001	0,00002	***	-0,00006	0,000013	***	-	-	NS
Sódio	-	-	NS	-0,00013	0,000056	**	-	-	NS
Balanço eletrolítico	-0,00033	0,000131	**	-	-	NS	-	-	NS
Proteína bruta	-	-	NS	-	-	NS	0,00317	0,000687	***
Metionina+cistina digestível	-0,00003	0,000011	***	-	-	NS	-	-	NS
Lisina digestível	-0,00003	0,000001	***	-	-	NS	-	-	NS
Triptofano digestível	-0,00048	0,000124	***	-0,00056	0,000075	***	-	-	NS

[1]Fonte: adaptado FARIA FILHO, D. E. *et al*. Holo-análises das exigências nutricionais de poedeiras comerciais. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: Facta, 2015. [2]Energia metabolizável= 178 a 373 kcal/dia, cálcio = 1.96 a 6.30 g/dia, fosforo disponível = 85 a 584 mg/dia, sódio= 85 a 321 mg/dia, balanço eletrolítico = 55 a 257 meq/kg, CP = 5,74 a 22,92 g/dia, metionina+cistina = 220 a 905 mg/dia, lisina = 302 a 1062 mg/dia, triptofano = 73 a 269 mg/dia. *= P<0,05. **=P<0,01. ***=P<0,001. NS= Não significativo (P>0,05). EPM= Erro padrão da média.

Para a formulação das rações de lucro máximo, dos tratamentos 4 a 6, adotou-se os procedimentos descritos por Afrouziyeh et al. (2011). Elaborou-se uma planilha no Microsoft Excel®, versão Professional Plus 2013 e as configurações do suplemento Solver® foram: método de otimização = GRG não linear; derivativos = central; inicialização = início múltiplo; e demais opções default. A função objetivo a ser maximizada foi a função de Lucro (L), calculada como a diferença entre a receita (Ovo x Ovo_Preço) e o custo ((Ração x Ração_Preço) / 0,70), conforme detalhada a seguir:

L (R$/ave/12 semanas) = ((Ovo x Ovo_Preço)–((Ração x Ração_Preço)/0,70)))

Onde:

Ovo = quantidade de cartelas de 30 dúzias de ovos produzidas em 12 semanas. Este valor é estimado usando o modelo matemático proposto por Faria Filho *et al*. (2015) para produção de ovos (Tabela 1), sendo, portanto, dependente da fase, da variedade e dos níveis do nutriente que fazem parte do modelo.

Ovo_Preço = preço pago pela cartela de 30 dúzia ovos (R$/30 dúzia), sendo dependente do cenário de mercado no momento da formulação de ração.

Ração = consumo de ração por ave por 12 semanas (g/ave/12semanas). Este valor é estimado usando o modelo matemático proposto por Faria Filho *et al*. (2015) para consumo de ração (Tabela 1), sendo, portanto, dependente da fase, da variedade e dos níveis do nutriente que fazem parte do modelo.

Ração_preço = preço do kg da ração (R$/kg), sendo dependente do cenário de mercado no momento da formulação e é determinado no processo de formulação de ração.

Nesse processo de formulação ração as variáveis de decisão foram os ingredientes e os nutrientes que constam nos modelos matemáticos (Tabela 1) para produção de ovos e consumo de ração. Dessa forma, durante o processo de formulação de ração se definem os níveis nutricionais que irão maximizar o lucro, além de se definir a ração. As seguintes restrições impostas ao modelo foram: i) não negatividade para os ingredientes; ii) premix fixo em 0,3%; iii) 100% para soma dos ingredientes.

Para elaboração dos tratamentos de 4 a 6, utilizou-se ingredientes convencionais, considerando como cenário de mercado normal aquele descrito anteriormente, para o preço do milho, farelo de soja e o preço de R$56,00 por 30 dúzias de ovos. No cenário econômico favorável, os preços do milho e do farelo de soja foram reduzidos em 20% e o preço pago por 30 dúzias de ovos foi valorizado em 20%. Para o cenário econômico desfavorável, os preços

do milho e do farelo de soja foram aumentados em 20% e o preço pago por 30 dúzias de ovos foi desvalorizado em 20%. As rações experimentais estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Rações experimentais para poedeiras comerciais de 33 a 45 semanas de idade.

	Programação linear			Programação não linear		
	Rostagno[1]	Hisex[2]	Modelos[3]	Normal[4]	Favorável[5]	Desfavorável[6]
Ingredientes						
Milho	61,23	53,99	49,84	66,73	67,03	67,43
Farelo de soja 45%	24,71	29,62	28,82	19,4	20,65	18,52
Óleo de soja	2,53	4,06	5,86	1,00	1,00	1,00
Calcário calcítico	9,44	9,92	12,93	10,45	9,14	10,58
Fosfato bicálcico	1,082	1,530	1,198	1,330	1,217	1,333
Cloreto de sódio	0,511	0,411	0,590	0,430	0,423	0,435
DL-metionina 98%	0,197	0,172	0,459	0,280	0,239	0,285
L-lisina HCl 78%	0,000	0,000	0,006	0,080	0,000	0,117
Premix[7]	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
Total (kg)	100	100	100	100	100	100
Composição calculada						
Energia metabolizável (kcal/kg)	2850	2850	2850	2782	2820	2785
Proteína bruta (%)	16,00	17,65	16,96	14,03	14,62	13,69
Cálcio (%)	3,900	4,200	5,250	4,330	3,810	4,380
Fósforo disponível (%)	0,290	0,380	0,314	0,330	0,310	0,330
Sódio (%)	0,220	0,180	0,250	0,190	0,190	0,190
Lisina digestível (%)	0,751	0,864	0,840	0,691	0,662	0,695
Metionina+cistina digestível (%)	0,650	0,660	0,920	0,688	0,658	0,680
Triptofano digestível (%)	0,174	0,199	0,192	0,146	0,153	0,141
Preço (R$/ton)	217,1	234,9	256,5	206,9	172,1	237,5

[1]Requerimento nutricional de acordo com ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p. [2]Requerimento nutricional de acordo com Guia de Manejo Hisex®. [3]Requerimento nutricional obtido pela derivada parcial primeira dos modelos (Tabela 1). [4]Cenário de mercado de março de 2015 em São Paulo/Brasil para preço do milho, do farelo de soja e do preço pago por 30 dúzias ovos. [5]Cenário de mercado 20% melhor em relação ao normal. [6]Cenário de mercado 20% pior em relação ao normal. [7]Níveis por kg de produto: vitamina A 2333,33 UI; vitamina D_3 666670 UI; vitamina E 1666,67 UI; vitamina K_3 533330 mg; vitamina B_2 1000 mg; vitamina B_{12} 2666,67 mcg; niacina 6666,67 mg; colina 78,120 g; ácido pantotênico 1666,67 mg; cobre 2666,7mg; ferro16,670 g; manganês 23330 g; zinco 16,670 g; iodo 400 mg; selênio 66670 mg; bacitracina de zinco 6666,67mg.

Características avaliadas

Avaliou-se o desempenho, a qualidade interna e externa dos ovos ao final de cada um dos três ciclos de 28 dias. Os resultados apresentados representam a média dos três ciclos.

O desempenho foi avaliado por meio do consumo de ração (g/ave/dia), produção de ovos (%/ave/dia), peso dos ovos (g), massa de ovos (g/ave/dia) e conversão alimentar (g/g). O consumo de ração foi obtido pela diferença entre a quantidade de ração fornecida no início e a sobra de ração no final do período de avaliação. A produção de ovos foi obtida registrando-se diariamente a postura de ovos e expressando os resultados como porcentagem do número de aves alojada. O peso dos ovos foi obtido em balança de precisão (modelo AS5000C da marca Marte, precisão de 0,01g), pesando-se toda a produção de ovos do dia de avaliação e calculando-se a média. A massa de ovos foi calculada pela multiplicação da produção de ovos pelo peso dos ovos. A conversão alimentar foi obtida pela relação entre o consumo de ração e a massa de ovos.

A qualidade de ovos foi avaliada em quatro ovos por parcela, no equipamento Digital EggTester® (modelo DET6000) por meio do peso do ovo (g), resistência à quebra da casca (Kgf), coloração da gema (YCF), altura de albúmen (mm) e unidade Haugh. As porcentagens de gema e de albúmen foram expressas como porcentagem do ovo fresco, sendo a gema e o albúmen obtidos por separação manual e pesados em balança de precisão (modelo AS5000C da marca Marte, precisão de 0,01g). Foram determinadas também a espessura da casca (mm), porcentagem da casca (% do ovo fresco) e gravidade específica dos ovos (g/mL). Para determinação da porcentagem e da espessura das cascas, essas foram removidas manualmente e colocadas para secar em temperatura ambiente e após 24h foram medidas. A gravidade específica foi obtida pela imersão dos ovos em baldes de 20 litros com gravidades específicas variando de 1,060 a 1,100 com intervalos de 0,005 cada.

Análises estatísticas

Os dados foram verificados quanto a presença de dados discrepantes e em seguida submetidos à análise de normalidade dos erros estudentizados (teste de Cramer-Von-Mises) e de homogeneidade de variâncias (teste de Brown-Forsythe). Após constatado o atendimento das pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias, os dados foram submetidos à análise de variância por meio do programa RStudio® e em caso de significância ($P<0,05$) aplicou-se o teste de Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974).

RESULTADOS

Os resultados de desempenho estão apresentados na Tabela 3. O consumo de ração e produção de ovos apresentaram os melhores resultados (P<0,05) para o tratamento Modelos e os demais tratamentos não diferiram entre si. Para massa de ovos, o peso de ovos e a conversão alimentar, o tratamento Modelo proporcionou os melhores resultados (P<0,05), seguido do tratamento Hisex e os demais tratamentos não diferiram entre si. Para o lucro, o melhor resultado foi para o tratamento Favorável (P<0,05), seguido do Normal e de Rostagno, depois por Hisex e Modelos, e por fim, o Desfavorável.

Os resultados de qualidade interna e externa dos ovos estão apresentados na Tabela 4. As variáveis altura do albúmen e unidade Haugh e as de qualidade externa não foram influenciadas pelos tratamentos experimentais (P>0,05). Houve diferença no peso da gema (P<0,05), onde os maiores valores foram encontrados nos tratamentos Modelos e Favorável, sendo que os outros tratamentos não diferiram entre si. Os tratamentos influenciaram (P<0,05) a cor da gema, sendo os maiores valores encontrados para os três tratamentos da programação não linear. Verificou-se efeito de tratamento (P<0,05) para o peso de albúmen, em que os melhores resultados foram para os tratamentos Modelos e Hisex, seguido dos demais tratamentos que não diferiram entre si. Os tratamentos também influenciaram a porcentagem de gema e o peso do albúmen (P<0,05). O percentual de gema foi menor e o peso do albúmen foi maior para os tratamentos da programação linear.

Tabela 3 - Desempenho produtivo e econômico de galinhas poedeiras alimentadas com rações formuladas por meio de programação linear e não-linear de 33 a 45 semanas de idade.

Variáveis	Programação linear			Programação não linear			RQEM	P-valor	
	Rostagno[1]	Hisex[2]	Modelos[3]	Normal[4]	Favorável[5]	Desfavorável[6]		Tratamento	Bloco
Consumo de ração (g)	109,4[a]	107,1[a]	103,5[b]	108,8[a]	110,5[a]	110,4[a]	2,53	***	NS
Produção de ovos (%/ave/dia)	95,2[b]	94,5[b]	97,6[a]	94,3[b]	95,5[b]	95,5[b]	1,55	*	NS
Peso dos ovos (g)	60,1[c]	62,1[b]	64,1[a]	59,6[c]	60,4[c]	59,6[c]	1,12	***	NS
Massa de ovos (g/ave/dia)	57,2[c]	58,7[b]	62,6[a]	56,2[c]	57,7[c]	56,9[c]	1,32	***	NS
Conversão alimentar	1,913[a]	1,825[b]	1,653[c]	1,936[a]	1,915[a]	1,940[a]	0,0468	***	NS
Lucro (R$/ave/12 semanas)	1,53[b]	1,40[c]	1,40[c]	1,59[b]	2,24[a]	1,01[d]	0,1803	***	NS

[1]Requerimento nutricional de acordo com ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p. [2]Requerimento nutricional de acordo com Guia de Manejo Hisex®. [3]Requerimento nutricional obtido pela derivada parcial primeira dos modelos (Tabela 1). [4]Cenário de mercado de março de 2015 em São Paulo/Brasil para preço do milho, do farelo de soja e do preço pago por 30 dúzias ovos. [5]Cenário de mercado 20% melhor em relação ao normal. [6]Cenário de mercado 20% pior em relação ao normal. [a,b,c,d] Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste Scott-Knott. *= P<0,05. **=P<0,01. ***=P<0,001. NS= Não significativo (P>0,05)RQEM =Raiz quadrada do quadrado médio do resíduo.

Tabela 4 - Qualidade de ovos de galinhas poedeiras alimentadas com rações formuladas por meio de programação linear e não-linear de 33 a 45 semanas de idade

Variáveis	Programação linear			Programação não linear			RQEM	P-valor	
	Rostagno[1]	Hisex[2]	Modelos[3]	Normal[4]	Favorável[5]	Desfavorável[6]		Tratamento	Bloco
Qualidade interna									
Peso da gema (g)	15,98[b]	15,94[b]	16,73[a]	16,07[b]	16,35[a]	16,16[b]	0,410	*	NS
Peso do albúmen (g)	35,33[b]	36,90[a]	37,21[a]	34,06[b]	34,55[b]	33,93[b]	1,141	***	NS
Altura do albúmen (mm)	7,71	8,03	8,33	7,91	8,03	7,75	0,336	NS	NS
Cor da gema	5,98[a]	5,40[b]	5,40[b]	6,14[a]	6,074[a]	6,15[a]	0,134	***	NS
Unidade Haugh	87,36	88,46	90,10	88,92	89,35	87,76	1,992	NS	NS
Gema (%)	26,21[b]	25,28[b]	25,77[b]	26,97[a]	26,96[a]	27,01[a]	0,700	***	NS
Albúmen (%)	57,83[a]	58,37[a]	57,81[a]	56,94[b]	56,83[b]	56,61[b]	0,988	*	NS
Qualidade externa									
Gravidade específica (g/cm^3)	1,089	1,088	1,088	1,087	1,088	1,089	0,0012	NS	NS
Peso da casca (g)	9,87	10,11	9,66	9,35	9,04	9,31	1,085	NS	NS
Espessura da casca (mm)	0,407	0,400	0,408	0,405	0,403	0,406	0,0070	NS	NS
Resistência da casca (Kgf)	4,52	4,56	4,62	4,43	4,45	4,65	0,246	NS	NS
Casca (%)	15,96	16,36	16,08	16,10	16,21	15,89	0,922	NS	NS

[1]Requerimento nutricional de acordo com ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p. [2]Requerimento nutricional de acordo com Guia de Manejo Hisex®. [3]Requerimento nutricional obtido pela derivada parcial primeira dos modelos (Tabela1). [4]Cenário de mercado de março de 2015 em São Paulo/Brasil para preço do milho, do farelo de soja e do preço pago por 30 dúzias ovos. [5]Cenário de mercado 20% melhor em relação ao normal. [6]Cenário de mercado 20% pior em relação ao normal. [a,b] Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste Scott-Knott. *= P<0,05. **=P<0,01. ***=P<0,001. NS= Não significativo (P>0,05) RQEM =Raiz quadrada do quadrado médio do resíduo.

DISCUSSÃO

Foi estabelecido o nível de energia metabolizável de 2850 kcal/kg para as rações formuladas por programação linear. O nível de energia metabolizável das rações de lucro máximo, foi ajustada pela programação não linear, afim de maximizar o lucro, tendo valores inferiores aos da programação linear. A densidade energética da ração pode alterar o consumo de ração, sendo que, se for abaixo da exigência energética do animal, este pode aumentar o consumo, afim de, atender sua necessidade (LEESON; SUMMERS; CASTON, 2001; MORRIS, 2004; LEESON; SUMMERS, 2009). O menor consumo de ração observado pelo tratamento Modelos, pode ser justificado, devido a maior densidade nutricional da ração (LEESON; SUMMERS; CASTON, 2001). Outro fator, é a maior quantidade de óleo incluso naquela ração, já que, a maior porção de lipídios presente no duodeno favorece para o aumento da sensação de saciedade (RAVINDRAN *et al*., 2016).

A maior produção de ovos observada no tratamento modelo pode ser associada ao maior aporte nutricional dessas rações. Persio *et al*. (2015) encontrou maior produção, peso e massa de ovos ao elevar a energia e densidade de nutrientes da ração. A densidade nutricional da ração também interfere no peso do ovo (WU *et al.*, 2007). As aves tendem a produzir ovos maiores quando alimentadas com rações de níveis elevados de proteína (RIZZO *et al.*, 2010; PERSIO *et al.*, 2015) e aminoácidos sulfurados (PAVAN *et al.*, 2005; KAKHKI; GOLIAN; ZARGHI, 2016). Também, o aumento do peso do ovo está associado ao nível de energia e com a relação energia:proteína (LEESON; SUMMERS, 2009; PERSIO *et al.*, 2015) e com a quantidade de energia que é aproveitada pela ave (MORRIS, 2004; COSTA, 2004; WU *et al.*, 2007). A metionina exerce influência no aumento de albúmen e peso dos ovos (KAKHKI; GOLIAN; ZARGHI, 2016).

O menor consumo de ração e maior massa de ovos proporcionado pelo tratamento Modelos, gerou melhor conversão alimentar. Entretanto, a melhor conversão alimentar não significa menor custo (DADALT *et al.*, 2015). O tratamento Favorável, acarretou em pior conversão alimentar, porém foi verificado maior lucro para esse tratamento. De acordo com Eits *et al*. (2005b), níveis nutricionais para maximização do lucro não coincidem com os de máximo desempenho e as rações de lucro máximo apresentaram menor aporte de nutriente. Segundo Leeson, Summers e Caston (2001) e Heydary (2014), rações de baixa densidade nutricional são mais vantajosas economicamente. Embora o tratamento Desfavorável tenha ocasionado o menor lucro, o cenário econômico era hostil, a programação não linear encontrou o melhor nível para esse cenário. Isso significa mesmo embora com o menor lucro entre os

tratamentos, a adoção de níveis nutricionais diferentes daqueles seria ainda mais prejudicial ao lucro.

Os resultados da presente pesquisa corroboram com Afrouziyeh *et al.* (2010) e Afrouziyeh *et al.* (2011) em que a rentabilidade foi maior com o uso da programação não linear para poedeiras de 24 a 32 semanas e de 32 a 44 semanas, respectivamente. Em frangos de corte, com a utilização de rações de lucro máximo, também se constatou que, o maior desempenho do animal proporcionado por rações de custo mínimo, não implica na máxima rentabilidade do sistema de produção (HEYDARI, 2014; DADALT *et al.*, 2015; GONÇALVES *et al.*, 2015).

Através da programação não linear é possível maximizar o lucro do sistema de produção. Isso devido a maior flexibilidade que o programa proporciona em relação aos níveis nutricionais, sendo esta uma grande vantagem da programação não linear, que estabelece os níveis nutricionais para se obter o maior lucro de acordo com o cenário econômico (GUEVARA, 2004; EITS *et al.*, 2005b). Dessa forma, o método de formular ração por meio de programação não linear pode ser uma alternativa para a formulação de ração de custo mínimo, devido a capacidade de aliar princípios da nutrição de precisão, o sistema econômico de produção e prever o desempenho zootécnico (CERRATE; WALDROUP, 2009; GONÇALVES *et al.*, 2015).

Costa *et al.* (2004) observaram que o peso do albúmen aumentou linearmente com a elevação do nível proteico e de energia da ração. Os tratamentos Modelos e Hisex, com maior nível de proteína nas rações, favoreceram para elevar o peso do albúmen. Entretanto, o maior peso de albúmen também está atrelado ao nível energético da ração, afim de, proporcionar aumento na deposição de proteína (MORRIS, 2004; WU *et al.*, 2007; LEESON; SUMMERS, 2009).

Os resultados obtidos para a coloração das gemas das rações por programação não linear, podem ser justificados pela maior quantidade de milho que, ocasionou maior concentração de carotenoides nas rações, isso pode ser o fator que mais contribuiu em maior deposição de xantofilas na gema do ovo (LEESON; SUMMERS, 2009), garantindo uma coloração mais acentuada nas gemas provenientes desses tratamentos.

A qualidade externa de ovos não foi afetada pelos tratamentos. Os níveis de cálcio e de fósforo disponível exercem grande influência sobre a qualidade da casca (LEESON; SUMMERS, 2009; HASSAN; AL AQIL, 2015) indicando que os níveis desses nutrientes adotados suficientes para suportar boa qualidade da casca.

CONCLUSÃO

Rações formuladas por programação linear proporcionam melhor desempenho produtivo de acordo com o nível nutricional pré-estabelecido pelo nutricionista. Rações formuladas por programação não linear são mais vantajosas economicamente, e seus níveis nutricionais variam de acordo com o cenário econômico, afim de garantir o maior lucro.

REFERÊNCIAS

AFROUZIYEH, M. *et al*. Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 1. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, p. 2770-2777, 2010.

AFROUZIYEH, M. *et al*. Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 2. **The Journal Applied Poultry Research**, Cary, v. 20, p. 50-55, 2011.

CERRATE, S.; WALDROUP, P. Maximum profit feed formulation of broilers: 1. development of a feeding program model to predict profitability using non linear programming. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 8, p. 205- 215, 2009.

COSTA, F. G. P. *et al*. Níveis de proteína bruta e energia metabolizável na produção e qualidade dos ovos de poedeiras da linhagem Lohmann Brown. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1421-1427, 2004.

DADALT, J. C. *et al*. Comparison between linear and nonlinear systems of feed formulation for broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 17, p. 11-16, 2015.

EITS, R. M. *et al*. Dietary balanced protein in broiler chickens. 1. A flexible and practical tool to predict dose-response curves. **British Poultry Science**, Abingdon, v. 46, p. 300-309, 2005a.

EITS, R. M. *et al*. Dietary balanced protein in broiler chickens. 2. Na economic analysis. **British Poultry Science**, Abingdon, v. 46, p. 310-317, 2005b.

FARIA FILHO, D. E. *et al*. Holo-análises das exigências nutricionais de poedeiras comerciais. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: Facta, 2015. res. NU70.

FARIA FILHO, D. E. *et al*. Response surface models to predict broiler performance andapplications for economicanalysis. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 10, p. 139-141, 2008.

GARCIA-NETO, M. **PPFR**: programa prático para formulação e otimização de ração frangos de corte programação não linear, 2012. Disponível em: <https://sites.google.com/site/ppfrprogramforfeedformulation/>. Acesso em: 26 maio 2015.

GONÇALVES, C.A. *et al*. Accuracy of nonlinear formulation of broiler diets: maximizing profits. **Brazilian Journal of Poultry Science,** Araçatuba, v. 17, n. 2, p. 173-180, 2015.

GUEVARA, V. R. Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. **Poultry Science**, Cary, v. 83, p. 147-151, 2004.

HASSAN, S. M.; AL AQIL, A. A. Effect of adding different dietary calcium to available phosphorus ratios on productive performance and eggshell quality of white egg layer hens. **Poultry Science,** Cary, v. 14, p.103-111, 2015.

HEYDARY, S. G. Effect of linear and random non-linear programming feed formulating on performance of broilers. **Journal of Novel Applied Sciences**, Tehran, v. 3, p. 1426-1429, 2014.

HISEX. **Nutrition management guide commercials2009-2010**. Spoorstraar: Institut de Sélection Animale B.V., 2010. 21 p.

KAKHKI, R.A.M.; GOLIAN, A.; ZARGHI, H. Effect of digestible methionine+cystine concentration on performance, egg quality and blood metabolites in laying hens. **British Poultry Science,** Abingdon, 2016. (Epub ahead of print).

LEESON, S.; SUMMERS, J. D.; CASTON, L. J. Response of layeres to low nutrient-density diets. **The Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 10, n. 1 p. 46-52, 2001.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition**. 3. ed. Ontario, Canada: University of Guelph Guelph, 2009. 413 p.

LITTELL, R. C.; STROUP, W. W.; FREUND, R. J. **SAS for linear models.** 4nd ed. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2002. 466 p.

MORRIS, T. R. Nutrition of chicks and layers. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 60, p. 5-12, 2004.

PAVAN, A. C. *et al*. Níveis de proteína bruta e de aminoácidos sulfurados totais sobre o desempenho, a qualidade dos ovos e a excreção de nitrogênio de poedeiras de ovos marrons. **Revista Brasileira de Zootecnia,** Viçosa, v. 34, p. 568-574, 2005.

PERSIO, S. *et al*. Effects of feeding diets varying in energy and nutrient density to Hy-Line W-36 laying hens on production performance and economics. **Poultry Science,** Cary, v. 94, p.195-206, 2015.

RAVINDRANA, V. *et al*. Fats in poultry nutrition: digestive physiology and factors influencing their utilisation. **Animal Feed Science and Technology,** Amsterdam, v. 213, p. 1-21, 2016.

RIZZO, S. M. F. *et al*. Desempenho, qualidade dos ovos e balanço de nitrogênio de poedeiras comerciais alimentadas com rações contendo diferentes níveis de proteína bruta e lisina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1280-1285, 2010.

ROSTAGNO, H. S. *et al*. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252 p.

SAXENA, P. Comparison of linear and nonlinear programming techniques for animal diet. **Applied Mathematics**, Rosemead, v. 1, n. 2, p. 106-108, 2011.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics,** Chichester, v. 30, p. 507-512, 1974.

ST-PIERRE, N. R. Meta-analyses of experimental data in the animal sciences. **Revista Brasileira de Zootecnia,** Viçosa, v. 36, p. 343-358, 2007.

WU, G. *et al*. Effect of nutrient density on performance, egg components, egg solids, egg quality and profits in eight commercial leghorn strains during phase one. **Poultry Science,** Cary, v. 86, p. 691-697, 2007.

ANEXO A – Parecer consubstanciado da Comissão de Ética no Uso de Animais

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Comitê de Ética em Pesquisa da FZEA

Pirassununga, 25 de abril de 2015
CEUA N 5048060215

Ilmo(a). Sr(a).
Responsável: Daniel Emygdio De Faria Filho
Depto/Disc: Zootecnia (zaz)
Pesquisadores envolvidos: Ariane Maria Leoni - executante (usp/fzea/pirassununga-sp); Thiago William De Almeida - executante (usp/fzea/pirassununga-sp); Douglas Emygdio De Faria - colaborador (usp/fzea/pirassununga-sp); Daniel Emygdio De Faria Filho (orientador)

Título do projeto: "Revisão sistemática da literatura e metanálise com elaboração de modelos matemáticos para formulação não linear de ração para frangos de corte e poedeiras comerciais".

Parecer Consubstanciado da Comissão de Ética no Uso de Animais FZEA

Este projeto terá por objetivo elaborar revisões sistemáticas da literatura e metanálise com elaboração de modelos matemáticos para estimar as exigências nutricionais (energia metabolizável, proteína bruta, metionina, lisina, treonina, triptofano, valina, cálcio, fósforo disponível e sódio) para frangos de corte e poedeiras comerciais. Esses modelos serão utilizados para formular rações por procedimentos não lineares, ou seja, rações de máximo lucro ao invés de rações de custo mínimo. Para revisão sistemática será adotada a metodologia proposta por CASTRO et al. (2002) e aos dados coletados serão ajustados modelos de superfície de resposta (FREUND & LITTELL, 2000). Nesses modelos serão adotadas como variáveis independentes os nutrientes mencionados anteriormente e a idade, a temperatura ambiente, a densidade de alojamento e sexo. As variáveis dependentes serão aquelas utilizadas para calcular o lucro, tais como consumo de ração, peso corporal, produção de ovos, conversão alimentar, entre outras. Será elaborado um programa de formulação não linear de ração no programa Excel® com auxílio do suplemento Solver® e das equações geradas no estudo. Esse programa de formulação determinará os níveis nutricionais e a ração de lucro máximo para diferentes cenários de mercado. Para elaboração desse programa serão utilizados os princípios estabelecidos por GUEVARA (2004). Esse programa será disponibilizado gratuitamente aos interessados. Serão conduzidos dois experimentos para comparação da formulação não linear de ração (lucro máximo) com a formulação linear de ração (custo mínimo), sendo um para frangos de corte e outro para poedeiras comerciais.

A Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA/USP, na reunião de 25/02/2015, **ANALISOU** e **APROVOU** todos os procedimentos apresentados neste protocolo.
1. Comunicar toda e qualquer alteração do protocolo.
2. Comunicar imediatamente ao Comitê qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento do protocolo.
3. Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.
4. **Relatórios parciais** de andamento deverão ser enviados **anualmente** à CEUA até a conclusão do protocolo.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Daniele dos Santos Martins
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Universidade de São Paulo

Av. Duque de Caxias Norte, 225 - CEP 13635-900 Pirassununga/SP - tel: 55 (19) 3565 4299 / fax: 55 (19) 3565 4340
Horário de atendimento: das 8h as 17h : e-mail:cepfzea@usp.br
CEUA N° 5048060215