UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

AMANDA DA LAPA SILVA

**Impacto econômico da densidade nutricional e da idade de abate de frangos
de corte**

PIRASSUNUNGA

2018

AMANDA DA LAPA SILVA

**Impacto econômico da densidade nutricional e da idade de abate de frangos
de corte**

VERSÃO CORRIGIDA

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos da Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos para a
obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Daniel Emygdio de
Faria Filho

PIRASSUNUNGA

2018

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

LS586i Lapa Silva, Amanda
Impacto econômico da densidade nutricional e da
idade de abate de frangos de corte / Amanda Lapa
Silva ; orientador Daniel Emygdio de Faria Filho. -
- Pirassununga, 2018.
90 f.

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

1. densidade nutricional. 2. idade de abate. 3.
lucro máximo. 4. modelagem matemática. 5.
otimização. I. Emygdio de Faria Filho, Daniel ,
orient. II. Título.

Aos meus amados avós D. Eva e Seu Jorge (*in memorian*), D. Maria (*in memorian*) e Seu José por serem à base de demonstração de amor e da verdadeira família.

Dedico

Aos meus pais Lourdes e Ademir e meus irmãos Letícia e Vinícius por serem a prova de amor mais concreta que existe.

Ofereço

*“Agradeço a meu Deus toda vez que me lembro de vocês”
— Filipenses 1:3*

AGRADECIMENTOS

À *Deus* por cada pequeno milagre a minha volta e pelas bênçãos que recebo a todo momento.

Estendo meu imenso agradecimento aos meus amados pais Lourdes e Ademir e meus irmãos Letícia e Vinícius, pela enorme dedicação e amor oferecidos durante todos esses anos, por todos os valores por eles repassados durante minha criação, pelas orações no momento de fragilidade, e por me ensinarem que a Fé é fundamental para mover sonhos. A toda a minha família, que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

Ao meu orientador Prof. Daniel Emygdio de Faria Filho, pela oportunidade e ensinamentos durante esses anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), processo Nº 1540917 pela concessão da bolsa de estudos durante o período de doutorado.

A toda equipe do Laboratório de Avicultura, os amigos de pós-graduação Julian, Thiago, Ana Paula, Baiano e os estagiários Renan, Márcio, Nicole, Vitor, Lucas, Sophie, Willian e Tomas pela amizade e por todo auxílio na execução do experimento, em especial ao Claudinho, você é fundamental a nossa equipe.

Aos amigos conquistados durante o Doutorado Natália, Ingrid, Paula, Thais, Vinícius, em especial, a Isadora e a Eloise, que além de amigas fizeram meus dias melhores, vocês têm grande valor nessa minha conquista.

E minha eterna gratidão aos amigos de longa data, em especial a Diana, ao Keny e a Letícia, que mesmo distante fizeram presentes com palavras carinhosas e gestos que me motivaram durante todos os dias.

Gratidão!

“Ninguém é suficientemente perfeito, que não possa aprender com o outro e, ninguém é totalmente destituído de valores que não possa ensinar.”

— *Francisco de Assis*

'These is nothing so pratical as a good theory.'
— *Lewin, 1951*

*Take up one ideia.
Make that one ideia your life;
dream of it; think of it;
live on that idea.
Let the brain, the body, muscles,
nerves, every part of your body
be full of that idea, and just leave
every other idea alone.
This is the way to sucess,
and this is the way great spiritual
giants are produced"*

Swami Vivekananda

RESUMO

SILVA, A. L. **Impacto econômico da densidade nutricional e da idade de abate de frangos de corte**. 2018. 90 p. Tese de Doutorado – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.

Um estudo foi realizado com os objetivos de (i) avaliar o desempenho produtivo, característica de rendimento de carcaça e impacto econômicos de frangos de corte; (ii) demonstrar a utilização de modelos de superfície de resposta em um programa não-linear de formulação de ração para otimização do lucro; e (iii) desenvolver uma planilha dinâmica e interativa para determinar a idade de abate de frangos de corte que otimiza o retorno econômico. Para atender esses objetivos, um experimento foi conduzido, no período de 1 a 56 dias, utilizando 1080 pintos de um dia, Ross[®], distribuídos em delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos de seis repetições de 30 aves cada. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial com três densidades nutricionais (baixa, moderada ou alta) por sexos (machos ou fêmeas). Os resultados do desempenho produtivo avaliado, mostraram que a alta densidade nutricional promove melhor desempenho produtivo, entretanto, prejudica os resultados econômicos. Para o fator sexo, as fêmeas apresentam piores resultados de desempenho e econômicos em relação aos machos, no entanto, melhoram o rendimento de peito. No segundo estudo, os modelos de superfície de resposta construídos para as variáveis dependentes consumo de ração e peso corporal para cada sexo e fase de criação foram adequados para estimar o desempenho produtivo e a receita líquida. Além disso, o programa não linear de formulação de ração pode ser útil por otimizar respostas nutricionais e econômicas com precisão. O terceiro estudo fornece uma planilha que usa uma abordagem interativa e dinâmica para determinar a idade de abate que otimiza o lucro da produção baseado no cenário econômico. Os usuários podem calcular a idade ótima de mercado e analisar a decisão de lucro máximo usando diferentes combinações de custos, função de crescimento, equação de consumo de ração e peso de mercado aceitável. Assim, a planilha pode ser aplicada como uma ferramenta de gestão em tempo real para auxiliar na tomada de decisões, otimizar a produtividade animal e maximizar o lucro.

Palavras-Chave: densidade nutricional, idade de abate, lucro máximo, modelagem matemática, otimização

ABSTRACT

SILVA, A. L. **Economic impact of nutritional diet and age of broiler chickens**. 2018. 90 p. Tese de Doutorado – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.

An experiment was conducted with the objective of (i) evaluating the productivity, yield functionality and economic impact of broilers; (ii) demonstrate the use of response surface models in a nonlinear feed formulation program for profit optimization; and (iii) develop a dynamic and iterative programming to determine the optimal slaughter age of broilers that optimizes the profit. For these objectives, an experiment was conducted over a period of 1 to 56 days using 1080 one-day-old Ross® chicks were distributed in a randomized block design with six treatments and six repetitions of 30 birds each. The treatments were arranged in a factorial scheme with three nutritional densities (low, moderate or high) by two sexes (males or females). The production results were evaluated, that high nutritional density promotes optimal productive performance, although it hinders the economic results. Regarding the sex factor, the females showed poor results regarding performance and profit when compared to the males. Nevertheless, they exhibited improved breast meat yields. In the second study, the response surface models were constructed can be used to estimate the productive performance, and therefore the net revenue. In addition, the nonlinear programming of feed formulation can be useful by optimizing nutritional and economic responses accurately. It was concluded that the response surface models are efficient in predicting the performance of broilers and allow to formulate diets to maximize profits. The third study, a dynamic and iterative programming was development for to determine the age slaughter for maximum profit. The model calculated net revenue, consumption ration and market weight. These results could represent a valuable reference for use in adjusting the strategy for broiler production and management. Thus, the developed programming can be applied as a real-time management tool, to aid in decision-making, optimize the productivity and maximize profit.

Keywords: mathematical modelling, maximal profit, nutritional density, optimization, slaughtering age.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1	13
FIGURA 1 – RELAÇÃO ENTRE O INCREMENTO DE DOSES DE NUTRIENTES E A LUCRATIVIDADE. ..	21
CAPÍTULO 4	67
FIGURA 1. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PLANILHA DE PREDIÇÃO DA IDADE DE ABATE DE FRANGOS DE CORTE.....	86
FIGURA 2. VISÃO GERAL DA SIMULAÇÃO DOS DADOS DE DESEMPENHO E AJUSTE DAS CURVAS..	87
FIGURA 3. VISÃO GERAL DA OTIMIZAÇÃO DA RECEITA LÍQUIDA E DA IDADE DE ABATE.	88
FIGURA 4. FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO DO LUCRO E DA DETERMINAÇÃO DA IDADE DE ABATE.	89
FIGURA 5. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA TAXA DE CRESCIMENTO MÁXIMA E DO RETORNO ECONÔMICO PARA A IDADE DE ABATE EM SITUAÇÃO DE MERCADO DESFAVORÁVEL AO PRODUTOR (T1), EM SITUAÇÃO DE MERCADO MEDIANA (T2) E EM SITUAÇÃO DE MERCADO FAVORÁVEL (T3).....	90

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1	13
TABELA 1. EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO	18
 CAPÍTULO 2	31
TABELA 1 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E NUTRICIONAL CALCULADA DAS RAÇÕES NA FASE INICIAL (1 A 10 DIAS), CRESCIMENTO (11 A 22 DIAS) E FINAL (23 A 42 DIAS) DE FRANGOS DE CORTE.....	41
TABELA 2 – CONSUMO DE RAÇÃO (CR, G), PESO CORPORAL (PC, G), GANHO DE PESO CORPORAL (GP, G), CONVERSÃO ALIMENTAR (CA), VIABILIDADE CRIATÓRIA (VC, %) E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA PRODUTIVA (IEP), EM FUNÇÃO DO SEXO E DA DENSIDADE NUTRICIONAL PARA FRANGOS DE CORTE DE 1 A 21 DIAS DE IDADE.	42
TABELA 3 – CONSUMO DE RAÇÃO (CR, G), PESO CORPORAL (PC, G), GANHO DE PESO CORPORAL (GP, G), CONVERSÃO ALIMENTAR (CA), CONVERSÃO ALIMENTAR CORRIGIDA (CAC), VIABILIDADE CRIATÓRIA (VC, %) E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA PRODUTIVA (IEP), EM FUNÇÃO DO SEXO E DA NUTRIÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE DE 1 A 42 DIAS DE IDADE.	43
TABELA 4 – RENDIMENTO (%) DE PEITO, DE COXA, DE SOBRECOXA, DE ASAS E DE GORDURA ABDOMINAL (GA) EM FUNÇÃO DO SEXO E DA NUTRIÇÃO DE FRANGOS DE CORTE AOS 42 DIAS DE IDADE.....	44
TABELA 5 – CUSTO DA RAÇÃO (CTR, R\$/KG), CUSTO MÉDIO DE PRODUÇÃO DO PESO VIVO AOS 42 DIAS (CPV, R\$/KG), CUSTO DE PRODUÇÃO DO PEITO (CPP, R\$/KG), RECEITA BRUTA DO PESO VIVO (RPV, R\$/KG), RECEITA BRUTA DO PEITO (RP, R\$/KG), EM FUNÇÃO DO SEXO E DA NUTRIÇÃO DE FRANGOS DE CORTE AOS 42 DIAS DE IDADE.	45
 CAPÍTULO 3	48
TABELA 1. RELAÇÃO NUTRIENTE:ENERGIA METABOLIZÁVEL (% POR 1000 KCAL/KG) DAS RAÇÕES EXPERIMENTAIS PARA A FASE INICIAL (1 A 10 DIAS), CRESCIMENTO (11 A 22 DIAS) E FINAL (23 A 42 DIAS).	58
TABELA 2. EQUAÇÕES GERAIS DOS MODELOS USADOS NA PROGRAMAÇÃO NÃO-LINEAR.	59
TABELA 3. MATRIX DA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR E CONJUNTO DE RESTRIÇÕES USADO NA OTIMIZAÇÃO.	60

TABELA 4. ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS (PAR), ERRO PADRÃO DA MÉDIA (SE) E PROBABILIDADE (P-VALOR) PARA O PESO CORPORAL E CONSUMO DE RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE MACHOS DE 1 A 42 DIAS DE IDADE.	61
TABELA 5. ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS (PAR), ERRO PADRÃO DA MÉDIA (SE) E PROBABILIDADE (P-VALOR) PARA O PESO CORPORAL E CONSUMO DE RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE FÊMEAS DE 1 A 42 DIAS DE IDADE.	62
TABELA 6. EFEITO DA MUDANÇA DO PREÇO DE FRANGOS E INGREDIENTES DE DIETA SOBRE O DESEMPENHO ÓTIMO E DENSIDADE DE ENERGIA, DE FRANGOS DE CORTE MACHOS DE 1 A 42 DIAS DE IDADE.....	63
TABELA 7. EFEITO DA MUDANÇA DO PREÇO DE FRANGOS E INGREDIENTES DE DIETA SOBRE O DESEMPENHO ÓTIMO E DENSIDADE DE ENERGIA, DE FRANGOS DE CORTE FÊMEAS DE 1 A 42 DIAS DE IDADE.....	64
 CAPÍTULO 4	 67
TABELA 1. MATRIZ DA CORRELAÇÃO DE PEARSON DO PESO CORPORAL E DO CONSUMO DE RAÇÃO NAS DIFERENTES IDADES DE FRANGOS DE CORTE MACHOS.	79
TABELA 2. MATRIZ DA CORRELAÇÃO DE PEARSON DO PESO CORPORAL E DO CONSUMO DE RAÇÃO NAS DIFERENTES IDADES DE FRANGOS DE CORTE FÊMEAS.	80
TABELA 3. COEFICIENTES DE REGRESSÃO DOS MODELOS SINALIZADORES PARA PESO CORPORAL E CONSUMO DE RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE MACHOS.....	81
TABELA 4. COEFICIENTES DE REGRESSÃO DOS MODELOS SINALIZADORES PARA PESO CORPORAL E CONSUMO DE RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE FÊMEAS.....	82
TABELA 5. VALORES DE CONSUMO DE RAÇÃO E PESO CORPORAL OBSERVADOS E PREVISTOS PELAS EQUAÇÕES DE PREDIÇÕES DOS MODELOS SINALIZADORES.	83
TABELA 6. COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE GOMPERTZ PARA O PESO CORPORAL DE FRANGOS DE CORTE MACHOS E FÊMEAS.....	84
TABELA 7. COMBINAÇÕES DE PARÂMETROS DE PREÇOS UTILIZADOS NA OTIMIZAÇÃO DA RECEITA LÍQUIDA E A DETERMINAÇÃO ÓTIMA DA IDADE DE ABATE PARA CADA CENÁRIO.	85

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 MODELOS MATEMÁTICOS.....	15
3.2 CURVAS DE CRESCIMENTO	17
3.3 ANÁLISE DE REGRESSÃO: MODELOS DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	19
3.4 PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR DE RAÇÕES.....	20
3.5 MODELOS DE CONTROLE EM TEMPO REAL	22
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
 CAPÍTULO 2.....	 30
DESEMPENHO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE RAÇÕES COM DIFERENTES DENSIDADES NUTRICIONAIS PARA FRANGOS DE CORTE.....	30
RESUMO	30
INTRODUÇÃO	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
 CAPÍTULO 3.....	 46
DETERMINAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE ENERGIA METABOLIZÁVEL PARA FRANGOS DE CORTE UTILIZANDO METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA APLICADA NA FORMULAÇÃO NÃO LINEAR DE RAÇÃO.....	46
RESUMO	46
INTRODUÇÃO	47

MATERIAL E MÉTODOS.....	48
RESULTADOS.....	51
DISCUSSÃO.....	52
CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	55
 CAPÍTULO 4.....	 65
OTIMIZAÇÃO DE RESPOSTAS ECONÔMICAS PARA DETERMINAR A IDADE DE ABATE DE FRANGOS DE CORTE USANDO MÉTODOS MATEMÁTICOS.....	65
RESUMO	65
INTRODUÇÃO	66
MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DA IDADE DE ABATE	67
DEMONSTRAÇÃO DO MODELO	71
DISCUSSÃO.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a indústria avícola vem enfrentando alta volatilidade nos preços de venda do frango vivo e no preço dos ingredientes da ração. Com a forte concorrência decorrente da pressão global, a dinâmica vivenciada pela indústria de carne aumenta a necessidade de otimizar economicamente a produção (TALPAZ, 2013) e, portanto, há uma crescente preocupação em determinar níveis nutricionais economicamente viáveis e buscar soluções eficientes no gerenciamento do sistema de produção.

O lucro é maximizado quando a diferença entre receita e os custos são maiores no sistema de produção (CASE et al., 2010). Para os produtores e empresas integradoras de frango de corte, a maximização do lucro depende, principalmente, das oscilações de preços, que são movimentadas pela demanda e oferta de mercado e do potencial de crescimento das aves. No entanto, a demanda e oferta do mercado não determinam apenas o volume da produção e as relações custo-benefício, mas também o peso corporal e a idade de abate (SZOLLOSI et al., 2014).

Em termos de eficiência econômica da produção, a idade de abate é um fator importante quando o objetivo é o aumento da eficiência e a redução dos custos (TOPAL; BOLUKBASI 2008). Geralmente, a idade de abate é prolongada afim de obter maior peso vivo para comercialização e produção de cortes pela agroindústria. Contudo, o prolongamento da idade de abate pode reduzir a lucratividade quando as condições econômicas não são consideradas. Dessa forma, essa situação pode reduzir o lucro e a produtividade levando ao aumento dos custos de produção (SCHMIDT, 2008).

Em geral, os custos de alimentação representam 71,25% dos custos totais de produção (CIAS, 2018), sendo uma das variáveis mais onerosa, comprometendo a rentabilidade do sistema. Nesse sentido, a lucratividade na indústria de frangos de corte pode ser melhorada quando a receita e o custo são simultaneamente considerados na formulação de dietas para frangos de corte (CERRATE; WALDROUP, 2009).

Com o avanço da modelagem matemática nos últimos anos, a programação não linear para formulação de ração vem sendo cada vez mais estudada, uma vez que a aplicação de modelagem para problemas de formulações de ração leva a uma abordagem mais abrangente além das decisões nutricionais. Um dos objetivos da modelagem é o

encadeamento de estratégias que podem prever as respostas nutricionais, através de um processo de otimização econômica.

Por décadas a programação linear tem sido a ferramenta mais utilizada para minimizar custos ou maximizar o desempenho. Contudo, tornou-se limitada devido às melhorias nos ramos da genética, nutrição e ambiência. Além disso, não considera as variações de preços, ou seja, não garante um valor máximo de lucro. Portanto, a aplicação do princípio não linear na formulação de ração torna-se inevitável quando se pretende otimizar as respostas de vários fatores que envolvem a nutrição. Nesse sentido, tais ferramentas são eficazes para prever o desempenho produtivo e econômico com precisão, por meio do ajuste das exigências nutricionais de acordo com condições específicas relacionadas a genética, sexo e ambiência.

Cabe ressaltar que quanto mais detalhada for a descrição do processo, maior será a demanda computacional (OVIEDO-RONDÓN; MURAKAMI; SAKAGUTI, 2002). Sendo assim, a qualidade e a confiabilidade das informações extraídas com o auxílio do modelo vão depender de quão bem o modelo explica os dados e para qual situação serão aplicados. Oviedo-Rondón; Murakami; Sakaguti (2002), destacaram a importância da escolha das variáveis envolvidas nos modelos, para que haja maior aplicabilidade. Neste sentido, os níveis de nutrientes (GUEVARA, 2004), a idade de abate (PESTI; MILLER, 1997) e a temperatura ambiente (FARIA FILHO, 2006) são determinantes tanto para o desempenho quanto para a rentabilidade da produção avícola, sendo importante a elaboração de modelos distintos para cada finalidade.

A partir desses modelos é possível a tomada de decisão sobre procedimentos nutricionais e de gestão, para otimizar o lucro ou diminuir o prejuízo, oferecendo uma visão ampla de problemas complexos comuns no gerenciamento de processos corporativos, processamento, produção e nutrição, e, portanto, auxiliar no desenvolvimento de soluções. Neste contexto, esta pesquisa teve por objetivo desenvolver estratégias de previsão que auxiliem as tomadas de decisão, principalmente, na otimização do lucro na produção.

2. OBJETIVOS

Objetivou-se fornecer rações com diferentes densidades nutricionais para frangos de corte, machos e fêmeas, de 1 a 56 dias de idade, afim de:

- Avaliar o efeito de diferentes densidades nutricionais para frangos de corte sobre o desempenho produtivo, as características de rendimento de carcaça e a análise econômica aos 42 dias de idade. As características de desempenho analisadas foram: consumo de ração (g/ave/dia), peso corporal (g), ganho de peso (g), conversão alimentar, viabilidade criatória (%), índice de eficiência produtiva. As características de carcaça: rendimento de peito (%), coxas e sobrecoxas (%), asas (%) e gordura abdominal (%). A análise econômica: custo para produzir 1kg de peso vivo (R\$/kg), custo para produzir 1kg de peito (R\$/peito), custo da ração (R\$/kg) e receita líquida (R\$/ave);
- Elaborar modelos de superfície de resposta a partir dos dados experimentais, considerando idade e densidade nutricional, para predição do desempenho; elaborar um programa de formulação de ração não-linear no Microsoft Excel®, que determinará a idade de abate e o melhor nível nutricional que geram lucro máximo, a partir de simulações de diferentes cenários econômicos;
- Desenvolver uma planilha dinâmica e interativa para determinar a idade de abate de frangos de corte que otimiza maior retorno econômico da produção;

REVISÃO DE LITERATURA

“a model like a map cannot show everything. If it did it would not be a model but a duplicate. Thus the classic definition of art as the purgation of superfluities also applies to models and the model-makers problem is to distinguish between the superfluous and the essential” (Anon, 1960).

“the science is observation encapsulated in equations” (Wordsworth, 1798).

3.1 Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos são usados para descrever ou simular processos em um sistema de interesse por meio de equações lineares ou não-lineares (DUMAS et al., 2008). Além de fornecer a visão ampla de problemas complexos, a modelagem matemática é utilizada como ferramenta para compreender, quantificar e otimizar um sistema (OVIEDO-RONDÓN, 2015).

Há décadas France e Thornley (1984) sugeriram a classificação dos modelos como estáticos ou dinâmicos, empíricos ou mecanicistas e determinísticos ou estocásticos. Os modelos estáticos descrevem o fenômeno em determinado momento ou instante, como os modelos que descrevem as exigências nutricionais para uma idade específica. Já os modelos dinâmicos os parâmetros podem variar no tempo, como por exemplo os modelos de curvas de crescimento (OVIEDO-RONDÓN; MURAKAMI; SAKAGUTI, 2002; THORNLEY; FRANCE, 2007; HAUSCHILD, 2010).

A modelagem empírica fornece descrições quantitativas baseadas na observação e na experimentação sem descrever processos ou mecanismos envolvidos (ROUSH, 2006; FRANCE; KEBREAB, 2008;). Esses modelos são desenvolvidos com base em dados que foram gerados sob condições específicas e dessa forma, não podem ser usados para fazer previsões fora do intervalo de dados nos quais foram criados (GREEN; PARSONS, 2015). Uma abordagem dos modelos empíricos pode ser observada no ajuste de curvas, nesse caso, um conjunto de dados é explicado por uma equação.

Por outro lado, a modelagem mecanicista busca compreender o sistema a partir dos seus componentes (FRANCE; KEBREAB, 2007). Por esse motivo, esses modelos são mais complexos e com muitos parâmetros, mas o poder preditivo é maior e não é limitado pelo intervalo em que os dados foram obtidos (GREEN; PARSONS, 2015). A abordagem

mecanicista é utilizada para descrever, por exemplo, o crescimento de órgãos e tecidos ou a composição da carcaça. O método fatorial para estimar a exigência de um nutriente, embora algumas vezes amparado por dados empíricos, aborda de forma mecanicista a determinação das exigências nutricionais.

Os modelos determinísticos possuem apenas uma única resposta e fornecem sempre os mesmos resultados cada vez que o modelo for executado (OVIEDO-RONDÓN; MURAKAMI; SAKAGUTI, 2002; THORNLEY; FRANCE, 2007), enquanto que os modelos estocásticos produzem respostas baseadas em probabilidades (ROUSH, 2015). Estes modelos são úteis quando é necessário modelar populações (GREEN; PARSONS, 2015).

A distribuição normal é a distribuição de probabilidade mais empregada nos modelos estocásticos em pesquisas com produção animal (OVIEDO-RONDÓN; MURAKAMI; SAKAGUTI, 2002). No entanto, Fisher (2015) propõe uma abordagem diferente para estudar esses modelos na produção e nutrição de não-ruminantes: (i) modelos teórico-científico; (ii) modelos para ampliar o valor de dados experimentais; (iii) modelos empíricos na produção animal; (iv) modelos mecanicistas na produção animal; (v) curvas de crescimento, e (vi) modelos de controle em tempo real. Alguns desses tópicos serão detalhados adiante nesta revisão.

A modelagem matemática inclui um conjunto amplo de ferramentas que estão sendo cada vez mais exploradas para modelar a nutrição e a produção de aves (ROUSH, 2001; OVIEDO-RONDÓN, 2015). Alguns dos métodos matemáticos utilizados em sistemas biológicos são descritos por Roush (2006), dentre os quais destacam-se: análise de regressão e metodologia de superfície de resposta, redes neurais artificiais, dinâmica não linear, programação linear ou não linear, simulação, entre outros. A aplicação dessas ferramentas possui a vantagem de modelar dados existentes permitindo gerar modelos preditivos, além do melhor aproveitamento de recursos estatísticos.

A aplicação de modelos matemáticos na produção frangos de corte é extensa e variada. A abordagem mais utilizada envolve as funções de crescimento, que são amplamente difundidos e permitem descrever o crescimento e o desenvolvimento de componentes do corpo (vísceras, carcaças e penas) e de componentes químicos (cinzas, proteínas, lipídios e água). Além disso, as funções de crescimento são utilizadas para estudar as interações entre genótipos, nutrição e ambiente, prever desempenho produtivo e econômica de mercado auxiliando na tomada de decisão em processos de gestão

(GOUS, 2015). Diversos estudos foram desenvolvidos visando à predição das variáveis de desempenho e econômicas além do crescimento das aves (GOLIOMYTIS; PANOPOULOU; ROGDAKIS, 2003; SCHEUERMANN et al., 2003; KENNY; KEMP; FISHER, 2004; EITS et al, 2005 a e b; THORNLEY; FRANCE, 2007; FRANCE; KEBREAB, 2007, DANISMAN; GOUS, 2014).

No entanto ainda são poucos os modelos biológicos que têm capacidade de integrar todos os processos de um sistema complexo como da indústria avícola. Alguns modelos diferindo em complexidade e aplicação foram relatados na literatura científica (GOUS, 2014; FERGUSON, 2015). A aplicação bem-sucedida desses modelos tem variado devido a fatores como a complexidade, facilidade de uso e capacidade de integração dos processos existentes. Apesar das limitações e da dificuldade de construção, o interesse em desenvolver ferramentas que permitem realizar previsões ótimas na produção e auxiliem nas estratégias e tomadas de decisão é cada vez maior nas pesquisas acadêmicas e, principalmente, nas empresas avícolas. Os novos avanços em modelagem computacional permitem tornar possível o uso de modelos mais robustos e eficientes para resolver problemas complexos de gestão em empresas avícolas.

3.2 Curvas de crescimento

A descrição do crescimento de um organismo por meio de equações matemáticas tem sido amplamente utilizada na modelagem da nutrição e produção animal. Além de descrever o crescimento animal, esses modelos podem ser úteis para prever o desempenho produtivo, identificar estratégias para melhorar a eficiência econômica, estimar exigências nutricionais (HRUBY, 1994) e gerenciar as tomadas de decisões, como prever a idade ótima de abate em função da taxa máxima de crescimento (BRACCINI NETO, 1993)

De modo geral, a simulação do crescimento animal resulta em uma curva sigmoideal, que consiste em uma fase inicial de aceleração, uma fase intermediária de desaceleração e uma fase final decrescente (FITZHUGH, 1976). As duas primeiras fases definem o crescimento exponencial, a taxa de crescimento (kg/dia) varia com a idade e atinge o ponto máximo na fase intermediária. Na última fase, a taxa de crescimento atinge um platô quando o animal atinge o peso na maturidade ou o peso assintótico (THOLON, 2009). Este é o comportamento padrão de crescimento, embora alguns fatores como

temperatura, nutrição, ciclos reprodutivos possam desviar a tendência sigmoidal (LÓPES, 2007).

No entanto, a curva de crescimento de animais de produção pode parecer como uma inclinação relativamente linear, pois a taxa de crescimento máximo ocorre dentro do período de crescimento comercial e a forma sigmoidal torna-se aparente apenas se os animais são mantidos além do peso de mercado (THONRLEY, 2007).

Há uma infinidade de funções matemáticas desenvolvidas para descrever a curva de crescimento com poucos parâmetros, que são matematicamente eficientes e biologicamente interpretáveis (TURNER et al., 1976; RICKER, 1979; PARKS, 1982; RATKOWSKI, 1983; SIMONDON et al., 1992; ZEIDE, 1993; FRANCE et al., 1996; SEBER; WILD, 2003; WELLOCK et al., 2004). Alguns desses modelos não-lineares são amplamente utilizados na descrição do crescimento em aves (GOMPERTZ, 1825; BRODY, 1945; VON BERTALANFFY, 1957; RICHARDS, 1959; FRANCE, et al., 1996) e estão descritos na Tabela 1. Algumas dessas funções de crescimento são modelos mecanicistas que descrevem o crescimento baseado em leis fisiológicas e bioquímicas, resultando frequentemente em modelos complexos e com muitos parâmetros (AERTS et al., 2003b).

Tabela 1. Equações de crescimento¹

Equação	Forma funcional
Crescimento linear	$y_t = y_0 + bt$
Polinomial	$y_t = y_0 + b_1t + b_2t^2 + \dots + b_nt^n$
Exponencial	$y_t = y_0 \cdot e^{kt}$, sendo, $0 \leq t \leq t^*$, $y_f = t > t^*$
Brody	$y_t = y_0 \cdot e^{k1t}$, $0 \leq t \leq t^*$
Exponencial quadrática	$y_t = y_0 \cdot \exp \left[k \left(t - \frac{at^2}{2} \right) \right]$
Gaussiana	$y_t = y_0 + (y_t - y_0) \cdot (1 - e^{-kt^2})$
Exponencial polinomiais	$y_t = y_0 \exp(a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n)$
Logístico	$y_t = \frac{y_0 y_f}{y_f - y_0 + y_0 e^{kt}}$
Gompertz	$y_t = y_0 \cdot \exp \left[\frac{a}{k} (1 - e^{-kt}) \right]$
Von Bertalanffy	$y_t = y_f \left[1 - ne^{-k(t-t^*)} \right]^{1/n}$

Richards

$$y_t = \frac{y_f}{[1 + ne^{-k(t-t^*)}]^{1/n}}$$

¹(Adaptado de THORNLEY, 2007).

onde, y_t é o peso corporal (kg), t é a idade (tempo desde o nascimento, dias) e y_0 e y_f são pesos iniciais e assintóticos, respectivamente (exceto para os parâmetros y_0 e y_f , o significado de todas outras constantes é específica para cada modelo).

Em um estudo comparando diversas funções de crescimento para suínos, Wellock et al. (2004) concluem que a equação de Gompertz parece mais adequada para descrever o potencial crescimento, devido a sua simplicidade, precisão e facilidade de aplicação. Em revisão Kuhl et al. (2010) verificaram que um ponto fixo de inflexão pode ser uma limitação para as equações como os modelos de Gompertz e Logístico, e em alguns casos quatro parâmetros na equação com um ponto de inflexão flexível ajustam melhor os dados de crescimento. Os autores citam que em diferentes situações podem ocorrer problemas de otimização das equações como a de Richards, mas é necessário considerar que cada caso tem sua particularidade. Mohammed (2015) comparou três funções não-lineares (Gompertz, Logistic e Van Bertalanffy) para descrever o crescimento de frangos de corte. O autor concluiu que a função de Gompertz apresentou o melhor ajuste aos dados, quando comparado com as demais curvas.

De modo geral, as funções utilizadas para descrever o crescimento devem representar os resultados da interação entre os mecanismos fisiológicos, ambientais e genótipos (THORNLEY; FRANÇA, 2007). Baseado nessa premissa, as curvas de crescimento devem fornecer com precisão as respostas de desempenho em uma ampla variedade de cenários de produção e suas inúmeras aplicações comerciais.

3.3 Análise de Regressão: Modelos de superfície de resposta

A metodologia da superfície de resposta é um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas úteis em aplicações em que a resposta desejável é influenciada por uma ou mais variáveis (MONTGOMERY, 2004). Dessa forma, pode-se definir a superfície de resposta como sendo uma representação geométrica obtida quando uma variável resposta é plotada como uma função de dois ou mais fatores quantitativos (CECON; SILVA, 2011), e pode ser escrita como o seguinte exemplo:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_2 + a_4x_2^2 + ax_1x_2 + \varepsilon$$

em que, y é a resposta de interesse, a_0 é o intercepto, a_1, a_2, a_3, a_4 e a_5 são coeficientes de regressão, x_1 e x_2 são os níveis dos fatores quantitativos, e ε é o erro experimental.

Os modelos de superfície de resposta são amplamente utilizados em pesquisas de nutrição de aves. Yoshida et al. (1962; 1968; 1969) utilizaram esta metodologia para otimizar o crescimento e a eficiência de frangos de corte variando níveis de proteína e de energia da ração. Em estudo com codornas japonesas Ghazaghi et al. (2012) utilizaram a metodologia para identificar o nível ótimo de energia metabolizável da ração que otimiza o ganho de peso e a conversão alimentar. Mehri et al. (2012), em um estudo dose-resposta com frangos de corte, utilizaram a metodologia de superfície para otimizar os níveis de lisina, metionina e treonina da ração. Afim de estudar o ganho de peso e conversão alimentar de frangos de corte, Faridi et al. (2013) desenvolveram modelos de superfície de resposta, utilizando banco de dados da literatura sobre os níveis de proteína e de lisina da ração.

3.4 Programação não linear de rações

A eficiência na formulação de ração é uma das necessidades da indústria de produção animal. Por anos os modelos de formulação de rações de custo mínimo foram a melhor maneira de aumentar a rentabilidade das indústrias de produtos cárneos (RENTZ, 2005). Porém, estes métodos convencionais de formulação linear minimizam a importância econômica do sistema de produção como um todo, não sendo apropriados para otimizar a alimentação na produção de frangos comerciais, isto é, não necessariamente permitirá o lucro máximo da produção (PESTI; MILLER, 1997; GUEVARA, 2004).

A programação não-linear é usada para descrever qualquer algoritmo computacional que resolva um problema no qual uma função objetivo não-linear deve ser otimizada, sujeita a restrições lineares (MILLS, 1984). Os métodos de cálculo que adotam modelos de formulação não linear foram desenvolvidos para simular virtualmente situações reais e estimar variáveis para obter melhores resultados frente às diversas situações.

Guevara (2004) sugere que a formulação não linear pode ser mais apropriada que a convencional, já que otimiza o desempenho através de conjunto de ajustes que leva em consideração a genética, o sexo, o potencial de ganho de peso, a densidade populacional, a ambiência, além do custo e da qualidade dos ingredientes da dieta. Além disso, o autor

ressalta que ao distinguir máximo desempenho econômico de máximo desempenho biológico é possível entender a diferença entre os modelos de formulação. A aplicabilidade e o desenvolvimento da modelagem matemática nas formulações de rações idealizam um menor impacto econômico da produção animal e a otimização do ambiente produtivo (RENTZ, 2005).

Em estudo utilizando a programação linear e não-linear, Gonzales-Alcorta et al. (1994) desenvolveram um modelo variando os níveis proteicos e energéticos da ração, afim de maximizar o lucro. Os autores ressaltam que a programação não-linear permite utilizar limites inferiores e superiores de energia e proteína, e, portanto, deve ser usada por produtores e nutricionistas quando o objetivo é reduzir os custos e maximizar lucros.

Em formulações de ração para frangos de corte, Guevara (2004) relatou que a programação não linear pode ser mais útil que a programação linear para otimização do desempenho em resposta à densidade de energia já que o nível de energético da ração não precisa ser definido. Eits et al. (2005) desenvolveram um modelo empírico considerando o sexo, a idade e níveis de proteína, afim de quantificar os níveis nutricionais que maximizam o lucro. Os autores afirmam que o aumento na receita não ocorre de maneira semelhante aos custos de produção, e, portanto, existe um ponto em que o lucro (receita menos custos) é máximo, que não necessariamente coincide com o ponto de maior receita ou de menor custo (Figura 1).

Figura 1 – Relação entre o incremento de doses de nutrientes e a lucratividade.
(Adaptado de EITS et al., 2005b)

Os modelos devem ser práticos (incluir variáveis conhecidas pelo nutricionista), flexíveis (envolver variáveis como sexo, linhagem, níveis nutricionais, temperatura ambiente, dentre outras) e precisos (EITS et al., 2005a). Pesti e Miller (1997) também

ressaltam que aplicações modernas da teoria da maximização do lucro devem incluir a idade das aves como uma variável importante. Isto porque o peso e o consumo de alimento são correlacionados ao longo do tempo, embora a relação não seja necessariamente linear.

3.5 Modelos de controle em tempo real

Com a evolução da tecnologia da informação um crescente interesse no desenvolvimento de sistemas preditivos permitiu o uso de recursos avançados na modelagem. Esses sistemas são baseados em modelos matemáticos visando a previsão de vários componentes da produção. O objetivo é obter uma ferramenta de gestão inteiramente on-line e operando em tempo real, afim de melhorar a eficiência produtiva e econômica da produção. Existem alguns exemplos na literatura desses sistemas em pleno funcionamento, mas vários autores já deram passos nesse sentido (ROUSH et al., 1992; EFG Software Natal, 1995; AERTS et al., 2003a, b; GREEN; WHITTEMORE, 2003; WANG et al., 2012)

O EFG Software Natal (1995) simula o crescimento e calcula o consumo de ração, composição corporal e rendimento de carne de uma única ave, levando em consideração parâmetros genéticos, composição e programa de ração, ambiência e densidade populacional. Além disso, o software também realiza cálculos econômicos básicos para orientar as decisões comerciais. Aerts et al. (2003a) desenvolveram modelos dinâmicos para descrever e controlar a resposta metabólica de frangos de corte de acordo com a mudança de temperatura do ar e da luz. Os autores sugerem que os problemas com a produção sustentável possam ser resolvidos através do desenvolvimento de sistemas de gestão. Um sistema para produção de suínos e controle da poluição foi desenvolvido por Green e Whittemore (2003): o IMS Pig permite a simulação do crescimento de suínos, e especifica a exigência de energia líquida e de proteína para cada animal.

As vantagens de modelar processos dinâmicos são inúmeros e permite, por exemplo, prever o impacto das decisões de gestão, modelar o crescimento e as exigências nutricionais da ração, até abordagens mais detalhadas a nível metabólico (GREEN; WHITTEMORE, 2003). Para implementação prática, tais modelos para controle devem ser compactos e precisos.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERTS, J. M.; LIPPENS, M.; GROOTE, DE. G.; BUYSE, J. DECUYPERE, E.; VRANKEN, E.; BERCKMANS, D. Recursive prediction of broiler growth response to feed intake by using a time-variant parameter estimation method. **Poultry Science**, v. 82, p. 40-49, 2003b.
- AERTS, J. M.; WATHES, C. M.; BERCKMANS, D. Dynamic Data-based Modelling of Heat Production and Growth of Broiler Chickens: Development of an Integrated Management System. **Biosystems Engineering**, v. 84, p. 257–266, 2003a.
- ANON. Working models in medicine. **Journal of the American Medical Association**. v. 174, p. 407–408, 1960.
- BRACCINI NETO, J. **Estudo genético de curvas de crescimento de aves de postura**. 1993. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Pelotas, RS.
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth: with special reference to the efficiency complex of domestic animals**. New York: Hafner, p.1023, 1945.
- CASE, L. A.; MILLER, S. P.; WOOD, B. J. Determination of the optimum slaughter weight to maximize gross profit in a turkey production system. **Canadian Journal Animal Science**, v. 90, p. 349-356, 2010.
- CECON, P. R.; SILVA, A. R. **Introdução a metodologia de superfície de resposta**. Minas Gerais: Viçosa, 38p. 2011.
- CIAS - CENTRO DE INTELIGÊNCIA DE AVES E SUÍNOS. Embrapa. 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/custos/icpfrango> >. Acesso em: setembro de 2018.
- DANIŞMAN, R.; GOUS R. M. Effect of dietary protein on the allometric relationships between some carcass portions and body protein in three broiler strains. **South African Journal of Animal Science**, v.41, p.194–208, 2011.

DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Mathematical modelling in animal nutrition: a centenary review. **The Journal of Agricultural Science**, Canada, v. 146, n. 02, p. 123–142, 2008.

EFG Software Natal. 1995. Advanced Computer Software for the Animal Industry. Disponível em: <http://www.efgsoftware.com/>. Acesso em fevereiro 2018.

EITS, R.M.; GIESEN, G.W.J.; KWAKKEL, R.P.; VERSTEGEN, M.W.A.; DEN HARTOG, L.A. Dietary balanced protein in broiler chickens. 2. An economic analysis. **British Poultry Science**, Toledo, v. 46, p.310-317, 2005 b.

EITS, R.M.; KWAKKEL, R.P.; VERSTEGEN, M.W.A. VERSTEGEN, M.W.A.; Dietary balanced protein in broiler chickens. 1. A flexible and practical tool to predict dose-response curves. **British Poultry Science**, Toledo, v. 46, p. 300-309, 2005 a.

FARIDI, A.; GOLIAN, A.; FRANCE, J.; MOUSAVI, A. H. Study of broiler chicken responses to dietary protein and lysine using neural network and response surface models. **British Poultry Science**, v. 54, p. 524-530, 2013.

FERGUSON, N. S. Commercial Application of Integrated Models to Improve Performance and Profitability in Finishing Pigs. IN: GOUS, R. M; MORRIS, T.; FISHER, C. **Mechanistic modelling in pig and poultry production**. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2006. Cap. 13. 141p.

FISHER, C. An overview of poultry models. IN: SAKOMURA, N. K.; GOUS, R. M; KYRIAZAKIS, I.; HAUSCHILD, L. **Modelling for pigs and poultry**. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2015. Cap. 1. 1p.

FITZHUGH JR., H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.42, n.4, p.1036-1051, 1976.

FRANCE, J., DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S. Growth functions and their application in animal sciences. **Annales de Zootechnie**, INRA/EDP, v. 45, Suppl.1. p. 165–174. 1996.

FRANCE, J.; KEBREAB, E. **Mathematical Modelling in Animal Nutrition**, CAB International, Wallingford, UK, 2008.

- GHAZAGHI, M.; MEHRI, M.; YOUSEF-ELAHI, M.; ROKOUEI, M. Response surface of dietary energy and protein in Japanese quail from 7 to 14 days of age. **Poultry Science**, v. 91, p. 2958-2962, 2012.
- GOLIOMYTIS, M.; PANOPOULOU E.; ROGDAKIS E. Growth curves for body weight and major component parts, feed consumption, and mortality of male broiler chickens raised to maturity. **Poultry Science**, v.82, p.1061-1068, 2003.
- GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new method of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.115, p.513-585, 1825.
- GONZALES-ALCORTA, M. J.; DORFMAN, J. H.; PESTI, G. M. Maximizing profit in broiler production as prices change: A simple approximation with practical value. **Agribusiness**, v. 10, p. 389-399, 1994.
- GOUS, R. M. A model to optimize broiler productivity. IN: SAKOMURA, N. K.; GOUS, R. M.; KYRIAZAKIS, I.; HAUSCHILD, L. **Modelling for pigs and poultry**. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2015. Cap. 13. 175p.
- GOUS, R. M. Modeling as a research tool in poultry Science. **Poultry Science**, v. 93, p. 1–7, 2014.
- GREEN, D. M.; PARSONS, D. J. The place of models in the new technologies of production systems. IN: GOUS, R. M.; MORRIS, T.; FISHER, C. **Mechanistic modelling in pig and poultry production**. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2006. Cap. 15. 325p.
- GREEN, D.; WHITTEMORE, C. Architecture of a harmonized model of the growing pig for the determination of dietary net energy and protein requirements and of excretions into the environment (IMS Pig). **Animal Science**, v. 77, p. 113-126, 2003.
- GUEVARA, V.R. Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. **Poultry Science**, v. 83, p. 147–151, 2004.
- HRUBY M. et al. Growth modeling as a tool for predicting amino acid requirements of broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v.3, n.4, p.403-415, 1994.

KUHI, H. D.; PORTER, T.; LÓPEZ, S.; KEBREAEB, E.; STRATHE, A. B.; DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. A review of mathematical functions for the analysis of growth in poultry. **World's Poultry Science Journal**. v.66, p.227- 239, 2010.

LÓPEZ, S. Non-linear functions in animal nutrition. IN: THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2th ed. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2007. Cap.3. 62p.

MEHRI, M.; DAVARPANAH, A. A.; MIRZAEI, H. R. Estimation of ideal ratios of methionine and threonine to lysine in starting broiler chicks using response surface methodology. **Poultry Science**, v. 91, p. 771-777, 2012.

MILLS, G. **Optimisation in Economic Analysis**. 1st ed. UK: George Allen & Unwin (Publishers) Ltd. 1984.

MOHAMMED, F. A. Comparison of Three Nonlinear functions for Describing Chicken Growth Curves. **Scientia Agriculturae**, v. 9, n. 3, 2015.

MONTGOMERY, D.C.; **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC., 2004. 513p.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. **Model applications in poultry production and nutrition**. IN: SAKOMURA, N. K.; GOUS, R. M; KYRIAZAKIS, I.; HAUSCHILD, L. Modelling for pigs and poultry. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2015. Cap. 10. 125 p.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 4, n. 5, p. 106-113, 2002.

PARKS, J.R. **A Theory of Feeding and Growth of Animals**. Springer-Verlag, Berlin. 1982.

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

RENZ, S.V. **Comparação de sistemas de formulação lineares e não lineares para frangos de corte**. 2005. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre – RS.

RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v.10, p.290-300, 1959.

RICKER, W.E. Growth rates and models. In: HOAR, W.S., RANDALL, D.J. AND BRETT, J.R. (eds) **Fish Physiology**, Vol. VIII. Academic Press, New York, p. 677–743. 1979.

ROUSH, W. B. An operations research approach to leveraging new technology opportunities. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 10, p. 293–302, 2001.

ROUSH, W. B.; DOZIER III, A. BRANTON, S. L. Comparison of Gompertz and Neural Network Models of Broiler Growth. **Poultry Science**, v. 85, p. 794-797, 2006.

ROUSH, W. B.; TOMIYAMA, K; GARNAOUI, K. H.; DÁLFONSO, T. H.; CRAVENER, T. L. Kalman filter and an example of its use to detect changes in poultry production responses. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 6, p. 347-356, 1992.

ROUSH, W. B. Advancements in empirical models for prediction and prescription. IN: GOUS, R. M; MORRIS, T.; FISHER, C. **Mechanistic modelling in pig and poultry production**. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2006. Cap. 6. 97p.

SCHEUERMANN, G. N. et al. Breast muscle development in commercial broiler chickens. **Poultry Science**. v.82, p.1648-1658, 2003.

SCHMIDT, G. S. The Effect of Broiler Market Age on Performance Parameters and Economics. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 10, p. 223-225, 2008.

SEBER, G.A.F. AND WILD, C.J. **Nonlinear Regression**. Wiley, New York.2003

SIMONDON, K.B., SIMONDON, F., DELPEUCH, F. AND CORNU, A. Comparative study of five growth models applied to weight data from Congolese infants between birth and 13 months of age. **American Journal of Human Biology**, v. 4, p. 327–335, 1992

SZOLLOSI, L.; SZUCS, I.; NÁBRÁDI, A. Economic issues of broiler production length. **Economics of Agriculture**, v. 61, p. 633-646, 2014.

TALPAZ, H.; COHEN, M.; FANCHER, B.; HALLEY, J. Applying complex models to poultry production in the future - Economics and biology. **Poultry Science**, v. 92, p. 2541-2549, 2013.

THOLON, P.; QUEIROZ, S. A. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, 'p 2261—2269, 2009.

THORNLEY, J. H. M.; FRANCE, J. Role of modelling in animal research and extension work. In: BALDWIN, R. L.; BYWATER, A. C. **Modelling Ruminant Nutrition, Digestion and Metabolism**; Proceedings of Second International Workshop. University of California Press Davis, California, 1984, p. 4–9.

THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2th ed. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2007.

THORNLEY, J.H.M. Interesting simple dynamic growth models. IN: THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. **Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences**. 2th ed. Wallingford, UK: CAB International Publishing, 2007. Cap.4. 104p.

TOPAL, M.; BOLUKBASI, S.C. Comparison of nonlinear growth curve models in broiler chickens. **Journal Applied Animal Research.**, v. 34, p. 149-152. 2008.

TURNER, M.E., BRADLEY, E., KIRK, K. AND PRUITT, K. A theory of growth. **Mathematical Biosciences**, v. 29, p. 367–373, 1976.

WANG, D.; SHAHIDI, F. Protein hydrolysate from turkey meat and optimization of its antioxidante potential by response surface methodology. **Poultry Science**, v. 0, p. 1-8, 2018.

WELLOCK, I.J., EMMANS, G.C. AND KYRIAZAKIS, I. Describing and predicting potential growth in the pig. **Animal Science**, v. 78, p. 379–388, 2004.

WORDSWORTH, W. **Preface.** In: WORDSWORTH, W.; COLERIDGE, S.T. (eds) *Lyrical Ballads*. Longmans, London. 1798.

YOSHIDA, M.; HIZIKURO, S.; HOSHII, H.; MORIMOTO, H. Age difference in the pattern of growth response to the change in the dietary energy and protein levels. **Japanese Poultry Science**. v. 6, p. 7–21, 1969.

YOSHIDA, M.; HIZIKURO, S.; HOSHII, H.; MORIMOTO, H. Breed difference in the pattern of growth response to the change in the dietary energy and protein levels. **Japanese Poultry Science**. v. 5, p. 211–225, 1968.

YOSHIDA, M.; HIZIKURO, S.; HOSHII, H.; MORIMOTO, H. Effect of dietary protein and energy levels on the growth rate, feed efficiency and carcass composition of chicks. **Agricultural and Biological Chemistry** v. 26, p. 640–647, 1962.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v. 39, p. 594–616, 1993.

CAPÍTULO 2

Desempenho produtivo e avaliação econômica de rações com diferentes densidades nutricionais para frangos de corte

RESUMO

O objetivo foi avaliar o desempenho produtivo, características de carcaça e os aspectos econômicos de rações com diferentes densidades nutricionais para frangos de corte. Foram utilizados 1080 pintos de um dia, Ross®, distribuídos de acordo com delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e seis repetições de 30 aves cada. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial com três densidades nutricionais (baixa, moderada ou alta) e dois sexos (machos ou fêmeas). Para as rações com densidade alta e baixa os valores de energia metabolizável, proteína bruta, metionina+cistina, lisina, sódio, cálcio e fósforo disponível variaram mais ou menos 5%, respectivamente, em relação a densidade moderada. Nos períodos avaliados de 1 a 21 e 1 a 42 dias, as fêmeas apresentaram pior ($P<0,05$) consumo de ração, peso corporal, ganho de peso e índice de eficiência produtiva em relação aos machos. As fêmeas apresentaram maior ($P<0,05$) custo de produção do peso vivo e do peito, e menor receita. As densidades alta e moderada otimizaram a eficiência produtiva das aves, mas também aumentaram ($P<0,05$) o custo de produção do frango vivo e do peito. As densidades baixa e moderada apresentaram a maior ($P<0,05$) receita. Conclui-se que, a alta densidade nutricional promove o melhor desempenho produtivo, mas prejudica os resultados econômicos. Para o fator sexo, as fêmeas apresentam piores resultados de desempenho e econômicos em relação aos machos, no entanto, melhoram o rendimento de peito.

Palavras-chave: energia metabolizável, custo, formulação de ração, lucro máximo, retorno decrescente

INTRODUÇÃO

A indústria de frangos de corte, constantemente, promove melhorias na taxa de crescimento, na eficiência alimentar e na qualidade do produto que estará comercialmente disponível. O programa de alimentação é fator determinante na expressão do potencial genético do animal (BILGILI et al., 2006). Dessa forma, determinar o nível de nutrientes da ração é decisão importante na formulação de ração (SALEH et al., 2004).

A densidade de nutrientes da ração é um dos vários fatores que tem impacto sobre o desempenho e a qualidade de carcaça e de cortes de frangos, que por sua vez, afetam diretamente a rentabilidade da produção (BRICKETT et al., 2007; KAMRAN et al., 2008; PESTI, 2009). O aumento da concentração de nutrientes, principalmente, de energia e proteína para frangos de corte está associado com o aumento de custos da ração, devido ao elevado preço dos ingredientes como o milho, óleo vegetal e o farelo de soja (BASURCO et al., 2015). Por isso, são relevantes as tentativas de definir os efeitos dos níveis de nutrientes, para que se consiga a ração que gere a melhor relação benefício/custo.

De acordo com Dozier et al. (2008), duas estratégias nutricionais podem ser praticadas para atender a demanda do mercado: 1) rações de baixa densidade nutricional para minimizar o custo da alimentação; ou 2) rações de alta densidade nutricional para otimizar o rendimento de partes. Estudo indica que rações com elevado teor de nutrientes, geralmente, que são utilizadas para alcançar taxas de crescimento rápida, entretanto, prejudicam o desempenho e o rendimento de carcaças e partes. Enquanto que, rações com níveis nutricionais baixos geram taxa de crescimento lenta e melhoram a qualidade de carne (HIDALGO, et al. 2004). Contudo, há várias décadas, Alquist (1953) pontuou que a concentração nutricional ótima é aquela que maximiza o lucro, sendo que isso não necessariamente implica em maximização do desempenho.

Outro aspecto importante que deve ser levado em consideração, dada a elevada taxa de crescimento do frango de corte, é a exigência nutricional de cada sexo. Em virtude do maior ganho de peso, Dozier et al. (2008) e Stillborn et al. (2010) afirmam que os machos apresentam maior exigência de aminoácidos que as fêmeas. Rostagno et al. (2017) preconizam níveis de 1,36% e 1,20% de lisina digestível e 0,548% e 0,492% de metionina digestível para machos e fêmeas, respectivamente, na fase inicial de produção. Assim, as particularidades de cada sexo devem ser consideradas para o estabelecimento

das exigências nutricionais que otimizam os aspectos técnicos e econômicos da produção de frangos.

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho produtivo, características de carcaça, metabolizabilidade dos nutrientes e índices econômicos na produção de frangos de corte, machos e fêmeas, alimentados com rações de diferentes densidades nutricionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos realizados nesse estudo foram aprovados pelo Comissão de Ética no Uso de Animais (Protocolo nº 1484110915) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Pirassununga, Brasil.

Foram utilizados 1080 frangos de corte Ross[®], machos ou fêmeas, de um dia de idade, com peso médio de $45,69 \pm 0,33$ g, distribuídos de acordo com delineamento em blocos ao acaso para controlar diferenças de temperatura ao longo do galpão. Adotou-se seis tratamentos arranjados em esquema fatorial 2×3 , com os fatores sexo (machos ou fêmeas) e densidade nutricional (baixo, moderado ou alto). Foram utilizadas seis repetições com 30 aves cada (10 aves/m^2) totalizando 36 unidades experimentais (boxes). As aves foram manejadas convencionalmente e a ração e a água fornecidas à vontade.

As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja em programa de alimentação com três fases: inicial (1 a 10 dias), crescimento (11 a 22 dias) e final (23 a 42 dias). Para cada fase, formulou-se uma ração com níveis nutricionais comerciais, sendo esta considerada a densidade nutricional moderada. Então, formulou-se as rações com $\pm 5\%$ de nutrientes em relação a densidade moderada, sendo essas as densidades nutricionais denominadas baixa e alta. Variou-se a energia metabolizável, proteína bruta, cálcio, fósforo disponível, sódio, metionina+cistina digestível e lisina digestível. As rações experimentais e as composições nutricionais calculadas estão apresentadas na Tabela 1.

O desempenho foi avaliado nos períodos acumulados de 1 a 21 e 1 a 42 dias de idade. O consumo de ração, peso corporal, ganho de peso corporal e conversão alimentar foram obtidos por meio de pesagem da ração e das aves. Para o cálculo da conversão alimentar corrigida (CAc) foi utilizado o cálculo proposto por Mendes & Patrício (2004), para padronização do peso corporal a 2,800 kg, sendo $CAc = (PP - PM)/b + CA$, em que PP é o peso padrão adotado (2,800 kg), PM é o peso médio (kg), b é a constante que

representa 3 pontos na conversão alimentar para fêmeas, e 2 pontos na conversão alimentar para machos e CA é a conversão alimentar obtida na unidade experimental (consumo de ração / ganho de peso corporal).

A mortalidade foi registrada diariamente para o cálculo da viabilidade criatória (VC), onde $VC = 100 - \% \text{ mortalidade}$. O índice de eficiência produtiva (IEP) foi calculado pela fórmula a seguir: $IEP = [(GMD \times VC)/(CA \times 10)]$, em que GMD corresponde ao ganho de peso médio diário em gramas/dia e CA é a conversão alimentar.

Aos 42 dias de idade foram selecionadas cinco aves por unidade experimental, com $\pm 5\%$ do peso corporal médio da parcela. Após jejum alimentar de oito horas, os frangos foram insensibilizados por eletrochoque e abatidos por sangria mediante corte da veia jugular, sendo posteriormente escaldados, depenados e eviscerados. O abate foi realizado no Matadouro-Escola da Prefeitura do Campus Fernando Costa, Pirassununga – SP. Foi avaliado o rendimento de carcaça, de cortes comerciais (peito, coxa, sobrecoxa e asas) e a deposição de gordura abdominal. O rendimento da carcaça e a gordura abdominal foram expressas em relação ao peso corporal no momento do abate e o rendimento de cortes foi expresso em relação ao peso da carcaça fria.

As rações foram formuladas para mínimo custo, considerando os preços dos ingredientes de acordo com o mercado da região de Pirassununga – SP no mês de julho de 2015. Os preços dos ingredientes foram: milho 0,46 R\$/kg, farelo de soja 1,07 R\$/kg, calcário calcítico 0,30 R\$/kg, fosfato bicálcico 0,90 R\$/kg, sal comum 0,10 R\$/kg, DL-metionina 10,00 R\$/kg, L-lisina 10,00 R\$/kg e premix mineral e vitamínico 5,00 R\$/kg. O preço pago pelo frango vivo (PPFV) foi de 2,90 R\$/kg e o preço do peito (PRP) foi de 13,01 R\$/kg considerando o preço de outubro de 2015 (AVISITE, 2016).

Os dados de desempenho foram utilizados para calcular o custo médio para produzir 1 kg de peso corporal e 1 kg de peito, receita bruta do frango (R\$/frango), receita bruta peito (R\$/peito), como segue:

$$\text{Custo médio para produzir 1 kg de PC (R$/kg)} = (CRA \times PR)/PC \quad (1)$$

$$\text{Receita frango (R$/frango)} = (PC \times PPFV) - (CRA \times PR) \quad (2)$$

$$\text{Custo médio para produzir 1 kg de peito (R$/kg)} = CRA \times PR/PP \quad (3)$$

$$\text{Receita peito (R$/peito)} = (PP \times PrP) - (CRA \times PR) \quad (4)$$

onde, PC = peso corporal (kg); PPFV = preço pago pelo kg de frango vivo (R\$/kg); PR = preço da ração (R\$/kg); CRA = consumo de ração (kg); PP = peso do peito (kg); PrP = preço do peito (R\$/kg).

As pressuposições do modelo de análise de variância foram verificadas. Para testar a normalidade dos erros studentizados utilizou-se o teste de Cramer-Von-Mises, de e para homogeneidade de variâncias o teste de Shapiro-Wilk. Observações cujos resíduos padronizados foram superiores, em valor absoluto, superiores a 3 foram considerados discrepantes e excluídos da análise. Atendidas essas pressuposições, aplicou-se à análise de variância utilizando modelos mistos, sendo sexo e nutrição considerado efeitos fixos e blocos considerado efeito aleatório. Em caso de análise de variância significativa ($P < 0,05$) foi aplicado o teste de Scott-Knott (5%) (SCOTT; KNOTT, 1974). As análises foram realizadas no R (R Development Core Team, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de desempenho de 1 a 21 e de 1 a 42 dias de idade estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Não foi observada interação ($P > 0,05$) entre os fatores estudados. Nos dois períodos as fêmeas apresentaram pior ($P < 0,05$) consumo de ração, peso corporal, ganho de peso e índice de eficiência produtiva em relação aos machos. No período 1 a 42 dias de idade as fêmeas apresentaram piores ($P < 0,05$) conversão alimentar e conversão alimentar corrigida em relação aos machos. A viabilidade criatória não foi afetada pelo sexo nos períodos analisados. Os resultados obtidos são atribuídos ao potencial de desempenho de cada sexo, já que devido a genética, os frangos de corte machos consomem mais ração, utilizam melhor os nutrientes e crescem mais rapidamente que as fêmeas (SALIM et al., 2012).

A densidade nutricional interferiu ($P < 0,05$) nas variáveis estudadas, exceto para viabilidade criatória no período de 1 a 21 dias de idade, e para o consumo de ração no período de 1 a 42 dias. No período de 1 a 21 dias de idade, o peso corporal e o ganho de peso foram superiores para aves alimentadas com rações de densidades nutricionais moderada e alta. Entretanto, a ração com densidade alta apresentou resultado inferior para o consumo de ração, o que gerou melhor conversão alimentar em relação às demais densidades avaliadas. O índice de eficiência produtiva foi positivamente afetado em função do aumento da densidade nutricional das rações. Considerando o período de 1 a 42 dias, as diferenças entre as rações de moderada e alta densidade nutricional foram anuladas, inclusive para índice de eficiência produtiva. A viabilidade criatória foi prejudicada ($P < 0,05$) apenas na baixa densidade nutricional. Nos dois períodos, a baixa densidade nutricional prejudicou ($P < 0,05$) o peso corporal, o ganho de peso, a conversão

alimentar e o índice de eficiência produtiva, em relação a ração com densidade nutricional alta.

No estudo observou-se que os frangos alimentados com ração de alta densidade nutricional diminuíram o consumo de ração de 1 a 21 dias de idade. Segundo Leeson e Summers (2001), quando as aves consomem níveis de energia mais altos do que o necessário, o consumo de ração é reduzido. De acordo com os mesmos autores, os frangos de corte são capazes de ajustar o consumo de ração em resposta ao perfil variável de nutrientes da ração. Resultados semelhantes foram encontrados por Dozier et al. (2006) e Martins et al. (2016) que ao avaliarem diferentes planos nutricionais, também observaram redução no consumo de ração com o aumento dos níveis de energia na ração. Também, Widyaratne & Drew (2011) observaram que as aves alimentadas com ração de baixa densidade aumentaram a ingestão de ração, da mesma forma, houve um aumento simultâneo na deposição de gordura abdominal dessas aves.

Assim como o consumo de ração, a conversão alimentar depende em grande parte dos níveis energéticos das rações de aves alimentadas *ad libitum* (ROSTAGNO et al., 2017). Esta afirmação é confirmada pelos resultados obtidos por Hidalgo et al (2004) e Saleh et al. (2004) que observaram melhor conversão alimentar com o aumento da energia dietética. De acordo com Waldroup (1981) se os nutrientes dietéticos são mantidos em relação a energia da ração, há um aumento da taxa de crescimento e melhora na conversão alimentar quando os níveis de energia são crescentes, em consequência do aumento do ganho de peso e da diminuição do consumo de ração, como observado na presente pesquisa.

Não houve interação entre os fatores estudados ($P>0,05$) para as características de carcaça (Tabela 4). Para o fator sexo, as fêmeas apresentaram maior ($P<0,05$) rendimento de peito e porcentagem de gordura abdominal, enquanto que, os machos apresentaram maior ($P<0,05$) rendimento de coxa e sobrecoxa. Resultados semelhantes a este trabalho foram encontrados por Shahim e Elazeem (2005) e Kidd (2005) que observaram maior rendimento de peito para fêmeas, e de coxa e sobrecoxa para machos.

Considerando a densidade nutricional, os resultados diferiram apenas para a gordura abdominal. As densidades moderada e alta apresentaram maior ($P<0,05$) porcentagem de gordura abdominal e não diferiram entre si, em relação a densidade baixa. Isso porque, quando a ave ingere energia acima de suas necessidades metabólicas, ocorre deposição de gordura na carcaça, principalmente na área abdominal (LEESON;

SUMMERS, 2001). Além disso, segundo Bertechini (2012) o acúmulo de gordura pode ser um indicativo primário de relação nutriente/caloria inadequada, resultando em maior manutenção dos teores de gordura abdominal em frangos de corte, como foi observado nos estudos de Saleh et al. (2004) e Dozier et al. (2006).

Por outro lado, em estudo com diferentes programas de alimentação e diferentes densidades nutricionais, Dozier et al. (2008) concluíram que o aumento da densidade nutricional da ração não afetou o percentual de gordura abdominal de frangos de corte. A divergência com a pesquisa atual pode ser atribuída aos avanços do melhoramento genético. E às diferenças entre os níveis nutricionais e o balanço de nutrientes utilizada na pesquisa. Resultados semelhantes ao do presente estudo foram encontrados por Kidd et al. (2005) quando variou os níveis de aminoácidos das rações.

Os resultados do custo de produção e da receita bruta da ração, do peso vivo e da carne de peito estão apresentados na Tabela 5. Não houve interação entre os fatores estudados ($P>0,05$). Para o fator sexo, as fêmeas apresentaram maior ($P<0,05$) custo para produzir 1 kg de peso vivo e 1 kg de peito. Esse fato deve-se, principalmente, pela menor eficiência produtiva das fêmeas em relação aos machos. Da mesma forma, as fêmeas apresentaram menor ($P<0,05$) receita que os machos.

Em relação a densidade nutricional, o custo da ração e o custo de produção do peso vivo, em R\$ por kg, aumentaram ($P<0,05$) à medida que, o nível nutricional aumentou. Entretanto, para o custo de produção do peito, o menor ($P<0,05$) valor foi observado para a densidade moderada seguido da densidade baixa, e o maior ($P<0,05$) custo foi apresentado pela alta densidade nutricional.

Quando analisada a receita bruta, é possível observar que para o peso vivo, as densidades baixa e moderada apresentaram maior ($P<0,05$) receita, não diferindo estatisticamente entre si, enquanto que, a densidade alta piorou ($P<0,05$) a receita do peso vivo. Para o kg do peito, a densidade moderada apresentou a maior ($P<0,05$) receita, seguida da densidade baixa e o pior resultado foi para a alta densidade de nutrientes ($P<0,05$). Resultados contrários a este estudo foram encontrados por Basurco et al. (2015), que observaram que com o aumento da densidade nutricional da ração a receita foi melhorada.

As densidades nutricionais alta e a moderada otimizaram a eficiência produtiva das aves, entretanto, o custo com a ração aumentou, à medida que, os níveis nutricionais também foram elevados. Do mesmo modo, foi observado para o custo de produção do

frango vivo e do peito. Os mesmos resultados de custo foram encontrados por Martins et al. (2016), quando analisaram o aumento de nutrientes na ração. Com uma aplicação prática, baseado no conceito da lei dos retornos decrescentes (ALQUIMIST, 1953), os resultados obtidos sugerem que é possível reduzir a densidade de nutrientes, a fim de minimizar os custos e maximizar a rentabilidade econômica. Esses resultados corroboram com Eits et al. (2005) que concluíram que os níveis nutricionais que maximizam o lucro não coincidem com os níveis que promovem máximo desempenho.

CONCLUSÕES

1. A alta densidade nutricional promove o melhor desempenho produtivo, no entanto, prejudica os resultados econômicos. As características de carcaça foram pouco influenciadas pela densidade nutricional.

2. As fêmeas apresentam piores resultados de desempenho e econômicos em relação aos machos, contudo apresentaram maior rendimento de peito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMQUIST, H. J. Interpretation of amino acid requirement data according to the law of diminishing returns. **Archives Biochemistry Biophysics**, v.44, p.245-247, 1953.

AVISITE. Cotações médias e Relação de Preços - 2015/2016. Disponível em: <
<http://www.avisite.com.br/economia/index.php?acao=frangovivo>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

BASURCO, V.; VIEIRA, S. L.; SERAFINI, N. C.; SANTIAGO, G. O.; ANGEL, C. R.; GONZALEZ-ESQUERRA. Performance and economic evaluation of feeding programs varying in energy and protein densities for broiler grillers. **Journal Applied Poultry Research**, v.24, p.304-315, 2015.

BILGILI, S. F.; ALLEY, M. A.; HESS, J. B.; NAGARAJ. M. Influence of age and sex on footpad quality and yield in broiler chickens reared on low and high-density diets. **Journal Applied Poultry Research**, v. 15, p.433-441, 2006.

BRICKETT, K. E.; DAHIYA, J. P.; CLASSEN, H. L.; GOMIST, S. Influence of dietary nutrient density, feed form, and lighting on growth and meat yield of broiler chickens. **Poultry Science**, v.86, p.2172-2181, 2007.

DOZIER, W. A.; KIDD, M. T.; CORZO, A. Dietary amino acid responses of broiler chickens: A review. **Journal Applied Poultry Research**, v.17, p.157–167, 2008.

DOZIER, W. A.; GORDON, R. W.; ANDERSON, J.; KIDD, M. T.; CORZO, A.; BRANTON, S. L. Growth, meat yield, and economic responses of broilers provided three- and four-phase schedules formulated to moderate and high nutrient density during a fifty-six-day production period. **Journal Applied Poultry Research**, v.15, p.312-325, 2006.

EITS, R. M.; GIESEN, G. W. J.; KWAKKEL, R. P.; VERSTEGEN, M. W. A.; DEN HARTOG, L. A. Dietary balanced protein in broiler chickens. 2. An economic analysis. **British Poultry Science**, v.46, p.310-317, 2005 b.

HIDALGO, M. A.; DOZIER III, W. A.; DAVIS, A. J.; GORDON, R. W. Live performance and meat yield responses of broilers to progressive concentrations of dietary energy maintained at a constant metabolizable energy-to-crude protein ratio. **Journal Applied Poultry Research**, v.13, p.319–327, 2004.

KAMRAN, Z.; SARWAR, M.; NISA, M.; NADEEM, M. A.; MAHMOOD, S.; BABAR, M. E.; AHMED, S. Effect of low-protein diets having constant energy-to-protein ratio on performance and carcass characteristics of broiler chickens from one to thirty-five days of age. **Poultry Science**, v.87, p.468–474, 2008.

KIDD, M. T.; CORZO, A.; HOEHLER, D.; MILLER, E. R.; DOZIER III, W. A. Broiler responsiveness (Ross × 708) to diets varying in amino acid density. **Poultry Science**, v.84, p.1389–1396, 2005.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. Energy IN: Nutrition of the Chicken, 4th Ed. v.58, p.536-542, 2001.

MARTINS, J. M. S., CARVALHO, C.M. C.; FUTZ, F. H.; SILVEIRA, M. M.; MORAES, C. A.; SILVA, M. C. A.; FAGUNDES, N. S.; FERNANDES, E. A. Productive and economic performance of broilers chickens subjected to different nutritional plans. **Brazilian Journal of Poultry Science**. v.18, p.209-216, 2016.

MENDES, A. A.; PATRÍCIO, I. S. 2004. Controles, registros e avaliação do desempenho de frangos de corte. IN: Mendes, A. A., Nããs, I. A., Macari, M. **Produção**

de frangos de corte. 323p. Fundação APINCO de Ciências e Tecnologia Avícolas, Campinas, SP. 2004.

PESTI, G. M. Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broiler feeds on biological performance. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.18, p.477–486, 2009.

PESTI, G. M.; SMITH, C. F. The response of growing broiler chickens to dietary contents of protein, energy and added fat. **British Poultry Science**, v.25, p.127–138, 1984.

PLAVNIK, I.; WAX, E.; SKLAN, D.; BARTOV, I.; HURWITZ, S. The response of broiler chickens and turkey poults to dietary energy supplied either by fat or carbohydrates. **Poultry Science**, v.76, p.1000–1005, 1997.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: abril de 2015.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M. I.; DONZELE, J. L.; SAKOMURA, N. K.; PERAZZO, F. G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M. L.; RODRIGUES, P. B.; OLIVEIRA, R. F.; BARRETO, S. L. T.; BRITO, C. O. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.** 4. ed. Viçosa, Departamento de Zootecnia, UFV, 2017, 488p.

SALEH, E. A.; WATKINS, S. E.; WALDROUP, A. L.; WALDROUP, P. W. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of male broilers grown for further processing. **International Journal of Poultry Science**, v.3, p.1–10, 2004.

SALIM, H. M.; LEE, H. R.; JO, C.; LEE, S. K.; LEE, B. D. Effect of sex and dietary organic zinc on growth performance, carcass traits, tissue mineral content, and blood parameters of broiler chickens. **Biological Trace Element Research**, v.147, p.120-129, 2012.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Metodologia para avaliar o conteúdo de energia dos alimentos. In: SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. (Ed.) **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos.** Funep, 2015. p.50-64.

- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974.
- SHAHIM, K. A.; ELAZEEM, F. A. Effects of breed, sex and diet and their interactions on carcass composition and tissue weight distribution of broiler chickens. **Archiv Tierzucht**, v. 6, p.612-626, 2005.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A.C. 2009. **Análise de alimentos**: Métodos químicos biológicos. 3 eds. 4ª reimpressão. Universidade Federal de Viçosa.
- WALDROUP, P. W. Energy levels for broilers. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.58, p.309-313, 1981.
- WIDYARATNE, G. P.; DREW, M. D. Effects of protein level and digestibility on the growth and carcass characteristics of broiler chickens. **Poultry Science**, v.90, p.595-603, 2011.

Tabela 1 - Composição centesimal e nutricional calculada das rações na fase inicial (1 a 10 dias), crescimento (11 a 22 dias) e final (23 a 42 dias) de frangos de corte, para ambos o sexo.

<i>Ingredientes</i>	Inicial			Crescimento			Final		
	B ²	M ¹	A ³	B	M	A	B	M	A
Milho, moído	61,3	53,7	46,3	66,5	59,6	52,1	68,9	61,7	54,5
Soja, farelo 45%	34,5	38,2	41,9	29,4	32,8	36,1	26,8	30,2	33,5
Calcário calcítico	0,89	0,93	0,96	0,84	0,88	0,91	0,77	0,80	0,83
Fosfato bicálcico	1,70	1,80	1,91	1,60	1,69	1,78	1,40	1,50	1,59
Soja, óleo	0,38	4,06	7,73	0,49	4,16	7,82	0,98	4,71	8,43
DL-Metionina, 99%	0,27	0,30	0,32	0,24	0,26	0,29	0,20	0,22	0,25
L-Lisina HCl, 78,4%	0,15	0,12	0,10	0,15	0,12	0,09	0,10	0,07	0,05
Sal comum	0,42	0,44	0,46	0,42	0,44	0,47	0,41	0,43	0,46
Premix ⁴	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Composição calculada</i>									
Energia metabolizável (kcal/kg)	2883	3035	3187	2953	3108	3263	3021	3180	3339
Proteína bruta (%)	20,4	21,5	22,6	18,5	19,5	20,5	17,6	18,5	19,4
Cálcio (%)	0,86	0,90	0,95	0,80	0,84	0,88	0,72	0,76	0,80
Fósforo disponível (%)	0,43	0,45	0,47	0,40	0,42	0,44	0,36	0,38	0,40
Sódio (%)	0,18	0,19	0,20	0,19	0,20	0,21	0,18	0,19	0,20
Metionina + Cistina digestível (%)	0,84	0,88	0,92	0,76	0,80	0,84	0,7	0,74	0,78
Lisina digestível (%)	1,12	1,18	1,24	1,00	1,05	1,10	0,90	0,95	1,00

¹Níveis nutricionais da ração comercial (moderado); ²Níveis nutricionais 5% abaixo do moderado; ³Níveis nutricionais 5% acima do moderado; ⁴Níveis de garantia por kg de produto: vitamina A 1.500.000 UI; vitamina B₁ 350 mg; vitamina B₁₂ 2.500 mcg; vitamina B₂ 1.000 mg; vitamina B₆ 500 mg; vitamina D₃ 500.000 UI; vitamina E 2.500 UI; vitamina K₃ 400 mg; biotina 0,05 mg; niacina 7.500 mg; ácido fólico 0,502 mg; ácido pantotênico 2.750 mg; colina 60,400 g; cobre 24,95 mg; ferro 12,5 g; iodo 300 mg; manganês 17,5 g; selênio 50 mg; zinco 12,500 g; halquinol 7.500 mg; salinomicina 15g.

Tabela 2 – Consumo de ração (CR, g), peso corporal (PC, g), ganho de peso corporal (GP, g), conversão alimentar (CA), viabilidade criatória (VC, %) e índice de eficiência produtiva (IEP), em função do sexo e da densidade nutricional para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade.

Fatores	CR	PC	GP	CA	VC	IEP
Sexo (S)						
Machos	1147 ^a	949 ^a	903 ^a	1,271	99,6	338 ^a
Fêmeas	1095 ^b	894 ^b	848 ^b	1,293	99,6	313 ^b
Densidade nutricional (N)						
Baixa	1151 ^a	884 ^b	839 ^b	1,372 ^a	99,4	289 ^c
Moderada	1155 ^a	940 ^a	894 ^a	1,292 ^b	99,7	329 ^b
Alta	1057 ^b	940 ^a	894 ^a	1,181 ^c	99,6	358 ^a
Análise de variância						
S	0,0029	0,0000	0,0000	0,0904	0,0842	0,0000
N	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,7981	0,0000
Interação S x N	0,2486	0,2156	0,1985	0,2817	0,5473	0,1714
Bloco	0,1392	0,0507	0,0499	0,6986	0,0842	0,1918
CV (%)	4,25	2,23	2,34	2,9	1,03	3,08

Médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Scott-Knott (5%). CV = coeficiente de variação.

Tabela 3 – Consumo de ração (CR, g), peso corporal (PC, g), ganho de peso corporal (GP, g), conversão alimentar (CA), conversão alimentar corrigida (CAc), viabilidade criatória (VC, %) e índice de eficiência produtiva (IEP), em função do sexo e da nutrição para frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.

Fatores	CR	PC	GP	CA	CAc¹	VC	IEP
Sexo (S)							
Machos	4667 ^a	3014 ^a	2968 ^a	1,567 ^a	1,453 ^a	95,0	442 ^a
Fêmeas	4495 ^b	2621 ^b	2576 ^b	1,748 ^b	1,806 ^b	97,2	352 ^b
Densidade nutricional (N)							
Baixa	4577	2716 ^b	2671 ^b	1,720 ^a	1,740 ^a	93,6 ^a	376 ^b
Moderada	4623	2854 ^a	2808 ^a	1,641 ^b	1,592 ^b	96,9 ^a	410 ^a
Alta	4542	2884 ^a	2838 ^a	1,609 ^b	1,557 ^b	98,6 ^b	406 ^a
Análise de variância							
S	0,0035	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0779	0,0000
N	0,4736	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0367	0,0055
Interação S x N	0,2034	0,5995	0,6040	0,3748	0,3555	0,3007	0,8744
Bloco	0,3585	0,2016	0,2010	0,0604	0,0800	0,5471	0,0294
CV (%)	3,49	2,61	2,65	3,56	5,3	4,70	6,35

Médias seguidas por letras diferentes, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Scott-Knott (5%). CV = coeficiente de variação. ¹CAc: Conversão alimentar corrigida para 2,800 kg.

Tabela 4 – Rendimento (%) de peito, de coxa, de sobrecoxa, de asas e de gordura abdominal (GA) em função do sexo e da nutrição de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Fatores	Peito¹	Coxa¹	Sobrecoxa¹	Asas¹	GA²
Sexo (S)					
Machos	26,72 ^b	12,60 ^a	16,74 ^a	9,94	1,94 ^b
Fêmeas	28,15 ^a	12,00 ^b	16,32 ^b	9,97	2,28 ^a
Densidade nutricional (N)					
Baixa	27,63	12,37	16,49	9,77	1,99 ^b
Moderada	27,50	12,25	16,54	10,03	2,22 ^a
Alta	27,17	12,29	16,56	10,05	2,12 ^a
Análise de variância					
S	0,0000	0,0000	0,0120	0,8136	0,0000
N	0,1249	0,6032	0,9302	0,1112	0,0280
Interação S x N	0,6170	0,1675	0,3700	0,3879	0,1571
Bloco	0,1732	0,3269	0,2619	0,4025	0,0564
CV (%)	1,99	2,27	2,80	3,49	9,21

Médias seguidas por letras diferentes, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Scott-Knott (5%). CV = coeficiente de variação. ¹Valores expressos em relação ao peso da carcaça quente. ²Valor expresso em relação ao peso corporal após jejum alimentar de 8 horas.

Tabela 5 – Custo da ração (CTR, R\$/kg), custo médio de produção do peso vivo aos 42 dias (CPV, R\$/kg), custo de produção do peito (CPP, R\$/kg), receita bruta do peso vivo (RPV, R\$/kg), receita bruta do peito (RP, R\$/kg), em função do sexo e da nutrição de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Fatores	CTR	CPV	CPP	RPV	RP
Sexo (S)					
Machos	3,56 ^a	1,18 ^b	5,35 ^b	5,18 ^a	5,11 ^a
Fêmeas	3,43 ^b	1,31 ^a	5,69 ^a	4,17 ^b	4,52 ^b
Densidade nutricional (N)					
Baixa	3,09 ^c	1,14 ^c	5,52 ^b	4,74 ^a	4,79 ^b
Moderada	3,53 ^b	1,23 ^b	4,93 ^c	4,78 ^a	5,24 ^a
Alta	3,87 ^a	1,35 ^a	6,09 ^a	4,49 ^b	4,41 ^c
Análise de variância					
S	0,0042	0,0000	0,0031	0,0000	0,0031
N	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Interação S x N	0,2176	0,1078	0,1016	0,1020	0,1015
Bloco	0,3772	0,5706	0,7658	0,0540	0,7657
CV (%)	3,48	4,07	5,69	3,56	5,69

Médias seguidas por letras diferentes, dentro de cada fator, diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott (5%). CV = coeficiente de variação.

CAPÍTULO 3

Determinação das exigências de energia metabolizável para frangos de corte utilizando modelos de superfície de resposta aplicada na formulação não linear de ração

RESUMO

Na formulação de ração, os valores ideais das exigências nutricionais é um dos fatores importantes para otimizar o lucro e maximizar o desempenho das aves. O procedimento não-linear para formulação de ração foi usado neste estudo em um sistema de otimização para ilustrar o efeito da variação dos preços de mercado sob as exigências nutricionais e a receita líquida. Para isso, uma planilha dinâmica de formulação de ração não-linear para maximizar o lucro na produção de frangos de corte foi desenvolvido. A planilha identifica os níveis nutricionais que otimizam a receita líquida variando a energia metabolizável. Para o cálculo da receita líquida, o consumo de ração e o peso corporal foram estimados utilizando modelos de superfície de resposta. Dados de desempenho produtivos de frangos de corte, de um estudo com densidade energética, foram usados para construir os modelos de superfície de resposta considerando duas variáveis independentes energia metabolizável e idade das aves. Os modelos foram construídos para as variáveis respostas consumo de ração e peso corporal para cada sexo e fase de criação. Os termos não significativos ($P > 0,05$) não foram removidos do modelo. Os resultados sugerem que os modelos elaborados podem ser usados para estimar o desempenho produtivo, e, portanto, a receita líquida. Além disso, o programa não linear de formulação de ração pode ser útil por otimizar respostas nutricionais e econômicas. Concluiu-se que os modelos de superfície de resposta são eficientes em prever o desempenho de frangos de corte e permitem formular rações para otimização do lucro.

Palavras-chave: energia metabolizável, frangos de corte, superfície de resposta, lucro máximo, retorno decrescente

INTRODUÇÃO

Para avaliar a economia de um setor dinâmico, como o setor avícola, alguns mecanismos devem ser elucidados, como integrar a máxima produtividade a um custo baixo de produção (ZUIDHOF, 2005). Em geral, os custos dos ingredientes da ração são responsáveis por 70% ou mais dos custos totais de produção. Há várias décadas Reed e Maddy (1968) afirmaram que o objetivo da formulação de ração é combinar os ingredientes, de tal forma que as exigências nutricionais sejam atendidas com o menor custo possível. O conceito de custo mínimo foi por muito tempo utilizado como ferramenta na formulação de ração, no entanto, as exigências nutricionais deste método assumem lucros constantes. Além disso, não considera as flutuações dos preços de mercado do frango vivo, carcaça e cortes e a demanda do consumidor para as aves de diferentes tamanhos (CERRATE; WALDROUP, 2009a).

Em uma outra abordagem, Almquist (1953) pontuou que, o nível de concentração nutricional ótimo é aquele que maximiza o lucro. O autor afirma que a resposta crescente ou decrescente de um nutriente é geralmente não-linear até o nível em que a resposta máxima é alcançada, e, portanto, seguem a lei do retorno decrescente. Lerman e Bie (1975) apontam que um dos principais obstáculos para alcançar rações que maximizam o lucro é determinar curvas realistas, que relacionem a resposta animal com a composição nutricional, com o custo dos ingredientes e o retorno econômico da produção. Além disso, evidenciaram a importância de determinar o modelo correto de resposta animal nas formulações de lucro máximo.

Desde então, muitos estudos vêm sendo realizados afim de estimar as exigências nutricionais por uma variedade de modelos e métodos estatísticos (VEDENOV; PESTI, 2008; PESTI, 2009). Essas relações, frequentemente, são quantificadas empiricamente em um experimento dose-resposta (SMITH et al., 1998), ou previstas por meio de modelos de simulação mecanicista (GOUS, 1998). No entanto, pouco progresso ainda é observado na determinação de níveis ótimos econômicos devido, principalmente, à dificuldade de obtenção de um banco de dados amplo e realista, em termos de características das aves e de condições ambientais que muitas vezes são desconhecidas (EITS et al., 2005).

Algumas abordagens econômicas foram apresentadas em estudos baseados em modelos de resposta animal arbitrariamente selecionados. Vedenov e Pesti (2008) compararam uma série de modelos não-lineares frequentemente utilizados para estimar

respostas nutricionais sob uma perspectiva estatística. Eits et al. (2005) desenvolveram um modelo empírico considerando o sexo, a idade e níveis de proteína, afim de quantificar os níveis nutricionais que maximizam o lucro. Guevara (2004) desenvolveu um modelo, com base no nível ótimo de energia metabolizável, que identifica os níveis nutricionais que maximizam a margem de lucro.

Para conduzir com precisão e obter maiores benefícios econômicos, a utilização de mecanismos de predição e otimização pode ser uma ferramenta útil na tomada de decisões. A modelagem de um processo consiste na obtenção de uma equação matemática capaz de representar adequadamente características de interesse, e é uma ferramenta de predição principalmente para os processos de otimização de lucro. Um modelo com uma boa qualidade de ajuste e capaz de prever as variáveis de interesse, pode facilmente ser operado sob uma planilha no Microsoft Excel[®], que auxilia na tomada de decisões através de análises acessíveis aos produtores e integradores da indústria de frango.

Neste sentido, esta pesquisa tem por objetivo apresentar a utilização de modelos de superfície de resposta em um programa não-linear de formulação de ração para otimização do lucro. Resultados de um experimento recente com frangos de corte, machos e fêmeas, foram utilizados para elaborar modelos de predição de consumo de ração e peso corporal das aves.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do banco de dados

Os dados utilizados para desenvolver os modelos do estudo foram obtidos a partir de um experimento desenvolvido no aviário experimental, do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP, Campus Fernando Costa em Pirassununga - SP.

Foram utilizados os dados de desempenho produtivo de frangos de corte Ross 308[®], machos e fêmeas, de um experimento dose-resposta para testar diferentes densidades nutricionais. As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja em programa de alimentação com três fases: inicial (1 a 10 dias), crescimento (11 a 22 dias) e final (23 a 42 dias). Para cada fase, formulou-se uma ração com níveis nutricionais comerciais, e então variou-se a energia metabolizável (2883 a 3303 kcal/kg). Os níveis dos nutrientes foram mantidos constantes em relação com a energia (Tabela 1).

O experimento foi realizado no período de 1 a 42 dias, e a cada três dias de idade das aves, o consumo de ração e o peso corporal foram obtidos. As rações experimentais e os detalhes na execução do experimento podem ser encontrados no Capítulo 2.

Após a condução do experimento, 255 linhas de observações foram geradas para cada sexo (machos e fêmeas). Em cada linha de dados a idade das aves e o nível de energia metabolizável (kcal/kg) foram considerados como variáveis independentes, enquanto que o consumo de ração e o peso corporal foram as variáveis dependentes.

Os dados foram submetidos a uma análise prévia para identificar a possível presença de dados discrepantes, teste de homogeneidade de variâncias e a normalidade dos erros (FREUND; LITTELL, 2000). Para todos os testes de hipóteses foi adotado um nível de significância de 5% para as variáveis respostas consideradas.

Modelos de Superfície de Resposta

Os dados foram ajustados utilizando a metodologia de superfície de resposta, afim de expressar o comportamento do consumo de ração e do peso corporal em termos da densidade energética e idade das aves. Dessa forma, cada parcela foi utilizada como unidade experimental. Os termos lineares e quadráticos para as variáveis independentes, bem como a interação entre essas variáveis foram avaliados. Foi adotado o seguinte modelo geral:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 + b_5x_1x_2 + \varepsilon$$

onde, y é a resposta de interesse (consumo de ração e peso corporal), b_0 é o intercepto, b_1, b_2, b_3, b_4 e b_5 são os parâmetros do modelo, x_1 são os níveis de energia e x_2 é a idade das aves. ε é o erro experimental.

Os modelos foram ajustados pela função *lm* (Fitting Linear Models) do pacote básico do software R[®] v.3.2.2 (R, 2016). A adequação dos modelos foi medida avaliando o nível de significância dos parâmetros estimados, o coeficiente de determinação (R^2) e a estimativa dos erros (SE). O teste de significância foi determinado com base no valor de T ($P < 0,05$). O coeficiente de determinação (R^2) é frequentemente utilizado como uma medida geral da previsão alcançada (GIBSON et al., 1988), mostrando o quanto que o modelo explica a variação dos dados.

Programação dos modelos

Um programa de otimização para formulação de ração não linear foi elaborado com auxílio do algoritmo GRG (*Generalized Reduced Gradient*) do otimizador solver do Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, WA) como método para resolução de problemas não-lineares. As opções especificadas pelo usuário foram definidas da seguinte forma: iterações = 1.000, precisão = 0,00001, convergência = 0,0001, derivativos = central. O programa foi elaborado de acordo com os procedimentos detalhados por Guevara (2004).

O método de formulação de ração pela programação não linear foi utilizado neste estudo para identificar a melhor combinação de ingredientes da ração que maximize a receita líquida. O cálculo da receita líquida foi baseado nos modelos de superfície para o consumo de ração e o peso corporal, dos preços dos ingredientes que compõem a ração e o preço do frango vivo que são conhecidos. A tabela 2 mostra as equações gerais usadas na programação não linear.

As concentrações dos nutrientes foram expressas em relação ao nível de energia, assim, a relação de nutriente:energia, para cada fase de criação, como apresentados na Tabela 1. Cada restrição de proporção foi transformada em restrição linear exceto a energia metabolizável. A energia metabolizável foi inserida como uma variável de decisão na programação não linear e a função objetivo (receita líquida) foi expressa em termos do consumo de ração, peso corporal, preço dos ingredientes e o preço do frango vivo (Tabela 3).

Validação do modelo de Superfície de Resposta

Para demonstrar a capacidade do modelo foram determinados seis cenários de mercado para maximizar o lucro. Para o cenário favorável ao produtor, os preços dos ingredientes da ração diminuem, enquanto que o preço pago pelo frango vivo é valorizado. No cenário desfavorável ao produtor, os preços dos ingredientes aumentam, e o preço do frango vivo é desvalorizado. Para cada cenário foram elaboradas três simulações de variação dos preços, sendo essas 5, 10 e 20% maiores e menores em relação a condição normal de mercado. Os preços dos ingredientes e o preço do frango vivo em condição normal de mercado foi estabelecida considerando o mês de outubro de 2015 e o mercado da região.

RESULTADOS

Modelos de Superfície de Resposta

Os modelos de peso corporal e consumo de ração foram contemplados para as diferentes fases de criação de frangos de corte machos e fêmeas, inicial (1 a 10 dias), crescimento (11 a 22 dias) e final (23 a 42 dias). As estimativas e significância dos coeficientes dos modelos de consumo de ração e peso corporal, de machos e fêmeas, estão apresentadas, respectivamente, nas tabelas 4 e 5.

Peso corporal

O coeficiente do termo quadrático do modelo, para machos, foi significativo ($P < 0,05$) para a idade, no período de 1 a 10 dias ($R^2 = 0,9899$). No período de crescimento, houve interação significativa ($P < 0,05$) entre energia metabolizável e idade, efeito significativo ($P < 0,05$) do termo linear e quadrático da energia metabolizável, e apenas, do termo quadrático para a idade ($R^2 = 0,9938$). No período de 23 a 42 dias de idade, observou-se significância ($P < 0,05$) para a interação e para os termos linear e quadrático da energia metabolizável ($R^2 = 0,9848$) (Tabela 4).

Com base nos resultados dos modelos de peso corporal para as fêmeas, na fase inicial foi possível observar efeito interativo ($P < 0,05$) das variáveis independentes, efeito significativo para os termos linear e quadrático da idade ($R^2 = 0,9956$), e apenas, para o termo quadrático da energia metabolizável. No período de crescimento, observou-se significância ($P < 0,05$) para a interação, e para os termos linear e quadrático do polinômio ($R^2 = 0,9951$). No entanto, para o período de 23 a 42 dias, observou-se apenas efeito significativo ($P < 0,05$) para a interação e para o termo quadrático da idade ($R^2 = 0,9923$) (Tabela 5).

Consumo de Ração

A interação e o termo quadrático da idade foram significativos ($P < 0,05$) para as fases inicial ($R^2 = 0,9901$) e crescimento ($R^2 = 0,9844$) de machos. Para o modelo de consumo de ração na fase final ($R^2 = 0,9802$), foi observado significância ($P < 0,05$) para os termos linear e quadrático da energia metabolizável e para o termo quadrático da idade (Tabela 4).

A interação, e os termos linear e quadráticos da idade foram significativos ($P < 0,05$), no período de 1 a 10 dias de idade, para as fêmeas ($R^2 = 0,9955$). Na fase de

crescimento, observou-se significância ($P < 0,05$) para os termos linear e quadrático das variáveis independentes energia metabolizável e idade ($R^2 = 0,9882$). O período final observou-se apenas efeito significativo para os termos linear e quadrático da idade ($R^2 = 0,9868$) (Tabela 5).

Os modelos se ajustaram bem aos dados. Os altos coeficientes de determinação observados, implicam que 98 a 99% da variabilidade da resposta pode ser explicada pelos modelos de superfície, indicando alto grau de concordância entre os valores observados e preditos. Além disso, sugerem que a previsão feita pelos modelos é de boa qualidade e altamente confiável. Portanto, os modelos elaborados no estudo podem prever com segurança as respostas de consumo de ração e peso corporal.

DISCUSSÃO

Os modelos de superfície de resposta vêm sendo amplamente utilizados em pesquisas com nutrição animal nos últimos anos, como ferramenta estatística, para modelar ou otimizar uma resposta dependente de uma ou mais variáveis (WANG; SHAHIDI, 2018). Diante disso, muitos estudos com modelagem visam determinar níveis nutricionais que otimizam desempenho produtivo (MEHRI et al., 2012; FARIDI et al., 2013). Entretanto, no presente estudo, os modelos foram utilizados para otimização do retorno econômico, isto é, maximizar a receita líquida encontrando uma combinação adequada e realista dos níveis nutricionais. As estimativas do peso e do consumo de ração obtidas com os modelos de superfície ajustados foram utilizados para o cálculo da receita líquida. O processo de otimização da receita líquida permitiu determinar o nível de energia metabolizável da ração que maximiza o lucro total por ave sob seis cenários nas diferentes fases de criação (tabela 6 e 7). Para tal, a energia metabolizável foi fixada em um nível mínimo de 2883,3 kcal/kg e máximo de 3303,3 kcal/kg.

No processo de otimização da receita líquida, para a fase inicial de machos e fêmeas, o ponto mais desejável foi obtido com o nível mínimo de energia metabolizável na ração, em condição normal de mercado. Em uma observação minuciosa, a variação dos diferentes cenários (favorável e desfavorável) tiveram contribuição para a receita líquida, no entanto, não foi possível observar variação no nível de energia metabolizável da ração e no desempenho produtivo estimado. Como esperado, à medida que, o cenário se torna mais favorável a receita líquida por ave aumenta (17, 31 e 60%, respectivamente, em relação ao cenário normal), o contrário também foi observado com a mesma magnitude. Embora o nível de energia metabolizável seja determinado para otimização

do lucro na fase inicial de criação das aves, deve-se afirmar que ignora amplamente o aspecto de que esse período é inviável comercialmente.

A otimização da receita líquida estimou como nível ótimo 3056,4 kcal/kg de energia metabolizável na ração, para machos no período de crescimento em condição normal de mercado. Em uma avaliação econômica, à medida que as variações do cenário ficam mais favoráveis ao produtor é possível observar aumento de 0,15, 0,30 e 0,59 R\$/ave, ao passo que os níveis de energia metabolizável da ração também aumentaram. Os níveis ótimos de energia metabolizável foram obtidos com 3076,9, 3092,3 e 3114,8 kcal/kg, respectivamente às variações dos cenários. Por outro lado, quando o cenário é desfavorável, há uma diminuição gradativa no nível de energia metabolizável, afim de minimizar o prejuízo na receita líquida. O processo de otimização prediz uma diminuição de até 78,5 kcal/kg na ração e redução de 60% na receita líquida. Para esse caso, os modelos estimam desempenho produtivo inferior quando comparados ao cenário normal e favorável.

Para as fêmeas, no mesmo período, a otimização da receita líquida foi obtida com o nível máximo de energia metabolizável para as condições normal e favorável de mercado. O impacto na receita líquida é mais pronunciado, à medida que cenário fica mais favorável ao produtor, dessa forma observando um aumento de 0,15, 0,29 e 0,42 R\$/ave de acordo com as variações dos cenários. Em contraste, no cenário desfavorável o nível de energia é reduzido para 2977,9 kcal/kg, para todas as variações propostas e, portanto, a receita líquida é minimizada em 60% em relação ao cenário normal.

Rostagno et al. (2017) sugerem o nível de 3100 kcal/kg de energia metabolizável para máximo desempenho, no período de 8 a 21 dias de idade para machos e fêmeas. Essa recomendação corrobora com as especificações nutricionais do Guia de Manejo da Linhagem (Ross 308®, 2017) para o período de 11 a 22 dias. Embora ambas as exigências resultem em melhores características de desempenho, o aspecto econômico da produção não é levado em consideração. Em um estudo com diferentes densidades nutricionais para fêmeas *grillers*, Basurco et al. (2015) relataram que, embora um menor custo para produzir um quilograma de peso corporal possa ser obtido com baixos níveis energéticos nas rações, o aumento da energia metabolizável é necessário para maximizar o retorno econômico.

No entanto, a abordagem de custo mínimo é aceitável do ponto de vista econômico somente quando a receita é mantida constante (VEDENOV; PESTI, 2014). Em um estudo clássico que comprovou a adequação do uso da programação linear e não linear para

formulação de ração, Gonzales-Corta et al. (1994) verificaram que a otimização do lucro máximo foi alcançada com menores níveis de energia na ração, do que em rações de custo mínimo com níveis de energia e proteína fixos para maximizar o desempenho produtivo. Claramente, diferentes níveis nutricionais na ração resultam em respostas diferentes de peso corporal e, portanto, de receita líquida. Isso implica que, o nível nutricional que minimiza o custo da ração e maximiza o desempenho produtivo, pode não resultar necessariamente no máximo lucro, evidenciando a lei dos retornos decrescentes.

A otimização da receita líquida para o período final de criação indicou o nível de 2892,1 kcal/kg, em condição normal de mercado, para machos. No entanto, esse valor é inferior aos sugeridos pelo Guia de Manejo da linhagem e por Rostagno et al. (2017). Em uma avaliação econômica, as variações de mercado impostas ao cenário favorável aumentam o nível de energia metabolizável para promover o máximo lucro, o aumento de 5 - 20% na energia metabolizável proporcionam lucros adicionais de até R\$ 2,69/ave. Em contraste, à medida que o cenário fica mais desfavorável ao produtor, o prejuízo pode chegar em até R\$ 1,50/ave. É interessante observar que, para promover o máximo lucro, o nível de energia metabolizável é reduzido quando o cenário se torna desfavorável, deixando evidente que a otimização de lucro é dependente dos níveis nutricionais. O mesmo comportamento econômico foi possível ser observado para as fêmeas, no mesmo período. No entanto, a otimização do lucro foi obtida com nível de energia metabolizável de 2932,1 kcal/kg, em condição normal de mercado, e não foi alterado com as variações no cenário favorável.

Em uma aplicação prática de um sistema de produção que abate 250 mil aves por dia, o aumento no lucro de aproximadamente R\$ 0,15/ave podem chegar em até R\$ 37.500,00/dia em lucro líquido contábil. Isso implica, que a indústria pode perceber os lucros sem incorrer em custos adicionais de investimento de tecnologias. No contexto do pequeno produtor, os modelos podem ser usados não apenas para otimização, mas também para avaliação das práticas na alimentação atual. O produtor pode alterar os preços dos ingredientes e o valor do preço pago pelo frango, afim de que reflitam a atual situação de mercado. Além disso, uma análise detalhada do desempenho produtivo e econômico pode ser realizada ao comparar os resultados obtidos na otimização com os observados à campo (GUEVARA, 2004).

Existem evidências abundantes de exigências nutricionais para frangos de corte, principalmente para os níveis de energia metabolizável. No entanto, a programação não linear associada aos modelos desenvolvidos nesse estudo, sugerem que não há uma única

resposta ótima, e sim condições ideais, que dependem das prioridades, restrições e exigências determinado pelo formulador responsável. Da mesma forma, a lucratividade calculada no estudo serve apenas para retratar o impacto de diferentes cenários de mercado na densidade nutricional, já que não foram considerados todos os custos de produção, nem o sistema de produção adotado.

CONCLUSÃO

Em conclusão, os modelos de superfície de resposta são capazes de prever bem o desempenho produtivo das aves. Os modelos foram usados com sucesso na programação não linear, fornecendo uma ferramenta útil para adequar o nível de energia metabolizável e nutrientes da ração, considerando o cenário econômico e otimizando o lucro.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMQUIST, H. J. Interpretation of amino acid requirement data according to the law of diminishing returns. **Archives of Biochemistry and Biophysics**. v.44, p.245-247, 1953.

BASURCO, V.; VIEIRA, S.L.; SERAFINI, N.C.; SANTIAGO, G.O.; ANGEL, C.R.; GONZALEZ-ESQUERRA. Performance and economic evaluation of feeding programs varying in energy and protein densities for broiler growers. **Journal Applied Poultry Research**, v.24, p.304-315, 2015.

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**, v. 8, p.205-215, 2009a.

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

FARIDI, A.; GOLIAN, A.; FRANCE, J.; MOUSAVI, A. H. Study of broiler chicken responses to dietary protein and lysine using neural network and response surface models. **British Poultry Science**, v. 54, p. 524-530, 2013.

FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. **SAS® System for Regression**. SAS Institute, 2000. Fourth edition, SAS Institute Inc, Cary, NC. 235p.

GIBSON, A. M.; BRATCHELL, N.; ROBERTS, T. A. Predicting microbial growth: Growth responses of Salmonella in a laboratory medium as affected by pH, sodium chloride and storage temperature. **Internacional Journal Food Microbiology**, v. 6, p.155–178, 1988.

GOUS, M. R. Making progress in the nutrition of broilers. **Poultry Science**, v. 77, p. 111-117, 1998.

GONZALES-ALCORTA, M. J.; DORFMAN, J. H.; PESTI, G. M. Maximizing profit in broiler production as prices change: A simple approximation with practical value. **Agribusiness**, 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**, v. 83, p. 147–151, 2004.

LERMAN, P. M.; BIE, S. W. Problems in determining the best levels of essential nutrients in feedingstuffs. **The Journal of Agricultural Science**, v. 84, p. 459-468, 1975.

MEHRI, M.; DAVARPANAH, A. A.; MIRZAEI, H. R. Estimation of ideal ratios of methionine and threonine to lysine in starting broiler chicks using response surface methodology. **Poultry Science**, v. 91, p. 771-777, 2012.

PESTI, G.M.; VEDENOV, D.; CASON, J. A.; BILLARD, L. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, v. 50, p. 16-32, 2009.

REED, D. T.; MADDY, K. H. Parametric linear programming technique in ingredient and nutritional analysis. In: Minnesota Nutritional Conference, Minneapolis, 1968. p. 90-100.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M. I.; DONZELE, J. L.; SAKOMURA, N. K.; PERAZZO, F. G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M. L.; RODRIGUES, P. B.; OLIVEIRA, R. F.; BARRETO, S. L. T.; BRITO, C. O. **Tabelas**

brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.

4. ed. Viçosa, Department of Animal Sciences, UFV, Viçosa, MG, Brazil. 2017, 488p.

SMITH, E.R.; PESTI, G. M.; BAKALLI, R. I.; WARE, G. O.; MENTEN, J. F. M.

Further studies on the influence of genotype and dietary protein on the performance of broilers. **Poultry Science**, v. 77, p. 1678—1687, 1998.

VEDENOV, D.; PESTI, G. M. A comparison of methods of fitting several models to nutritional response data. **Journal Animal Science**, v. 86, p. 500-507, 2008.

VEDENOV, D.; PESTI, G. M. An economic comparison of several models fitted to nutritional response data **Journal Animal Science**, v. 89, p. 3344-3349, 2014.

WANG, D.; SHAHIDI, F. Protein hydrolysate from turkey meat and optimization of its antioxidante potential by response surface methodology. **Poultry Science**, v. 0, p. 1-8, 2018.

ZUIDHOF, M. J. Mathematical characterization of broiler carcass yield dynamics.

Poultry Science, v. 84, p. 1108-1122, 2005.

.

Tabela 1. Relação nutriente:energia metabolizável (% por 1000 kcal/kg) das rações experimentais para a fase inicial (1 a 10 dias), crescimento (11 a 22 dias) e final (23 a 42 dias).

Nutriente	Inicial	Crescimento	Final
Proteína bruta	7,084	5,818	6,274
Cálcio	0,297	0,239	0,270
Fósforo disponível	0,148	0,119	0,135
Sódio	0,063	0,060	0,064
Metionina + cistina digestível	0,290	0,233	0,257
Lisina digestível	0,389	0,299	0,338

Tabela 2. Equações gerais dos modelos usados na programação não-linear.

Variáveis	Equação
Consumo de Ração	$CR = b_0 + b_1(EM) + b_2(EM)^2 + b_3(Id) + b_4(Id)^2 + b_5(EM \times Id)$
Peso Corporal	$PC = b_0 + b_1(EM) + b_2(EM)^2 + b_3(Id) + b_4(Id)^2 + b_5(EM \times Id)$
Preço da Ração	$PR = \sum_{i=1}^9 x_i \times c_i$
Receita Líquida	$RL = ((PC \times PF) - (CR \times PR)/0,70)^1$

Onde, EM = Energia Metabolizável (kcal/kg); Id = Idade (dias); “ b_0 ” é o intercepto, e “ b_1 a b_5 ” são os coeficientes estimados pelo modelo; x_i = i-ésimo ingredientes da ração (%), $i = 1, 2, \dots, 9$; c_i = preço do i-ésimo ingrediente da ração (R\$/kg); PC = Peso Corporal (g); CR = Consumo de Ração (g); PF = Preço do Frango (R\$/kg); PR = Preço da Ração (R\$/kg).

¹Para o cálculo da receita líquida considerou-se que o custo de alimentação representa 70% do custo total de produção.

Tabela 3. Matriz da programação não linear e conjunto de restrições usado na otimização.

Componentes	Atividade	Nutrientes								Restrições	
		Custo (c) ¹	EM (kcal/kg)	PB (%)	Pd (%)	Ca (%)	Na (%)	Lis (%)	Met+Cis (%)	Min	Max
Milho, farelo	x1	0,63	3381	7,88	0,06	0,03	0,02	0,19	0,29		
Soja, farelo (45%)	x2	0,99	2254	45,22	0,22	0,24	0,02	2,57	1,13		
Óleo de soja	x3	3,00	8790								
Calcário calcítico	x4	0,40				37,7					
Fosfato bicálcico	x5	2,00			18,5	24,5					
Sal comum	x6	0,50					39,7				
Lisina	x7	9,80						77,4			
DL-Metionina	x8	26,00							98		
Premix	x9	8,00								0,4	0,4
EM (kcal/kg)	x10			- (PB/EM)	- (Pd/EM)	- (Ca/EM)	- (Na/EM)	- (Lis/EM)	- (M+C/EM)		
RSH	= 100	= PR		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Mínimo (%)			2883								
Máximo (%)			3303								
Função objetivo		Maximizar									

Adaptado de Guevara (2004).

EM = energia metabolizável; PB = proteína bruta; Pd = fósforo disponível; Ca = cálcio; Na = sódio; Lis = lisina; Met+Cis (M+C) = metionina + cistina; RSH = mão direita da equação; PC = peso corporal (g); CR = consumo de ração (g); PR = preço ração (R\$/kg); RL = Receita Líquida (R\$/kg); PF = preço frango vivo (R\$/kg). Min = mínimo; Max = máximo;

¹Custo = As referências de preço dos ingredientes foram obtidas do mês de agosto de 2015;

A relação energia:nutriente está apresentada na tabela 1 para todas as fases de criação.

Tabela 4. Estimativa dos coeficientes (Par), erro padrão (SE) e probabilidade (P-valor) para o peso corporal e consumo de ração de frangos de corte machos de 1 a 42 dias de idade.

Parâmetros do modelo	Peso Corporal (g)								
	1 a 10 dias			11 a 22 dias			23 a 42 dias		
	Par.	SE	<i>P-valor</i>	Par.	SE	<i>P-valor</i>	Par.	SE	<i>P-valor</i>
Intercepto	231,1482	703,0081	0,7437	-6346,4819	1905,6863	0,0014	-15747,1881	5847,3459	0,0081
Efeito linear									
EM ¹	-0,1068	0,4627	0,8184	4,1831	1,2180	0,0010	10,0390	3,6427	0,0068
Idade (I)	-5,5667	8,5641	0,5187	-23,9309	18,1941	0,1930	-13,4591	32,9398	0,6836
Efeito quadrático									
EM (N)	0,0000	0,0000	0,8249	-0,0006	0,0001	0,0007	-0,0017	0,0005	0,0039
Idade (I)	2,3901	0,2237	0,0001	1,6191	0,2472	0,0001	0,4163	0,2454	0,0954
EM x I	0,0002	0,0026	0,9426	0,0123	0,0052	0,0214	0,0282	0,0090	0,0023
R ²		0,9899			0,9938			0,9848	
	Consumo de ração (g)								
	1 a 10 dias			11 a 22 dias			23 a 42 dias		
	Par.	SE	<i>P-valor</i>	Par.	SE	<i>P-valor</i>	Par.	SE	<i>P-valor</i>
Intercepto	1057,5140	659,5104	0,1151	-5532,5674	4055,3426	0,1771	-50736,0088	11650,4706	0,0001
Efeito linear									
EM	-0,63867	0,4341	0,1475	3,9395	2,5921	0,1333	31,8151	7,2578	0,0001
Idade (I)	-9,28286	8,0342	0,2534	-37,2243	38,7174	0,3398	94,0845	65,6305	0,1543
Efeito quadrático									
EM	0,00011	0,0000	0,1362	-0,0058	0,0004	0,1661	-0,0052	0,0011	0,0001
Idade (I)	4,63304	0,2098	0,0001	7,0749	0,5261	0,0001	0,9595	0,4889	0,0520
EM x I	-0,00790	0,0025	0,0027	-0,0347	0,0111	0,0027	0,0071	0,01802	0,6941
R ²		0,9901			0,9844			0,9802	

¹EM = energia metabolizável;

Tabela 5. Estimativa dos coeficientes (Par), erro padrão (SE) e probabilidade (P-valor) para o peso corporal e consumo de ração de frangos de corte fêmeas de 1 a 42 dias de idade.

Parâmetros do modelo	Peso Corporal (g)								
	1 a 10 dias			11 a 22 dias			23 a 42 dias		
	Par.	SE	P-valor	Par.	SE	P-valor	Par	SE	P-valor
Intercepto	-858,1070	486,3389	0,0840	-5518,3863	1536,8040	0,0006	-8370,3834	5326,7480	0,1166
Efeito linear									
EM ¹	0,6213	0,3202	0,0583	3,6691	0,9823	0,0004	5,4180	3,4910	0,1211
Idade (I)	-14,5367	5,9086	0,0175	-34,8673	14,6722	0,0204	6,9930	15,7440	0,6571
Efeito quadrático									
EM	-0,0001	0,0000	0,0532	-0,0006	0,0001	0,0002	-0,0009	0,0005	0,1139
Idade (I)	2,3798	0,1545	0,0001	1,1213	0,1993	0,0001	0,4536	0,0361	0,0001
EM x I	0,0034	0,0018	0,0742	0,0191	0,0042	0,0001	0,0148	0,0052	0,0046
R ²		0,9956			0,9951			0,9923	
	Consumo de ração (g)								
	1 a 10 dias			11 a 22 dias			23 a 42 dias		
	Par.	SE	P-valor	Par.	SE	P-valor	Par	SE	P-valor
Intercepto	-475,5517	472,7620	0,3195	-12262,0534	3247,0727	0,0003	-11912,4905	6367,4778	0,0618
Efeito linear									
EM	0,3851	0,3113	0,2220	8,3621	2,0754	0,0001	7,6310	4,1731	0,0679
Idade (I)	-19,7079	5,7438	0,0012	-65,6425	31,0006	0,0380	64,6339	18,8200	0,0006
Efeito quadrático									
EM	-0,0000	0,1502	0,2302	-0,0013	0,0003	0,0002	-0,0012	0,0006	0,0685
Idade (I)	4,7453	0,0000	0,0001	6,0393	0,4212	0,0001	2,0180	0,0432	0,0001
EM x I	-0,0005	0,0018	0,0130	-0,0166	0,0089	0,0664	-0,0109	0,0063	0,0815
R ²		0,9955			0,9882			0,9868	

¹EM = energia metabolizável;

Tabela 6. Efeito da mudança do preço de frangos e ingredientes de dieta sobre o desempenho ótimo e densidade de energia, de frangos de corte machos de 1 a 42 dias de idade.

Cenários ¹	EM ² (kcal/kg)	CR ³ (g)	PC ⁴ (g)	CA ⁵	RL ⁶ (R\$/ave)
Fase Inicial (1 a 10 dias)					
Normal	2883,3	256,36	252,79	1,216	0,35
Favorável (5%)	2883,3	256,36	252,79	1,216	0,41
Desfavorável (5%)	2883,3	256,36	252,79	1,216	0,30
Favorável (10%)	2883,3	256,36	252,79	1,216	0,46
Desfavorável (10%)	2883,3	256,36	252,79	1,216	0,25
Favorável (20%)	2883,3	256,36	252,79	1,216	0,56
Desfavorável (20%)	2883,3	256,36	252,79	1,216	0,15
Fase Crescimento (11 a 22 dias)					
Normal	3056,4	784,5	718,06	1,160	0,95
Favorável (5%)	3076,9	779,27	720,98	1,148	1,10
Desfavorável (5%)	3030,5	790,39	713,55	1,177	0,81
Favorável (10%)	3092,3	775,02	722,79	1,138	1,25
Desfavorável (10%)	2995,1	797,19	705,85	1,201	0,66
Favorável (20%)	3114,8	768,34	724,83	1,125	1,54
Desfavorável (20%)	2977,9	799,96	701,50	1,213	0,38
Fase Final (23 a 42 dias)					
Normal	2892,1	4624,56	2834,62	1,656	2,07
Favorável (5%)	2892,1	4624,61	2834,65	1,656	2,74
Desfavorável (5%)	2892,1	4624,61	2834,65	1,656	1,42
Favorável (10%)	2932,1	4706,99	2892,39	1,651	3,40
Desfavorável (10%)	2883,3	4604,25	2821,21	1,657	0,75
Favorável (20%)	2932,1	4706,98	2892,39	1,651	4,76
Desfavorável (20%)	2883,3	4604,25	2821,21	1,657	-0,57

¹Cenário Normal considerou-se o preço da ração (PR/R\$/kg) = 0,90 e preço frango vivo (PF/R\$/kg) = 2,70.

²EM = Energia Metabolizável (kcal/kg); ³CR = Consumo de Ração (g); ⁴PC = Peso Corporal (g); ⁵CA = Conversão Alimentar; ⁶RL = Receita Líquida (R\$/ave).

A receita líquida foi calculada da seguinte forma: $RL = ((PC \times PF) - (CR \times PR)) / 0,70$. Para o cálculo da receita líquida considerou-se que o custo de alimentação representa 70% do custo total de produção.

Tabela 7. Efeito da mudança do preço de frangos e ingredientes de dieta sobre o desempenho ótimo e densidade de energia, de frangos de corte fêmeas de 1 a 42 dias de idade.

Cenários¹	EM² (kcal/kg)	CR³ (g)	PC⁴ (g)	CA⁵	RL⁶ (R\$/ave)
Fase Inicial (1 a 10 dias)					
Normal	2883,3	260,62	254,65	1,226	0,35
Favorável (5%)	2883,3	260,62	254,65	1,226	0,41
Desfavorável (5%)	2883,3	260,62	254,65	1,226	0,30
Favorável (10%)	2883,3	260,62	254,65	1,226	0,46
Desfavorável (10%)	2883,3	260,62	254,65	1,226	0,25
Favorável (20%)	2883,3	260,62	254,65	1,226	0,56
Desfavorável (20%)	2883,3	260,62	254,65	1,226	0,15
Fase Crescimento (11 a 22 dias)					
Normal	3303,8	677,60	706,69	1,019	0,90
Favorável (5%)	3303,8	677,60	706,69	1,019	1,05
Desfavorável (5%)	2977,9	764,53	668,46	1,220	0,77
Favorável (10%)	3303,8	677,60	706,69	1,019	1,19
Desfavorável (10%)	2977,9	764,53	668,46	1,220	0,63
Favorável (20%)	3303,8	677,60	706,69	1,019	1,48
Desfavorável (20%)	2977,9	764,53	668,46	1,220	0,36
Fase Final (23 a 42 dias)					
Normal	2932,1	4646,7	2658,16	1,776	1,49
Favorável (5%)	2932,1	4646,7	2658,2	1,776	2,14
Desfavorável (5%)	2892,9	4650,95	2628,06	1,798	0,85
Favorável (10%)	2932,1	4646,7	2658,2	1,776	2,77
Desfavorável (10%)	2892,9	4651,0	2627,35	1,799	0,21
Favorável (20%)	2932,1	4646,7	2658,2	1,776	4,06
Desfavorável (20%)	2892,9	4651,0	2627,35	1,799	-1,07

¹Cenário Normal considerou-se o preço da ração (PR/R\$/kg) = 0,90 e preço frango vivo (PF/R\$/kg) = 2,70.

²EM = Energia Metabolizável (kcal/kg); ³CR = Consumo de Ração (g); ⁴PC = Peso Corporal (g); ⁵CA = Conversão Alimentar; ⁶RL = Receita Líquida (R\$/ave).

A receita líquida foi calculada da seguinte forma: $RL = ((PC \times PF) - (CR \times PR)) / 0,70$. Para o cálculo da receita líquida considerou-se que o custo de alimentação representa 70% do custo total de produção.

CAPÍTULO 4

Otimização de respostas econômicas para determinar a idade de abate de frangos de corte usando métodos matemáticos

RESUMO

Uma planilha dinâmica de simulação foi desenvolvida para determinar a idade ótima de abate na produção de frangos de corte. O modelo foi computadorizado no Microsoft Excel® com auxílio do suplemento GRG (*Generalized Reduced Gradient*) do otimizador *solver*. A estratégia adotada para determinar a idade de abate tomou como base o cálculo da receita líquida em um sistema de otimização que produz retorno econômico ótimo de acordo com o cenário de mercado previamente estabelecido. A planilha usa modelos de predição para prever o peso corporal e o consumo de ração em tempo real de desenvolvimento das aves sendo a base do processo de otimização. O custo e a receita são considerados para determinar o ponto de decisão de lucro máximo. A dinâmica do sistema de otimização foi explorada em vários cenários econômicos para apresentar a capacidade da planilha em determinar a idade de abate de máximo retorno econômico. O aumento dos custos de produção resulta em menor lucro, e, portanto, na diminuição da idade de abate. Ao passo que, maior lucro e idade de abate são observadas com o aumento do preço pago pelo frango vivo. Portanto, a utilização de modelos de simulação e econômicos para prever a idade de abate podem ser utilizados como ferramenta de gestão para aumentar a lucratividade do sistema de produção avícola.

Palavras-chaves: curva de crescimento, frangos de corte, idade de abate, modelos de predição, simulação computacional

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as melhorias genéticas buscaram aumentar a produção e reduzir a idade de comercialização de frangos (SZOLLOSI et al., 2014; CICEK; TANDOGAM, 2016). Em média, a idade de abate dos frangos reduziu 0,75 dias por ano para o mesmo desempenho produtivo (GUNASEKAR, 2006; SZOLLOSI et al., 2014). Em termos de economia da produção, a idade de abate é um fator importante quando o objetivo é o aumento da eficiência e a redução dos custos (TOPAL; BOLUKBASI 2008). Nas condições práticas atuais, esse objetivo é atingido atendendo a demanda de mercado, embora essa decisão envolva estratégias econômicas, baseiam-se apenas na eficiência biológica da ave.

No entanto, a perspectiva de que maior valor agregado é obtido com aumento da idade de mercado é equivocada. A taxa de ganho de peso das aves diminui após certa idade, ao passo que o consumo de ração e o preço de outros insumos continuam aumentando (SZOLLOSI et al., 2014). Em geral segue a lei dos retornos decrescentes, isto é a receita líquida não aumenta linearmente com o aumento da resposta animal. Desse modo, para que não ocorram prejuízos a produção deve cessar assim que o valor máximo de receita líquida é atingido. Portanto, maximizar lucros futuros na produção avícola requer otimização da idade de abate incluindo análise prévia das condições de mercado, e a estimativa futura de desempenho animal.

A idade ótima de abate pode ser determinada utilizando uma função matemática (CICEK; TANDOGAM, 2016). Para os modelos de resposta animal, o elemento chave em qualquer método teórico de predição econômica ou nutricional é a previsão do potencial de crescimento (EMMANS, 1981). As funções de crescimento têm sido amplamente utilizadas para fornecer uma descrição de dados ao longo do tempo (TAYLOR, 1980). Alguns modelos, são usados por apresentarem interpretação biológica dos parâmetros (VEDENOV; PESTI, 2008). Essa abordagem é baseada em modelos de simulação (método *input-output*), afim de avaliar as necessidades nutricionais, produtividade animal e/ou objetivos econômicos (MOTULSKY; CHRISTOPOULOS, 2003).

Em um sistema dinâmico em que o custo e a receita são modelados durante o período produtivo, os modelos podem facilmente tornar-se grandes e complexos dependendo do número de parâmetros. Vários estudos descritos na literatura têm se concentrado na construção desses modelos (SCHMIDT, 2008; BAEZA et al., 2011;

YASSIN et al., 2012; SZOLLOSI et al., 2014), ao invés da aplicação desses como ferramentas de tomada de decisão. Embora modelos dinâmicos mais elaborados e eficientes tenham sido desenvolvidos (TAPAL et al., 1986; LEE et al., 1997; ROUSH et al., 2006; PESTI et al., 2009; WANG et al., 2012; CICEK; TANDOGAN, 2016), não apresentam a possibilidade de simulação e otimização da tomada de decisão em tempo real. Além disso, são de uso relativamente complicados por apresentar várias parâmetros e interfaces que não são amigáveis aos usuários finais. Para o uso como uma ferramenta de apoio à decisão na indústria de frangos de corte, um modelo deve ser simplificado tanto quanto possível sem comprometer a precisão das saídas.

A maioria dos modelos, principalmente os não-lineares, requerem sofisticada análise estatística e de processos iterativos de otimização. Os métodos de otimização numérica são construídos em procedimentos de regressão não-linear, que minimizam a soma dos quadrados dos erros, disponíveis em pacotes de software estatísticos. No entanto, o software Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, WA) possui um módulo otimizador Solver, que também implementa a otimização através de algoritmos como o *Simplex* e o *GRG*. Além disso, as vantagens de elaborar um programa executável são a maior disponibilidade e familiaridade com o software, facilidade de uso e melhores capacidades de visualização fornecidos pelo Microsoft Excel (VEDENOV; PESTI, 2008).

O objetivo da pesquisa foi desenvolver uma planilha dinâmica e iterativa para determinar a idade de abate de frangos de corte que otimiza o retorno econômico. A planilha é de distribuição gratuita e de fácil utilização e pode agregar na gestão de um sistema produtivo, bem como, melhorar a eficiência de produção buscando estratégias de acordo com as oscilações de mercado.

MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DA IDADE ÓTIMA DE ABATE

A planilha foi desenvolvida nas seguintes etapas:

- Etapa 1: foram ajustados modelos matemáticos para prever o peso corporal e o consumo de ração no período de 1 a 56 dias de criação das aves. O banco de dados é estimado utilizando informações reais obtidas à campo do consumo de ração e peso corporal aos 7 dias que devem ser fornecidos pelo usuário;
- Etapa 2: com base nos dados estimados são ajustados dois modelos matemáticos para descrever as variáveis de consumo de ração e peso corporal;

- Etapa 3: as descrições do desempenho produtivo combinado com informações de preço de mercado são empregadas para o cálculo da receita líquida por ave. Por fim, o processo de otimização prevê a idade de abate em que a rentabilidade econômica é maximizada.

A Figura 1 mostra uma representação esquemática dos itens da planilha. A modelagem dessas informações é útil para a integradora e os produtores de frangos de corte permitindo, por exemplo, a predição do desempenho durante o ciclo de produção. Além de, auxiliar na definição de características economicamente importantes, funciona como uma ferramenta de gestão operacional por auxiliar na tomada de decisão.

Desenvolvimento do Modelo

Banco de dados

Utilizou-se uma base de dados resultantes de um experimento desenvolvido no aviário experimental do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP, Campus Fernando Costa em Pirassununga. Avaliou-se o desempenho produtivo de frangos de corte, machos e fêmeas, da linhagem Ross 308® do período de 1 a 56 dias. Para esse estudo, foram utilizadas 255 linhas de dados gerados para ambos os sexos. Em cada linha de dados, o consumo de ração e o peso corporal foram considerados variáveis resposta e a idade variável regressora para construção dos modelos propostos.

Modelos de predição do desempenho produtivo

As variáveis peso corporal e consumo de ração em função da idade das aves foram estimadas utilizando regressão linear justificadas pelos altos valores da correlação que avaliou o grau de associação existente entre as idades para essas duas variáveis (Tabela 1 e 2). O coeficiente de correlação linear de Pearson foi calculado utilizando o procedimento PROC CORR do *software* SAS 9.0 (SAS Institute, Inc., Cary, NC). As idades com o coeficiente de correlação $\geq 0,40$ foram definidas como fortes correlações, e, portanto, foram utilizadas na construção dos modelos. As maiores correlações foram obtidas em semanas adjacentes (7, 15, 21, 27, 36, 41, 48, 56) desse modo, a idade aos 7 dias possui correlação forte com a idade aos 15 dias; a idade aos 15 correlaciona bem com a idade aos 21 dias, e assim sucessivamente. Dessa forma, a previsão do consumo de ração e do peso corporal de uma idade futura foi feita assumindo os valores preditos da

semana anterior. A predição dos modelos é iniciada com dados conhecidos de desempenho das aves aos 7 dias.

Portanto, os modelos *senalizadores*, como denominado neste estudo, preveem o consumo de ração e o peso corporal semanal de frangos de corte no período de 8 a 56 dias de idade (Tabela 3 e 4). O consumo de ração e o peso corporal foram estimados utilizando o seguinte modelo geral de regressão linear:

$$y = a + bx + \varepsilon \quad (1)$$

onde, y é o consumo de ração ou o peso corporal; a é o intercepto e b é a inclinação da reta; x é a idade das aves e ε o erro experimental.

O procedimento PROC REG do software SAS 9.0 foi utilizado para o desenvolvimento dos modelos de regressão linear para estimação do consumo de ração e do peso corporal. A significância dos coeficientes de regressão dos modelos foi testada pelo teste T. O coeficiente de determinação (R^2) e o desvio padrão do resíduo (RSD) foram usados como indicadores de qualidade do ajuste dos modelos, de acordo com os procedimentos descrito por Kaps e Lamberson (2004).

Ajuste dos dados preditos

Para explicar o crescimento ao longo do tempo utilizou-se o modelo de Gompertz (GOMPERTZ, 1925), que tem a seguinte equação:

$$y = a e^{-b e^{-k t}} + \varepsilon \quad (2)$$

em que, y é o peso corporal no tempo t (dias); a é o peso na maturidade (kg ou g); b é uma constante de integração relacionada aos pesos iniciais do animal até a idade adulta; k é o parâmetro da velocidade de crescimento (/dia); e base do logaritmo neperiano.

Os dados de consumo de ração preditos foram calculados utilizando equações polinomiais. A equação polinomial tem a seguinte forma geral:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2 + b_3 x_2 + b_4 x_2^2 + b_5 x_1 x_2 + \varepsilon \quad (3)$$

onde, y é o consumo de ração; b_0 é o intercepto, b_1, b_2, b_3, b_4 e b_5 são os coeficientes parciais do modelo, x_1 são os níveis de energia e x_2 é a idade das aves. ε é o erro experimental.

Estimação dos parâmetros

O ajuste das equações aos dados preditos foi obtido utilizando o algoritmo GRG (*Generalized Reduced Gradient*) do otimizador *solver* do Microsoft Excel®. O processo iterativo é realizado com base no método dos quadrados mínimos ordinários visando minimizar a soma dos quadrados dos resíduos (SSE) dos valores observados das variáveis dependentes daqueles previstos pelos modelos (DRAPER; SMITH, 1998).

Análise Econômica

Na aplicação da análise econômica, a receita líquida foi calculada considerando os custos com a alimentação e a receita da produção com a venda do frango vivo. No presente estudo assumiu-se que o custo com a alimentação representa 70% do custo total de produção. A receita líquida foi calculada utilizando a seguinte forma:

$$\text{Receita Líquida (R$/ave)} = ((PC \times PF) - (CR \times PR)/0,70) \quad (4)$$

onde, PC é o peso corporal (kg); PF é o preço do frango vivo (R\$/kg); CR é o consumo de ração; PR é o preço da ração (R\$/kg).

Otimização dos modelos

O programa iterativo e dinâmico foi desenvolvido em uma planilha eletrônica utilizando o Microsoft Excel® (Microsoft Corp., Redmond, WA) (Figura 2 e 3). O algoritmo GRG (*Generalized Reduced Gradient*) do otimizador *solver* foi usado no processo de otimização dos parâmetros dos modelos e da idade em que a receita líquida é maximizada. A Figura 4 mostra a representação esquemática do processo de otimização. A elaboração da planilha não linear utilizou os princípios de Vedenov e Pesti (2008).

Na simulação do desempenho produtivo, a predição dos modelos *sinalizadores* é iniciada com dados conhecidos de desempenho das aves aos 7 dias de idade, assim, um conjunto de dados é tipicamente estimado. A planilha inclui células com as estimativas dos parâmetros do modelo e a soma do quadrado dos resíduos (SSE), e permite a entrada de estimativas iniciais dos parâmetros para o ajuste dos dados as equações de crescimento e os modelos de regressão. Os erros residuais dos modelos ajustados são calculados para todas observações usando funções incorporadas no Excel. Os erros residuais são combinados no SSE que foi utilizado como célula objetivo para o módulo *solver*, visando

minimizar o seu valor alterando as células com os parâmetros dos modelos de ajuste. As saídas do processo de otimização dos ajustes dos dados são exibidas na planilha.

A simulação da análise econômica calcula a receita líquida utilizando as variáveis de mercado preço da ração (R\$/kg) e preço do frango (R\$/kg) que são inseridos na planilha. Essas variáveis de entrada podem ser personalizadas para calcular os resultados em situações específicas. No processo de otimização, a receita líquida foi utilizada como célula objetivo para o módulo do *solver*, visando maximizar o seu valor alterando a célula da idade, afim de determinar a idade em que o lucro é máximo para aquele cenário econômico.

APLICAÇÃO DO MODELO

Os dados de desempenho de frangos de corte machos e fêmeas do Guia de Manejo Ross 308® foram usados para testar os modelos descritos anteriormente. A precisão dos modelos sinalizadores foi calculada na planilha utilizando o desvio padrão (SD) (Tabela 5). Os modelos mostraram melhor previsão do peso corporal, observou-se menor variação, para essa variável dependente, entre os valores observados e ajustados, e, portanto, menores SD foram registrados. No entanto, para as duas variáveis o SD diminuiu, à medida que a idade das aves aumentou.

O método de ajuste dos modelos não-lineares proposto nesse estudo é iterativo e requer boas estimativas iniciais dos parâmetros para acelerar a convergência e encontrar o mínimo global da soma de quadrados dos resíduos (SSE), e assim, obter melhor ajuste do modelo e estimativas finais dos parâmetros. Na interface da planilha um gráfico de dispersão mostra, imediatamente, como o modelo estimado ajusta ao conjunto de dados previstos.

O ajuste da equação de Gompertz e do modelo de regressão ao conjunto de dados estimados de peso corporal e consumo de ração encontrou solução para as estimativas dos parâmetros. As estimativas dos parâmetros da equação de Gompertz para machos e fêmeas são apresentadas na Tabela 6.

Ambos modelos de regressão se ajustaram bem aos dados de consumo de ração ($R^2 = 0,99$), para machos (Eq. 4) e fêmeas (Eq. 5), como segue:

$$CR = 342,35 - 79,864 x + 6,845 x^2 - 0,054 x^3 \quad (\text{Equação 5})$$

$$CR = 227,31 - 52,569 x + 5,381 x^2 - 0,039 x^3 \quad (\text{Equação 6})$$

onde, x é a idade em dias.

Os modelos ajustados para as duas variáveis foram usados para o cálculo da receita líquida e, portanto, no processo de otimização da idade que maximiza o lucro. A Tabela 7 mostra a idade em que o lucro é maximizado e o desempenho produtivo e econômico em vários cenários utilizando combinações do preço do frango vivo (R\$/kg) e da ração (R\$/kg).

A idade de abate variou de 39 a 52 dias para machos e 33 a 43 dias para fêmeas. A receita é altamente dependente do peso corporal, assim, como resultado do dimorfismo sexual e a variabilidade do padrão de crescimento os machos apresentaram maior idade de abate em relação às fêmeas. Por outro lado, o retorno econômico máximo é obtido quando o menor custo da ração e o maior preço pago pelo frango vivo é utilizado, correspondente ao Cenário 7 para ambos os sexos, as idades de abate otimizadas foram de 52 dias para machos, e 43 dias para as fêmeas. Nesse cenário, o consumo de ração e o peso corporal foram aumentados, com base nos modelos descritos anteriormente, expressando o potencial de crescimento das aves. Por outro lado, quando o cenário é desfavorável, isso é, maior o preço da ração e menor o preço pago pelo frango vivo, representado no Cenário 3, a idade de abate é reduzida, nesse caso, a idade de abate que otimiza o retorno econômico foi de 39 dias para os machos e 33 dias para as fêmeas.

DISCUSSÃO

Um dos aspectos de medir a rentabilidade no sistema produtivo é o período de produção (KLEYN, 2002). No Brasil, o período de produção de frangos de corte é geralmente de 42 a 44 dias e o peso corporal final responde às demandas de mercado. Com a produção média de 42 dias, o ciclo produtivo pode ser repetido de 6 a 7 vezes por ano. Considerando os aspectos econômicos, o prolongamento da idade de abate pode ser visto como uma vantagem para o ganho de peso vivo e para a receita líquida, no entanto, essa situação pode reduzir a produtividade e aumentar os custos (SCHMIDT, 2008). Portanto, a idade de abate está relacionada com os custos e a receita líquida no ciclo produtivo.

O principal objetivo da planilha elaborada nesse estudo foi desenvolver um método flexível e prático de prever a saída do lote de frangos de corte que favorece o retorno

econômico. Essa abordagem deve ser aplicável em tempo real de desenvolvimento das aves sob condições de campo permitindo avaliar a eficiência econômica.

A planilha fornece estimativas de peso corporal e consumo de ração baseados em modelos preditivos. As saídas das simulações parecem ser influenciadas não apenas pelos parâmetros dos modelos sinalizadores, mas também pelo valor inicial indicado para estimar o desempenho. Sendo assim, o método permaneceu prático usando dados de entrada que são conhecidos pelo operador. O comportamento dinâmico no processo de simulação do desempenho é finalizado com o ajuste aos dados usando a otimização não linear para identificar os parâmetros dos modelos. O ajuste das curvas permite obter medidas biológicas para estimar o consumo de ração e o peso corporal que são utilizadas no cálculo da receita líquida.

A receita líquida é um índice econômico da sustentabilidade financeira de um empreendimento, e depende da relação entre a receita bruta e o custo de produção. Na avicultura de corte integrada, a receita líquida é variável e de difícil predição o que torna o resultado econômico do produtor de frangos também variável. O cálculo de remuneração do produtor é baseado no preço do frango vivo no mercado e nos resultados de desempenho produtivo obtido à campo. Como o preço do frango vivo e da ração não são estáticos e variam consideravelmente ao longo do ano, o produtor pode receber receitas diferentes em uma mesma agroindústria no mesmo período (GARCIA NETO, 2014).

A análise da otimização da receita líquida para todos os cenários econômicos propostos nesse estudo mostrou que a idade de abate dos frangos é sensível a variação dos preços de mercado (Tabela 7). É evidente que em condição de mercado favorável, o qual o preço do frango vivo é alto e o preço da ração é baixo, a idade de abate é estendida. Por outro lado, à medida que o preço do frango vivo diminui e o preço da ração aumenta a idade de abate é reduzida. Esse comportamento é nitidamente expressado nos Cenários 7 e 3, respectivamente. Contudo, o período de criação exerce impacto sob os índices produtivos, e, portanto, sob o lucro econômico.

Embora não tenha sido observado diferença na idade de abate para os Cenários 5 e 9 em ambos os sexos, a variabilidade da receita líquida observada é decorrente, principalmente, da diferença no peso corporal das aves. Em ambos os cenários a conversão alimentar foi de 1,66, no entanto, as condições de mercado no Cenário 9, favoreceram 100g de peso vivo mesmo que o custo total da ração encarecesse R\$ 0,30 em relação ao Cenário 5. Considerando esses dois cenários, se um produtor tivesse que

abater 40000 aves com 45 dias de idade, sem análise prévia de mercado, ele teria uma perda econômica de R\$ 24 mil. Embora o cálculo da receita líquida realizado seja aproximado e não incluiu todas as variáveis de custos, esse estudo destaca que o tempo de produção está relacionado à receita líquida atingível. Portanto, a eficiência econômica da produção não depende somente da demanda de mercado e do volume de produção, mas também da idade de mercado que potencializa os índices econômicos.

Além disso, a duração do período de produção exerce impacto fundamental no peso corporal, e, portanto, nos índices produtivos e nos custos da produção. Desse modo, é interessante observar, que o máximo econômico, independente do cenário de mercado estudado, não condiz com o ponto máximo da taxa de crescimento da ave, evidenciando o fenômeno dos retornos decrescentes.

Portanto, o aumento da receita não aumenta linearmente com o peso corporal, pelo contrário há um decréscimo crescente na receita, esse conceito é interpretado economicamente (GAHL et al.,1994; SALVADOR; GUEVARA, 2003; PESTI et al. 2009). Uma representação gráfica está apresentada na figura 5 para essa interpretação. A idade ideal de abate não condiz com a taxa máxima de crescimento, e após o ponto de máximo crescimento há uma diminuição do retorno econômico.

Além disso, a idade de abate é igual ao período de dias em que a receita líquida é maximizada para cada situação, em condições de mercado desfavorável ao produtor (T1; preço pago pelo frango vivo é baixo), em condições médias de mercado (T2; preço pago pelo frango vivo intermediário) e em condições de mercado favorável ao produtor (T3; preço pago pelo frango vivo é alto). Assim, esse estudo ressalta que a decisão da idade de abate deve-se basear na análise econômica prévia e deve incluir a predição de desempenho futuro quando o objetivo é maximizar o lucro.

Nesse sentido, a maioria dos estudos concentram-se em avaliar o desempenho produtivo e econômico em diferentes idades de abate. Schmidt (2008) observou que o aumento da idade impactou negativamente na conversão alimentar, aumentou a mortalidade e os custos do produtor, o autor conclui que 42 dias é a idade mais que gerou mais rentabilidade. Baeza (2011) apontaram que a receita líquida é maximizada de 35 a 49 dias, no entanto, os autores observaram que embora o rendimento da carne de frango aumenta com a idade de abate a estimativa ótima foi obtida aos 42 dias. Entretanto, estudos sobre modelos de predição da idade de abate rentável ainda são pouco investigados. Desse modo, a planilha pode auxiliar nessa necessidade indicando a idade de abate rentável de cenários econômicos pré-determinados pelo operador, além de

fornecer a predição de desempenho produtivo para personalizar os cálculos de custos e de lucro da produção.

Cabe ressaltar que, as simulações das margens de lucro apresentadas nesse estudo são de situações que a densidade de nutrientes e as condições de criação são consideradas normais a ótimas. Assim, com modelos elaborados na planilha não é possível levar em consideração amplas variações nos aspectos biológicos e econômicos que existam nos diferentes sistemas de criação. Além disso, assumiu-se o período de criação as aves de até 56 dias, como consequência, as aves apresentam alto peso corporal. Essa suposição resulta em maior taxa de mortalidade, bem como, problemas de claudicação que não foram considerados no estudo. Para futuras modificações o método poderia ser melhor explorado se a mortalidade e as condições de temperatura fossem parâmetros adicionais do modelo, já que esses fatores citados podem afetar negativamente a produtividade e o desempenho econômico.

Em conclusão, a planilha usa uma abordagem iterativa e dinâmica para determinar a idade de abate que otimiza o lucro da produção baseado no cenário econômico. Os usuários podem calcular a idade ótima de mercado e analisar a decisão de lucro máximo usando diferentes combinações de custos, função de crescimento, equação de consumo de ração e peso de mercado aceitável. Dessa forma, a planilha pode ser considerada como ferramenta de gestão capaz de explorar o efeito previsto de desempenho produtivo e econômico para os produtores de frangos de corte e pode ser útil na tomada de decisões em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAÉZA, E.; ARNOULD, C.; JLALI, M.; CHARTRIN, P. GIGAUD, V.; MERCERAND, F.; DURAND, C.; MÉTEAU, K.; LE BIHAN-DUVAL, E.; BERRI, C. Influence of increasing slaughter age of chickens on meat quality, welfare and technical and economic results. **Journal Animal Science**, v. 90, p. 2003-2013, 2011.
- CICEK, H.; TANDOGAN, M. Estimation of optimum slaughter age in broiler chicks. **Indian Journal Animal Research**, v. 50, p. 621-623, 2016.
- DRAPER, N. R., SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. 3rd ed. Wiley, New York, NY. 1998.

DUMAS, A.; DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Mathematical modelling in animal nutrition: a centenary review. **The Journal of Agricultural Science**, Canada, v. 146, n. 02, p. 123–142, 2008.

EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: HILLYER, G. M.; WHITTEMORE, C. T.; GUNN, R. G. **Computers in Animal Production. Animal Production**. London, U.K: British Society of Animal Production, 1981. p. 103–110.

GAHL, M. J.; CRENSHAW, T. D.; BENEVENGA, N. J. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six levels of lysine from three supplemental sources. **Journal Animal Science**, v.72, p.3177-3187, 1994.

GARCIA NETO, M. Modelos econômicos na produção de frangos: conceitos básicos e aplicação. In: MACARI, M.; MENDES, A. A.; MENTEN, J. F.; NAAS, I. A.; **Produção de Frangos de Corte**, Campinas: FACTA, 2014. p. 517.

GUNASEKAR, K. R. **Formulating Feeds for Broiler Performance**, 2006. Disponível em :<<http://www.thepoultrysite.com/articles/560/formulating-feed-for-broiler-performance>> Acesso em: 19 abril 2018.

GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new method of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.115, p.513-585, 1825.

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

KAPS, M.; LAMBERSON. W. **Biostatistics for Animal Science**. CABI Publishing, Wallingford, UK. 2004

KLEYN, R. **Strategies for Managing Expensive Feed on Farm**. 2002. Disponível em: <<http://spesfeed.com/?wpdmact=process&did=NDQuaG90bGluaw>>. Acesso em: 25 de fevereiro 2018.

- LEE, Y. P.; CHIANG, P. L.; HUANG, H. H. A study on the optimal marketing age of Taiwan contry chicken. **Chinese Association of Animal Science**, v. 26, p. 285-296, 1997.
- MOTULSKY, H.; CHRISTOPOULOS, A. **Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: a practical guide to curve fitting**. San Diego: GraphPad Software, 2003. p. 351
- PESTI, G.M.; VEDENOV, D.; CASON, J. A.; BILLARD. L. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, v. 50, p. 16-32, 2009.
- ROUSH, W. B.; DOZIER, W. A.; BRANTON, S. L. Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. **Poultry Science**, v. 85, p. 794-797, 2006.
- SALVADOR, E.; GUEVARA, V. Desarrollo y validación de un modelo de predicción del requerimiento óptimo de aminoácidos esenciales y del comportamiento productivo en ponedoras comerciales. **Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú**, v. 24, p. 264-276, 2013.
- SCHMIDT, G. S. The Effect of Broiler Market Age on Performance Parameters and Economics. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 10, p. 223-225, 2008.
- SZOLLOSI, L.; SZUCS, I.; NÁBRÁDI, A. Economic issues of broiler production length. **Economics of Agriculture**, v. 61, p. 633-646, 2014.
- TAYLOR, ST C.S. Live-weight growth from embryo to adult in domesticated mammals. **Animal Production** v. 31, p. 223–235, 1980.
- TOPAL, M.; BOLUKBASI, S.C. Comparison of nonlinear growth curve models in broiler chickens. **Journal Applied Animal Research.**, v. 34, p. 149-152. 2008.
- VEDENOV, D.; PESTI, G. M. A comparison of methods of fitting several models to nutritional response data. **Journal Animal Science**, v. 86, p. 500-507, 2008.
- WANG, B. Y.; CHIEN, L. H.; ROAN, S. W. POMA-BROILER: A computer simulation model to evaluate the optimal market age of broilers. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. (11), p. 2493-2502, 2012.

YASSIN, H.; VELTHUIS, A. G.; GIESEN, G. W.; OUDE LANSINK, A. G. A model for an economically optimal replacement of a breeder flock. **Poultry Science**, v. 91, p. 39271-3279, 2012

Tabela 1. Matriz da correlação de Pearson do peso corporal e do consumo de ração nas diferentes idades de frangos de corte machos.

Variável		Peso Corporal							
		7 dias	15 dias	21 dias	27 dias	36 dias	41 dias	48 dias	56 dias
		----- Coeficiente da Correlação de Pearson / (Probabilidade) ¹ -----							
Consumo de Ração	7 dias		0,96577 (0,0017)	0,72247 (0,1048)	-0,19340 (0,7135)	-0,19787 (0,7071)	-0,06383 (0,9044)	-0,43619 (0,3872)	-0,70022 (0,1213)
	15 dias	0,93404 (0,0064)		0,85050 (0,0318)	0,03219 (0,9517)	-0,22458 (0,6687)	-0,08226 (0,8768)	-0,35866 (0,4850)	-0,74536 (0,0890)
	21 dias	0,84164 (0,0356)	0,94339 (0,0047)		0,44172 (0,3805)	-0,05841 (0,9124)	0,21627 (0,6806)	0,10357 (0,8451)	-0,55042 (0,2577)
	27 dias	0,68568 (0,1326)	0,79212 (0,0603)	0,93269 (0,0066)		0,41457 (0,4137)	0,36333 (0,4789)	0,64545 (0,1663)	-0,17685 (0,7375)
	36 dias	0,25623 (0,6241)	0,31407 (0,5444)	0,57689 (0,2307)	0,78403 (0,0649)		0,83460 (0,0387)	0,74238 (0,0910)	0,01671 (0,9749)
	41 dias	0,43100 (0,3935)	0,55050 (0,2577)	0,78961 (0,0617)	0,93306 (0,0066)	0,92752 (0,0077)		0,85517 (0,0299)	0,20753 (0,6931)
	48 dias	-0,05032 (0,9246)	0,03699 (0,9445)	0,31005 (0,5498)	0,61211 (0,1965)	0,91673 (0,0101)	0,79517 (0,0586)		0,30501 (0,5566)
	56 dias	0,89076 (0,0172)	0,96456 (0,0018)	0,90927 (0,0119)	0,82456 (0,0435)	0,36612 (0,4753)	0,57308 (0,2344)	0,16853 (0,7495)	

¹Correlações acima da diagonal principal correspondem as observações de peso corporal, enquanto as correlações abaixo da diagonal correspondem a observações de consumo de ração.

Tabela 2. Matriz da correlação de Pearson do peso corporal e do consumo de ração nas diferentes idades de frangos de corte fêmeas.

		Peso Corporal							
Variável		7 dias	15 dias	21 dias	27 dias	36 dias	41 dias	48 dias	56 dias
Consumo de Ração		----- Coeficiente da Correlação de Pearson / (Probabilidade) ¹ -----							
	7 dias		0,72156 (0,1055)	0,27064 (0,6040)	0,64839 (0,1637)	0,24514 (0,6397)	-0,31149 (0,5479)	-0,45947 (0,3593)	0,03827 (0,9726)
	15 dias	0,71276 (0,1119)		0,73471 (0,0962)	0,61768 (0,1913)	0,60759 (0,2008)	-0,20691 (0,6941)	-0,69179 (0,1278)	-0,55918 (0,2486)
	21 dias	0,65863 (0,1549)	0,96447 (0,0019)		0,15687 (0,7666)	0,69516 (0,1252)	0,22621 (0,6665)	-0,24581 (0,6387)	-0,69706 (0,1238)
	27 dias	0,73078 (0,0990)	0,86798 (0,0250)	0,91649 (0,0102)		0,05226 (0,9217)	-0,59705 (0,2108)	-0,90851 (0,0122)	-0,34364 (0,5048)
	36 dias	0,32490 (0,5298)	-0,02349 (0,9648)	0,13660 (0,7964)	0,39240 (0,4416)		0,62557 (0,1840)	-0,23567 (0,6530)	-0,19278 (0,7144)
	41 dias	-0,23785 (0,6499)	-0,59678 (0,2111)	-0,43141 (0,3930)	-0,24369 (0,6417)	0,78333 (0,0653)		0,51340 (0,2976)	0,33150 (0,5210)
	48 dias	-0,49125 (0,3224)	-0,68326 (0,1346)	-0,62645 (0,1832)	-0,55874 (0,2491)	0,40256 (0,4288)	0,80574 (0,0529)		0,51694 (0,2937)
	56 dias	-0,64038 (0,1707)	-0,02697 (0,6052)	-0,38034 (0,4570)	-0,42889 (0,3961)	-0,75597 (0,0821)	-0,47771 (0,3879)	-0,14415 (0,7853)	

¹Correlações acima da diagonal principal correspondem as observações de peso corporal, enquanto as correlações abaixo da diagonal correspondem a observações de consumo de ração.

Tabela 3. Coeficientes de regressão dos modelos sinalizadores para peso corporal e consumo de ração de frangos de corte machos.

Parâmetros ¹	Peso Corporal				Consumo de Ração			
	Estimativa	SE	P-valor	R ²	Estimativa	SE	P-valor	R ²
7 - 15 dias								
Intercepto	119,36025	54,05904	0,0918	0,9327	-201,20492	131,33185	0,2009	0,8724
Efeito linear idade	2,78539	0,37404	0,0017		6,34241	1,21258	0,0064	
16 - 21 dias								
Intercepto	669,41703	93,15335	0,0020	0,7234	660,80370	90,06807	0,0018	0,8900
Efeito linear idade	0,57730	0,17850	0,0319		1,05427	0,18532	0,0047	
22 - 27 dias								
Intercepto	864,41520	688,93005	0,2779	0,1951	725,92718	263,89148	0,0513	0,8699
Efeito linear idade	0,69897	0,70981	0,3805		1,16377	0,22501	0,0066	
28 - 36 dias								
Intercepto	514,70895	2141,17621	0,8218	0,1719	240,60408	1423,17034	0,8740	0,6147
Efeito linear idade	1,26444	1,38777	0,4138		1,71967	0,68072	0,0649	
37 - 41 dias								
Intercepto	911,05996	704,39707	0,2655	0,6966	-2543,86154	1474,10137	0,1595	0,8603
Efeito linear idade	0,86552	0,28563	0,0388		1,90715	0,38426	0,0077	
42 - 48 dias								
Intercepto	-2333,82090	1820,79081	0,2692	0,7313	2685,47647	1337,96657	0,1152	0,6323
Efeito linear idade	1,97270	0,59785	0,0299		0,73510	0,28028	0,0586	
49 - 56 dias								
Intercepto	3685,91664	1009,59012	0,0218	0,0930	6165,31431	4549,48672	0,2468	0,0284
Efeito linear idade	0,17594	0,27467	0,5567		0,25115	0,73446	0,7496	

SE: Erro padrão da média; R²: Coeficiente de determinação do modelo.

¹Modelos sinalizadores: $y = a + bx$, onde y é o consumo de ração e o peso corporal, a é o intercepto, b é o efeito linear da idade e x é a idade das aves em semanas. A predição pelos modelos sinalizadores é feita para semanas adjacentes.

Tabela 4. Coeficientes de regressão dos modelos sinalizadores para peso corporal e consumo de ração de frangos de corte fêmeas.

Parâmetros ¹	Peso Corporal				Consumo de Ração			
	Estimativa	SE	P-valor	R ²	Estimativa	SE	P-valor	R ²
7 - 15 dias								
Intercepto	242,58592	129,53020	0,1344	0,5206	24,97050	235,99855	0,9208	0,5080
Efeito linear idade	1,77019	0,84928	0,1055		4,15929	2,04655	0,1119	
16 - 21 dias								
Intercepto	485,97317	195,17251	0,0675	0,5398	504,22679	86,66868	0,0043	0,9302
Efeito linear idade	0,82477	0,38077	0,0962		1,25364	0,17171	0,0019	
22 - 27 dias								
Intercepto	1208,31132	661,17758	0,1416	0,0246	413,04900	335,64077	0,2859	0,8400
Efeito linear idade	0,23113	0,72759	0,7666		1,35276	0,29524	0,0102	
28 - 36 dias								
Intercepto	2007,32754	1648,00356	0,2901	0,0027	2137,33973	1541,18129	0,2378	0,1540
Efeito linear idade	0,12161	1,16187	0,9217		0,67405	0,78999	0,4416	
37 - 41 dias								
Intercepto	1596,01089	640,05211	0,0672	0,3913	1365,58581	1234,13942	0,3306	0,6136
Efeito linear idade	0,47083	0,29359	0,1840		0,90091	0,35745	0,0653	
42 - 48 dias								
Intercepto	643,48052	2083,56077	0,7729	0,2636	-294,51399	2229,59737	0,9013	0,6492
Efeito linear idade	0,95065	0,79451	0,2976		1,35528	0,49811	0,0529	
49 - 56 dias								
Intercepto	1003,20777	2250,60211	0,6788	0,2672	8271,42474	3511,89910	0,0781	0,0208
Efeito linear idade	0,86658	0,71750	0,2937		-0,17726	0,60841	0,7853	

SE: Erro padrão da média; R²: Coeficiente de determinação do modelo.

¹Modelos sinalizadores: $y = a + bx$, onde y é o consumo de ração e o peso corporal, a é o intercepto, b é o efeito linear da idade e x é a idade das aves em semanas. A predição pelos modelos sinalizadores é feita para semanas adjacentes.

Tabela 5. Valores de consumo de ração e peso corporal observados e previstos pelas equações de predições dos modelos sinalizadores.

Idade	Machos						Fêmeas					
	Consumo de Ração (g)			Peso Corporal (g)			Consumo de Ração (g)			Peso Corporal (g)		
	Observados ¹	Preditos ²	SD ³	Observados ¹	Preditos ²	SD ³	Observados ¹	Preditos ²	SD ³	Observados ¹	Preditos ²	SD ³
7	108	125	13,41	144	186	22,37	115	130	11,32	150	185	18,92
15	485	592	17,97	522	637	18,18	504	566	10,82	503	570	11,77
21	1172	1285	8,73	971	1037	6,45	1137	1213	6,33	893	956	6,60
27	2090	2221	5,88	1543	1590	2,94	1951	2054	5,05	1386	1429	3,03
36	3835	4060	5,53	2465	2525	2,34	3452	4116	16,13	2148	2181	1,52
41	4771	5198	8,23	3045	3096	1,65	4476	5074	11,79	2604	2623	0,72
48	6192	6507	4,83	3673	3774	2,67	5682	6582	13,68	3129	3137	0,25
56	7721	7800	1,01	4332	4350	0,41	7261	7105	2,20	3713	3722	0,23

¹Valores médios observados previamente determinado em experimento com 180 aves de cada sexo;

²Valores preditos calculados de acordo com as equações dos modelos sinalizadores para consumo de ração e peso corporal;

³SD = desvio padrão;

Tabela 6. Coeficientes da equação de Gompertz para o peso corporal de frangos de corte machos e fêmeas.

Modelo Gompertz¹	Parâmetros	Machos	Fêmeas
Peso na maturidade, g	<i>a</i>	6060,37	5269,77
Crescimento relativo no PI, g/dia por g	<i>b</i>	0,048	0,046
Idade na taxa de crescimento máxima, dias	<i>k</i>	33,558	33,516
Ponto de inflexão (PI), g		2229,48	1938,64
Taxa de crescimento máxima, g/dia		89,39	108,05

¹Equação de Gompertz: $y = a e^{-b e^{-k t}}$, em que *t* é o tempo (dias).

Tabela 7. Combinações de parâmetros de preços utilizados na otimização da receita líquida e a determinação ótima da idade de abate para cada cenário.

Item	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9
Custo da ração basal (R\$/kg) ¹	0,85	0,89	0,93	0,85	0,89	0,93	0,85	0,89	0,93
Preço do frango vivo (R\$/kg) ¹	2,57	2,57	2,57	2,7	2,7	2,7	2,84	2,84	2,84
<i>Machos</i>									
Idade de abate (dias)	44	41	39	48	45	42	52	48	45
Receita Líquida (R\$/kg) ²	1,95	1,66	1,40	2,41	2,08	1,78	2,95	2,57	2,23
Consumo de Ração (g) ³	5475,67	4870,96	4293,61	6150,01	5520,40	4941,38	6932,25	6215,24	5608,45
Peso Corporal (g) ³	3347,41	3055,04	2763,03	3658,21	3368,51	3089,78	4000,97	3687,48	3409,84
Conversão Alimentar	1,656	1,616	1,578	1,701	1,659	1,621	1,751	1,705	1,665
<i>Fêmeas</i>									
Idade de abate (dias)	38	35	33	41	38	36	43	41	38
Receita Líquida (R\$/kg)	1,343886	1,14	0,96	1,66	1,43	1,22	2,04	1,77	1,54
Consumo de Ração (g)	3819,63	3342,96	2870,39	4317,18	3853,91	3399,58	4817,54	4362,70	3920,94
Peso Corporal (g)	2327,63	2097,13	1858,08	2557,03	2343,80	2125,06	2776,48	2577,45	2375,26
Conversão Alimentar	1,671	1,627	1,581	1,717	1,674	1,632	1,762	1,721	1,680

¹Preços de referência do custo da ração e do preço do frango vivo foram obtidos do mês de outubro de 2015 de acordo com o Avisite. ²Receita líquida foi calculada a partir da seguinte equação: $RL = ((\text{Peso Corporal} \times \text{Preço do frango vivo}) - (\text{Consumo de ração} \times \text{Custo da ração}) / 0,70)$. ³Consumo de ração e Peso Corporal foram estimados utilizando os modelos de regressão e Gompertz, respectivamente.

Figura 1. Representação esquemática da planilha de predição da idade de abate de frangos de corte

Figura 2. Visão geral da simulação dos dados de desempenho e ajuste das curvas.

Figura 3. Visão geral da otimização da receita líquida e da idade de abate.

Figura 4. Fluxograma do processo de otimização do lucro e da determinação da idade de abate.

Figura 5. Representação gráfica da taxa de crescimento máxima e do retorno econômico para a idade de abate em situação de mercado desfavorável ao produtor (T1), em situação de mercado mediana (T2) e em situação de mercado favorável (T3).