

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA AVES DE
POSTURA EM CRESCIMENTO**

José Anchieta de Araujo

Licenciado em Ciências Agrárias

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA AVES DE
POSTURA EM CRESCIMENTO**

José Anchieta de Araujo

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

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2012

A663m Araujo, José Anchieta de
Modelagem das exigências de lisina para aves de postura em
crescimento / José Anchieta de Araujo. – – Jaboticabal, 2012
xii, 92 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientadora: Nilva Kazue Sakomura
Banca examinadora: José Humberto Vilar da Silva, Fernando
Guilherme Perazzo Costa, Luciano Hauschild, Alex Sandro Campos
Maia
Bibliografia

1. Aminoácidos. 2. Balanço de nitrogênio. 3. Dose resposta. 4.
Frangas de reposição. 5. Método fatorial. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.5:636.087

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

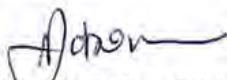
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA AVES DE POSTURA EM CRESCIMENTO

AUTOR: JOSÉ ANCHIETA DE ARAUJO

ORIENTADORA: Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. FERNANDO GUILHERME PERAZZO COSTA

Departamento de Zootecnia / Universidade Federal Da Paraíba / Areia/PB



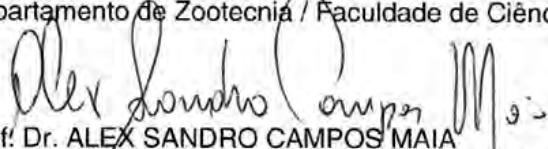
Prof. Dr. JOSE HUMBERTO VILAR DA SILVA

Departamento de Zootecnia / Universidade Federal Da Paraíba / Bananeiras/PB



Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 18 de junho de 2012.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOSÉ ANCHIETA DE ARAUJO – filho de José Antônio de Araujo e Rita Maria da Costa Araujo, nasceu em 22 de abril de 1982 na cidade de Santa Luzia, microrregião homogênea do Seridó Ocidental Paraibano, Brasil. Em 2002 concluiu o ensino médio na Escola Estadual do Ensino Fundamental e Médio Padre Jerônimo Lauwen. Em abril de 2003 iniciou o curso de Ciências Agrárias (Licenciatura Plena) no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, obtendo o título de Licenciado em Ciências Agrárias em janeiro de 2007. Durante a graduação foi bolsista do Programa de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/UFPB) por dois anos e monitor concursado da disciplina “Caprinocultura”, por seis meses. Em março de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, sob a orientação do Prof^o. José Humberto Vilar da Silva, concentrando seus estudos na área de Produção Animal, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2009, obtendo o título de Mestre em Zootecnia. Em março de 2009, ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal – SP, sob a orientação da Prof^a. Nilva Kazue Sakomura, submetendo-se à defesa de tese em junho de 2012.

“Cachingando, cego e surdo
Sem ver e sem está ouvindo
pra mim não é absurdo.
Vou meu caminho seguindo.

Nunca pensei em morrer
Quem morre cumpre um dever.
Quando chegar o meu fim
Eu sei que a terra me come,
mas fica vivo o meu nome
para os que gostam de mim.”

Patativa do Assaré

Aos meus pais,
José Antônio de Araujo e Rita Maria da Costa Araujo.
Aos meus avós,
João Antônio de Araujo (*in memoriam*) e Izabel Feitosa de
Araujo (*in memoriam*),
Assis Paulino da Costa (*in memoriam*) e Maria das Dores
Nóbrega Costa.
E a sociedade brasileira que indiretamente finaciou toda
minha vida acadêmica.

Dedico

A todos os meus familiares,
a minha noiva e aos meus amigos.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força proporcionada, nos momentos de dificuldades.

À toda a minha família, em especial ao meu avô Assís, que faleceu durante a redação final deste trabalho.

À minha orientadora Professora Nilva Kazue Sakomura, pela oportunidade, confiança e amizade que me foram dadas em todos os momentos.

À FCAV-UNESP e ao programa de Pós-graduação em Zootecnia pela oportunidade de realização do curso.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento dos estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Granja Planalto – Uberlândia – MG, pela doação dos animais para a realização dos experimentos.

Ao professor José Humberto Vilar da Silva, pelos preciosos ensinamentos e por ter me iniciado nas atividades científicas.

Aos membros da banca do exame de qualificação, professores Luciano Hauschild, Kleber Tomás de Resende, Alex Sandro Campos Maia e Nelson José Peruzzi, pelos conselhos e sugestões manifestados no exame.

Aos colegas do Setor de Avicultura da UNESP, Luciano Hauschild, Juliano (Kakareco), Ana Carolina, Bruna Agy, Daniella Donato, Iris Mayumi, Katiani Venturini, Miryelle Sarcinelli, Melina Bonato, Roberto Veloso, Danilo Makino, Giuliana Milan, Jaqueline (Bituka), Jaqueline (Dako), Marco Antônio, Juliano (Cepacol), Joyce Sato, Hilda Cristina, Inez Carneiro, Sandra Pinheiro, Nei André e ao parceiro Jefferson Siqueira, pelo companheirismo e eficiência nos trabalhos desenvolvidos em equipe.

Aos funcionários do Setor de Avicultura da UNESP, Robson, Izildo e Vicente, pelo imprescindível apoio logístico, pelos valiosos ensinamentos e pela agradável convivência.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia em especial Adriana e Moisés, pela atenção, paciência e presteza.

Aos funcionários da fábrica de ração, Sr. Oswaldo, Helinho e Sandra, pelo auxílio na fabricação das dietas experimentais.

Aos amigos da República Nordeste, Thiago (Baiano), Anderson (Bitoka), Carlão, Sammy Sidney, Christiano Arraes, Cleber Franklin, Davi Nogueira, foram discussões, festas, estudos, mas em todos os momentos vocês foram minha família.

Aos amigos e companheiros de pós-graduação, Marcus (Tocantins), Hélio (Vei Safado), Leandro Galzerano, Wedson Carlos, Nailson Lima, Lilian Arantes, Antonio Junior (Beijo), João Paulo, Anibal Coutinho, Fabricio Hirota, André Preto, Rosiane Silva, vou ter muitas saudades de vocês e também dos churrascos.

Aos companheiros da República dos Fei, Marcelo Maia, Wilton Ladeira, Marcos Gonçalves, Gregue Caputti e Moacir, sem vocês a vida aqui teria sido mais difícil.

À Edney Pereira da Silva, o fei mais gente boa que já tive o prazer de conhecer. Obrigado pela amizade e companheirismo. Foi uma fase difícil, mas passou e você me ajudou muito, me ensinou a ver ciência e o mundo com outros olhos.

À Wilson do bar, parceiro obrigado pela amizade e confiança. Sempre que eu estiver em Jaboticabal passarei no bar para comer aquela costela na brasa.

À Ceila Mendonça Alves, não sei o que dizer de você, afinal você enche de luz meus espaços, cuida da minha vida quando me desequilibro... Então digo MUITO OBRIGADO POR TUDO MEU ANJO!

À Empresa Ajinomoto Biolatina Indústria e Comércio Ltda., pela doação de aminoácidos cristalinos e pela realização de aminogramas, fatores fundamentais para a realização deste trabalho.

À Empresa Nutron Alimentos Ltda., pela doação dos suplementos mineral e vitamínico, utilizados nas na fabricação das dietas experimentais.

Aos atuais colegas de trabalho, Priscila Mesquita, Suelen Brito, Kedma Nayra, Késia Kelly, Gilberto Borges, Fábila (UEPA), que contribuíram com amizade e apoio.

À todos aqueles que auxiliaram na minha formação profissional e que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

	Página
LISTA DE ABREVEATURA.....	iv
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO.....	xi
SUMMARY	xii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
Introdução	1
A lisina como aminoácido referência para proteína ideal.....	3
Método dose-resposta e eficiência de utilização dos aminoácidos	5
Modelo fatorial com base em ensaios de balanço de nitrogênio.....	7
Modelos matemáticos para prever as exigências de aminoácidos para aves.....	10
Referências	14
CAPÍTULO 2 – RESPOSTAS DE FRANGAS DE REPOSIÇÃO A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA	21
Resumo.....	21
Summary.....	22
Introdução	23
Material e Métodos.....	24
Resultados e Discussão.....	31
Experimento 1 – Fase inicial (2 a 6 semanas de idade)	31
Experimento 2 – Fase de cria (8 a 12 semanas de idade)	34
Experimento 3 – Fase de recria (14 a 18 semanas de idade)	37
Conclusões	42
Referências.....	42
CAPÍTULO 3 – EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA MAXIMIZAR A DEPOSIÇÃO DE PROTEÍNA EM FRANGAS DE REPOSIÇÃO.....	47
Resumo.....	47

Summary.....	48
Introdução	49
Material e Métodos.....	50
Instalações e manejo experimental	50
Dietas experimentais	51
Análises laboratoriais.....	53
Modelagem e análises estatísticas	53
Resultados e Discussão.....	54
Exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) e máximo teórico diário de retenção de nitrogênio ($NR_{max}T$).....	54
Modelagem para estimar as exigências de lisina para poedeiras em crescimento	58
Conclusões	62
Referências	62
CAPÍTULO 4 – MODELOS DE PREDIÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DIGESTÍVEL PARA AVES DE POSTURA EM CRESCIMENTO.....	67
Resumo.....	68
Summary.....	69
Introdução	70
Material e Métodos.....	70
Descrição dos modelos	70
Parâmetros para elaboração dos modelos	73
Estimativa de parâmetros e curvas de crescimento do corpo e das penas de aves de postura.....	75
Determinação das exigências de lisina com base nos modelos	75
Avaliação dos modelos	76
Resultados e Discussão.....	76
Elaboração dos modelos	76
Parâmetros e crescimento corporal e das penas.....	79
Estimativas das exigências de lisina pelos modelos.....	81
Avaliação dos modelos	84

Conclusões	88
Referências	88
CAPÍTULO 5 – IMPLICAÇÕES	92

LISTA DE ABREVIATURAS

- AA – Exigência de aminoácido digestível
- AAc – Conteúdo do aminoácido na proteína corporal
- AA_c – Proporções de aminoácidos na proteína corporal
- AA_m – Proporções de aminoácidos na proteína de manutenção
- AA_{mc} – Exigência de aminoácido para a manutenção da proteína do corpo depenado
- AA_p – Conteúdo do aminoácido na proteína das penas
- AA_p – Proporções de aminoácidos na proteína das penas
- AIC – Critério de Akaike
- b – Inclinação da curva de retenção de nitrogênio
- B – Taxa de maturação
- bc⁻¹ – Inclinação entre a concentração LAA (c) e qualidade da proteína alimentar (b)
- BL – Broken line
- BLQ – Broken line com ascendência quadrática
- CA – Conversão alimentar
- CLis – Consumo de lisina
- CP – Coeficiente da proteína necessário para manutenção
- CR – Consumo de ração
- CV – coeficiente de variação
- DGC – Deposição de gordura corporal
- DLisC – Deposição de lisina no corpo empenado
- DPB_c – Deposição de proteína no corpo depenado
- DPB_c – Deposição de proteína no corpo depenado
- DPBC – Deposições de proteína corporal
- DPB_p – Deposição de proteína nas penas
- DPB_p – Deposição de proteína nas penas
- e – Número de Euler
- EXP – Exponencial

G – Ganho

GP – Ganho de peso

k – Eficiência de utilização da lisina para deposição corporal

LAA – Exigências do aminoácido limitante

LAAI – Ingestão do primeiro aminoácido limitante da dieta

Lis – Lisina

Lis_m – Exigência de lisina digestível para manutenção

M-1 – Modelo 1

M-2 – Modelo 2

N – Nitrogênio

ND_{max}T – Máximo potencial teórico de deposição de proteína

NEX – Nitrogênio excretado

NI – Ingestão de nitrogênio

NMR – Coeficiente de exigência de manutenção em nitrogênio

NR – Nitrogênio retido

NR_{max}T – Máximo potencial teórico de retenção de nitrogênio

P – Peso

P₀ – Peso da variável no nascimento

PB_c – Proteína bruta na carcaça

PB_m – Peso de proteína corporal à maturidade

PB_p – Proteína bruta nas penas como fração do ganho de peso

PD_{max} – Máximo potencial genético de deposição de proteína

PP – Peso de proteína das penas

PV – Peso vivo

QUAD – Quadrático

R² – Coeficientes de determinação

t – Tempo

u – Grau de maturidade da proteína

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 2 – RESPOSTAS DE FRANGAS DE REPOSIÇÃO A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA	21
Tabela 1. Médias ($\pm$ erros padrão) das temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas registradas diariamente no galpão experimental, de acordo com a fase de criação	25
Tabela 2. Dietas formuladas pela técnica da diluição para se obter níveis crescentes de lisina digestível para frangas de reposição de 2 a 6 semanas de idade	28
Tabela 3. Dietas formuladas pela técnica da diluição para se obter níveis crescentes de lisina digestível para frangas de reposição de 8 a 12 semanas de idade	29
Tabela 4. Dietas formuladas pela técnica da diluição para se obter níveis crescentes de lisina digestível para frangas de reposição de 14 a 18 semanas de idade	30
Tabela 5. Consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLis), ganho de peso GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição na fase inicial (2 a 6 semanas de idade)	32
Tabela 6. Equações ajustadas e ingestão de lisina digestível estimada (CLis) por diferentes modelos para frangas de reposição na fase inicial (2 a 6 semanas)	33
Tabela 7. Consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLis), ganho de peso GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição na fase de cria (8 a 12 semanas de idade)	35

Tabela 8. Equações ajustadas e ingestão de lisina digestível estimada (CLis) por diferentes modelos para frangas de reposição na fase de cria (8 a 12 semanas de idade).....	35
Tabela 9. Consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLis), ganho de peso GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição na fase de recria (14 a 18 semanas de idade).....	38
Tabela 10. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (CLys) por diferentes modelos para frangas de reposição na fase de recria (14 a 18 semanas de idade).....	38
Tabela 11. Exigências de lisina digestível para frangas de reposição determinadas em mg por dia (mg/dia), porcentagem em função do consumo de ração médio (% por dia) e porcentagem por Mcal de energia metabolizável da ração..	40
CAPÍTULO 3 – EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA MAXIMIZAR A DEPOSIÇÃO DE PROTEÍNA EM FRANGAS DE REPOSIÇÃO.....	47
Tabela 1. Composição percentual das dietas experimentais	52
Tabela 2. Perfil aminoacídico da proteína dietética das rações	53
Tabela 3. Médias para peso vivo (PV, g/ave) ingestão de nitrogênio (NI, mg/PV _{kg} ^{0,67} /dia), nitrogênio excretado (NEX, mg/PV _{kg} ^{0,67} /dia) e nitrogênio depositado (ND, mg/PV _{kg} ^{0,67} /dia) nos períodos I, II e III.....	55
Tabela 4. Peso vivo (PV, g), exigência de nitrogênio para manutenção (NMR, mg/PV _{kg} ^{0,67} /dia) e máximo teórico de retenção de nitrogênio (NR _{maxT} , mg/PV _{kg} ^{0,67} /dia) de acordo com a idade.....	57
Tabela 5. Exigência de lisina (Lis) digestível de frangas de reposição (Dekalb White) em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína, consumo de ração e peso ⁽¹⁾ vivo corporal.....	59
Tabela 6. Exigência de lisina (Lis) digestível de frangas de reposição (Dekalb White) em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína, consumo de ração e peso ⁽¹⁾ vivo corporal.....	60

Tabela 7. Exigência de lisina (Lis) digestível de frangas de reposição (Dekalb White) em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína, consumo de ração e peso ⁽¹⁾ vivo corporal.....	61
CAPÍTULO 4 – MODELOS DE PREDIÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DIGESTÍVEL PARA AVES DE POSTURA EM CRESCIMENTO.....	67
Tabela 1. Eficiência de utilização da lisina (k) para deposição protéica para diferentes fases de crescimento para aves de postura em crescimento.....	78
Tabela 2. Estimativas dos parâmetros das equações de Gompertz para peso vivo, proteína no corpo depenado e proteína das penas para frangas de reposição da linhagem Dekalb White	79
Tabela 3. Exigências de lisina (Lis) digestível para frangas de reposição da linhagem Dekalb White estimadas com base em modelos de predição	81
Tabela 4. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo e nas penas obtidos em estudos com frangas de reposição de duas linhagens conduzidos no Setor de Avicultura da FCAV/UNESP/Jaboticabal	85
Tabela 5. Exigências de lisina (Lis) digestível para duas linhagens comerciais de frangas de reposição estimadas com base em modelos de predição e obtidas com o manual das linhagens de postura	86

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 3 – EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA MAXIMIZAR A DEPOSIÇÃO DE PROTEÍNA EM FRANGAS DE REPOSIÇÃO.....	47
Figura 1. Estimativa das exigências de nitrogênio para manutenção (NMR) determinados apartir de funções exponenciais entre ingestão de nitrogênio e excreção de nitrogênio para frangas de reposição em diferentes períodos (I, II e III).	56
Figura 2. Estimativa da $ND_{max}T$ de frangas de reposição, com base na relação entre o nitrogênio ingerido e o nitrogênio depositado (balanço de nitrogênio) em diferentes periodos de idade (I; II e III).	58
CAPÍTULO 4 – MODELOS DE PREDIÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DIGESTÍVEL PARA AVES DE POSTURA EM CRESCIMENTO.....	67
Figura 1. Diagrama esquemático do Modelo 1.....	71
Figura 2. Diagrama esquemático do Modelo 2.....	72
Figura 3. Regressão linear da deposição de lisina corporal (DLisC) pelo ganho de peso (GP) de franga de reposição de 1 a 126 dias de idade.	77
Figura 4. Representação gráfica do peso corporal (PC_t ; A) e do ganho de peso (GP; B) de frangas de reposição da linhagem Dekalb White, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 2.	80
Figura 5. Representação gráfica do peso de proteína do corpo depenado (PPB_{ct}) e peso de proteína das penas (PPB_{pt}) (A) e deposição de proteína no corpo depenado (DPB_c) e nas penas (DPB_p) (B) de frangas de reposição da linhagem Dekalb White, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 2.....	80
Figura 6. Exigências de lisina digestível de frangas de reposição (Dekalb White) obtidas através de modelos de predição.....	82

- Figura 7. Exigências de lisina digestível de frangas de reposição em diferentes fases de criação, estimadas com base no método dose resposta e nos modelos de predição.....83
- Figura 8. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangas de reposição de duas linhagens comerciais (A = Hy Line W36 e B = Hisex Branca) estimadas por modelos de predição com base em dados de estudos conduzidos no Setor de Avicultura da FCAV/UNESP/Jaboticabal e determinadas com base no manual das linhagens de postura.87

MODELAGEM DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA AVES DE POSTURA EM CRESCIMENTO

RESUMO – Cresce o interesse pela elaboração de modelos capazes de estimar exigências de frangas de reposição de diferentes genótipos e idades mantidas sob diferentes condições de criação. Assim, os objetivos deste trabalho foram: (1) estimar as exigências de lisina digestível para frangas de reposição nas fases inicial (2 a 6 semanas de idade), cria (8 a 12 semanas de idade) e recria (14 a 18 semanas de idade) com base no método dose resposta; (2) estabelecer exigências de lisina para frangas de reposição em função da deposição de proteína, eficiência de utilização de lisina e idade; (3) elaborar modelos de predição para estimar as exigências de lisina digestível para aves de postura em fase de crescimento. Para atender o objetivo (1), foram ajustados modelos matemáticos às respostas de ganho de peso, conversão alimentar e deposição de proteína e gordura corporal em função da ingestão de lisina. Para o objetivo (2), foram realizados três ensaios utilizando 144 frangas Dekalb White. O nitrogênio ingerido, excretado e depositado foram obtidos pelo balanço de nitrogênio. No objetivo (3) foram utilizadas respostas de ingestão e deposições de lisina e informações do crescimento do corpo e penas. Concluiu-se que: (1) recomendam-se 188; 274 e 258 mg de lisina para frangas de reposição nas fases inicial, cria e recria, respectivamente; (2) considerando a porcentagem média da deposição proteica, recomenda-se consumos de lisina, de 225, 312 e 283 mg/dia para os ensaios I, II e III, respectivamente e (3) os modelos de predição alcançaram os objetivos para os quais foram elaborados, proporcionando estimativas compatíveis com as obtidas no manual das linhagens.

Palavras-chave: aminoácidos, balanço de nitrogênio, dose resposta, frangas de reposição, método fatorial

MODELING LYSINE REQUIREMENTS OF FOR PULLETS

SUMMARY – There is a growing interest in developing models capable of predicting requirements of replacement pullets of different ages and genotypes kept under different husbandry conditions. The objectives of this study were: (1) estimate the digestible lysine requirements for replacement pullets in the initial stages starter (2 - 6 weeks), grower (8 - 12 weeks) and developer (14 - 18 weeks) based on dose-response method, (2) establish lysine requirements for replacement pullets on the basis of protein deposition efficiency of lysine utilization and age, (3) develop predictive models to estimate the digestible lysine requirements for laying hens in the growth phase. To meet the objective (1), mathematical models were fitted to the responses of weight gain, feed conversion and deposition of protein and fat as a function of lysine intake. For the purpose of (2), three trials were conducted using 144 Dekalb White pullets. The nitrogen ingested, excreted and deposited were obtained by the nitrogen balance. For objective (3) responses were used for lysine intake and depositions and information growth and body feathers. It was concluded that: (1) recommend to 188; 274 and 258 mg of lysine for replacement pullets in the initial stages, rearing, respectively, (2) considering the average percentage of protein deposition, recommended intakes of lysine, 225, 312 and 283 mg/day for tests I, II and III, respectively, and (3) the prediction models achieved the goals for which they were developed, providing estimates compatible with those obtained in manual of the strains.

Keywords: amino acids, dose response, factorial method, nitrogen balance, replacement pullets

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução

A proteína é considerada um dos principais nutrientes presentes nas dietas de aves, pois é importante no desempenho dos animais, apesar do elevado custo. Para DALE (1994), a proteína dietética influencia o desempenho dos animais e sua eficiência de utilização é dependente da quantidade, da composição e da digestibilidade de seus aminoácidos, os quais são exigidos em níveis específicos pelas aves.

A síntese de uma proteína específica ocorre adequadamente quando os aminoácidos que a compõem estão simultaneamente disponíveis nos sítios citoplasmáticos. Aves alimentadas com dietas deficientes em aminoácidos essenciais podem sintetizar proteínas corporais somente se o aminoácido limitante para tal síntese for disponibilizado por meio da degradação de proteínas ou peptídeos já presentes no organismo (HRUBY, 1998). Se isso não ocorre, os aminoácidos em excesso são desaminados, enquanto o nitrogênio é excretado levando a um gasto indesejável de energia e afetando o desempenho das aves. Por outro lado, dietas com balanço adequado de aminoácidos promovem a maximização do desempenho e reduzem a excreção de nitrogênio, trazendo benefícios econômicos e ambientais para a atividade.

Atualmente o conceito de proteína ideal é considerado o mais apropriado para balancear os aminoácidos das dietas, referindo-se ao fornecimento “exato” de aminoácidos, capaz de prover sem excesso ou falta às necessidades de todos os aminoácidos essenciais, expressando-os como porcentagem da lisina (HAN & BAKER, 1994; KIDD et al., 1997). A fundamentação para o uso desse conceito relaciona-se ao fato de que a relação entre a lisina e os outros aminoácidos essenciais permanece, em grande parte inalterada, apesar de uma série de fatores dietéticos, ambientais e genéticos afetarem as exigências de aminoácidos (BAKER & HAN, 1994). Esse

conceito, inicialmente considerado teórico, adquiriu importância do ponto de vista prático com o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a produção de aminoácidos cristalinos em escala industrial.

A lisina, considerada o segundo aminoácido limitante para aves, está envolvida principalmente na síntese de proteínas musculares, e participa em menores proporções de outros processos metabólicos (BAKER & HAN, 1994). A lisina é considerada como aminoácido referência em dietas formuladas pelo conceito de proteína ideal por ser o primeiro aminoácido limitante na maioria das dietas para suínos e o segundo, depois dos aminoácidos sulfurosos, para aves. Além disso, este aminoácido encontra-se disponível na forma cristalina para ser utilizada nas rações práticas dos animais e sua análise laboratorial é simples e direta.

Os fatores biológicos e econômicos que contribuem para a lucratividade do sistema de produção avícola são diversos e apresentam interações. Tal complexidade e não linearidade de fatores é mais eficientemente analisada com o uso de modelos matemáticos, que permitem a predição do comportamento do sistema como resposta a este número de fatores. Os modelos matemáticos se tornaram uma área importante na nutrição animal. Para IVEY (1999), os modelos de predição estão se tornando uma parte comum do manejo animal, isso tem se tornado possível devido à velocidade tecnológica dos computadores, esforços para programação e o incentivo a pesquisa nesta área.

Segundo SAKOMURA (2005), modelos para determinar as exigências nutricionais, facilitam o estabelecimento de programas de alimentação para aves de diferentes linhagens comerciais, criadas em diferentes condições climáticas e diferentes estágios de produção. Atualmente existem programas usados na produção de aves que usam os valores nutricionais e o custo dos ingredientes juntamente com o lucro esperado e os convertem em formulações de ração que minimizam os custos da alimentação na empresa avícola. Na maioria das vezes, o modo como estes modelos funcionam ainda é um mistério para o usuário (IVEY, 1999). Todavia, o sucesso no uso de modelos depende quase que exclusivamente do entendimento por parte do usuário das limitações do modelo adotado.

Tendo em vista a importância da lisina na nutrição de aves é imprescindível à realização de novos estudos que possibilitem a elaboração de modelos que permitam determinar com maior precisão as exigências deste aminoácido para aves de postura. Visando dar continuidade a estudos nesta temática, o presente trabalho tem como proposta estimar as exigências de lisina digestível e suas eficiências de utilização para aves de postura nas fases inicial (1 a 6 semanas), cria (7 a 12 semanas) e recria (13 a 18 semanas) com base no método dose-resposta e elaborar modelos de predição das exigências deste aminoácido para aves de postura com base no método fatorial.

A lisina como aminoácido referência para proteína ideal

Durante muitos anos, as formulações de rações para monogástricos foram baseadas no conceito de proteína bruta, o que resultou em dietas com conteúdo de aminoácidos acima do exigido pelos animais BARBOSA et al. (1999b). Com o advento da fabricação industrial de lisina (L-lisina.HCl) e metionina (DL-metionina), pela indústria, as dietas passaram a ser formuladas com menor nível protéico e com níveis de aminoácidos mais próximos das necessidades das aves (BERTECHINI, 2006; JORDÃO FILHO et al., 2006b). As formulações de rações com base apenas na proteína bruta podem subestimar ou superestimar o conteúdo de aminoácidos e, assim, reduzir o desempenho dos animais, além de onerar os custos da ração (BARBOSA et al., 1999b; BARBOSA et al., 1999a).

A formulação de rações com base em aminoácidos digestíveis tem se consolidado na nutrição animal, representando avanço em relação à formulação de rações com base em aminoácidos totais, em virtude da maior segurança dos resultados nos ensaios, com deposição de proteína mais eficiente a custo mais baixo (SILVA et al., 2000). Normalmente, a formulação de rações para aves está, geralmente, condicionadas aos níveis nutricionais preconizados pelas tabelas e manuais de criação, a partir de informações obtidas de forma isoladas, podendo não ser tão eficientes na otimização do desempenho das aves quanto àquelas estimadas com base na relação dos aminoácidos essenciais (SILVA et al., 2005).

Na década de 40, MITCHELL & BLOCK (1946) propuseram que o fornecimento excessivo de aminoácidos na dieta não seria prejudicial para o crescimento de ratos, mas o aminoácido que apresentasse menor concentração seria o limitante para o seu crescimento. Naquele momento o conceito foi mais teórico do que prático, porém serviu como base para a idealização do conceito da proteína ideal que passou a ser adotado na formulação de rações a partir década de 60. De acordo com BERTECHINI (2006), a proteína ideal refere-se a dietas que possuem o perfil de aminoácidos nas proporções exatas das necessidades dos animais. Supõe-se que todos os aminoácidos neste caso, sejam utilizados por completo para a biossíntese dos tecidos.

Entretanto, considerando que as despesas com rações somam cerca de 70% dos custos variáveis de criação de aves e suínos e que a adição de aminoácidos na forma livre ou por intermédio da proteína intacta concorre, aproximadamente, com um quarto deste valor, o preço final das rações e o retorno financeiro com a produção comercial de carne e ovos podem ser afetados pelo nível de aminoácidos da ração (SILVA et al., 2000). Com isso faz-se necessário um manejo alimentar que relacione todos os aminoácidos para reduzir excessos desnecessários.

Existem inúmeros fatores que afetam as exigências de aminoácidos nos animais; dentre os quais se podem destacar: fatores dietéticos como densidade calórica, proteína da ração, idade, genética e ambiente climático. Combinar todos esses fatores e achar soluções práticas a partir de experimentos do tipo dose-resposta para os aminoácidos é uma tarefa potencialmente impossível (SILVA et al., 2005). Pensando nisto, os nutricionistas desenvolveram proporções ideais de aminoácidos essenciais em relação à lisina, como base para calcular as especificações da dieta. Portanto, a proteína ideal refere-se à relação da lisina com os demais aminoácidos. Desse modo, o uso de aminoácidos digestíveis reduz os custos com alimentação e controla, de certa forma a poluição ambiental.

O conceito de proteína ideal, sugerido para uso na nutrição animal, estabelece que todos os aminoácidos essenciais sejam expressos em proporções ideais a um padrão. A lisina é o aminoácido de referência no conceito de proteína ideal, em virtude das seguintes características: constitui o segundo aminoácido limitante para aves e o

primeiro para suínos (BARBOSA et al., 1999a), apresenta baixo custo de suplementação (JORDÃO FILHO et al., 2006a), tem muitos estudos concluídos e é o aminoácido menos tóxico (BERTECHINI, 2006), sua análise nos alimentos é relativamente simples, diferente do triptofano e dos aminoácidos sulfurados (BAKER & HAN, 1994) e principalmente, por ser utilizada exclusivamente para acréscimo de proteína corporal, em contraste com a metionina+ cistina por exemplo, que é utilizada por diferentes caminhos metabólicos, como manutenção e plumagem (PACK, 1995).

O conhecimento das exigências nutricionais de lisina durante todos os estágios de vida do animal torna-se imprescindível, pois, a atualização das exigências dos outros aminoácidos pode ser ajustada mantendo o padrão de relacionamento com a lisina (SILVA et al., 2005). Assim, com a exigência de lisina atualizada e com as relações ideais adotadas é possível para o pesquisador e/ou técnico calcular a composição química dos demais aminoácidos usados na dieta. É por isso, que a atualização das exigências de lisina é uma forma simples e pertinente de fazer a reavaliação das exigências dos aminoácidos, em virtude de possibilitar a aplicação do conceito de proteína ideal podendo definir com segurança o balanceamento adequado nas fórmulas das rações.

Método dose-resposta e eficiência de utilização dos aminoácidos

Métodos empíricos são fundamentados na descrição quantitativa de variáveis produtivas ou indicadores metabólicos, em resposta ao aumento da concentração de um aminoácido limitante na dieta, correspondendo aos tradicionais estudos dose resposta. Nestes estudos as exigências equivalem à quantidade de aminoácido fornecida a partir da qual as respostas das aves se estabilizam (ROBBINS, 1979; GOUS, 1998; MOUGHAN & FULLER, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007)

É amplamente aceito que as concentrações ótimas de aminoácidos nas dietas para as aves podem variar em função de fatores como potencial genético, idade, sexo, temperatura ambiente, níveis nutricionais, fontes de energia e proteína, condições sanitárias e de manejo (BAKER & HAN, 1994; ROSTAGNO et al., 1999; SAKOMURA &

ROSTAGNO, 2007), além de sofrerem influência direta do modelo matemático utilizado na descrição das respostas (PESTI et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2009). Com base nisso, as estimativas das exigências de aminoácidos obtidas a partir de estudos dose resposta serão apropriadas somente para condições semelhantes às aquelas em que os experimentos foram realizados (OVIEDO-RONDÓN & WALDROUP, 2002; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

De acordo com SAKOMURA & ROSTAGNO (2007), o método dose-resposta determina as exigências com base na resposta de desempenho dos animais alimentados com dietas contendo níveis crescentes do nutriente estudado. Essa resposta devido às diferenças entre os animais (manutenção e potencial de crescimento) é curvilínea (CURNOW, 1973; FISHER et al., 1973; PESTI & MILLER, 1997). O formato da curva pode variar de acordo com critérios de respostas adotados e com a variabilidade entre os animais. De maneira geral, esse método possibilita descrever leis de respostas de populações. Adicionalmente, este tipo de curva permite uma melhor estimativa do nível do nutriente para uma população baseado em aspectos técnicos e econômicos (SAKOMURA et al., 2011).

Por ser prático e de fácil execução o método dose-resposta, tem sido a base para a elaboração de tabelas de exigências nutricionais como Nutrient Requirements of Poultry (NRC, 1994) e Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2000; 2005; 2011). Entretanto, fatores como ambiente e genética afetam a determinação das exigências, dificultando o estabelecimento dos níveis nutricionais, sendo necessário repetir as pesquisas em diferentes condições para melhor definição das exigências (SAKOMURA, 2005; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

A exigência dos aminoácidos para o crescimento pode ser definida com base na composição de aminoácidos da proteína corporal e nas eficiências de utilização dos aminoácidos da dieta para a deposição corporal. As eficiências de utilização dos aminoácidos podem ser obtidas em ensaios dose-resposta pela regressão linear da deposição corporal dos aminoácidos em função da ingestão dos mesmos. O coeficiente de inclinação da reta representa a eficiência de utilização do aminoácido, ou seja, a proporção do aminoácido ingerido que foi depositado no corpo da ave (SAKOMURA &

ROSTAGNO, 2007). Outra forma de se calcular as eficiências de utilização dos aminoácidos é pela relação entre os aminoácidos depositados e ingeridos apenas para crescimento (aminoácido depositado / aminoácido ingerido – aminoácido para manutenção). HRUBY (1998) também determinou as exigências de aminoácidos para crescimento por meio da diferença entre as exigências totais e as exigências para manutenção, não considerando a composição corporal das aves, o que pode comprometer a validade dos resultados.

A determinação das exigências para a manutenção e das eficiências de utilização dos aminoácidos para crescimento constituem a base para a elaboração de modelos matemáticos que buscam descrever a relação entre o consumo de aminoácidos e sua utilização para manutenção e deposição da proteína corporal, permitindo simular as respostas de aves mantidas sob diferentes condições de criação.

Tendo em vista a variabilidade dos resultados obtidos nos estudos que determinaram as exigências de lisina e a escassez de publicações acerca da eficiência de utilização deste aminoácido, para aves de postura, é imprescindível a realização de novos estudos, possibilitando a obtenção de padrões nutricionais cada vez mais acurados e precisos.

Modelo fatorial com base em ensaios de balanço de nitrogênio

Esta metodologia diferencia das demais pelas concepções teóricas de exigências de manutenção e crescimento. As diferenças se iniciam pelo modelo matemático adotado para determinação, que se baseia nos não-lineares. O modelo exponencial fundamenta-se para explicar os pequenos acréscimos na resposta animal, ou seja, levar em consideração que as respostas das aves às concentrações de aminoácidos nas dietas obedecem a “lei dos mínimos retornos” (OVIEDO-RONDÓN & WALDROUP, 2002; PACK et al., 2003; LEMME, 2005; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), que segundo ROBBINS et al. (1979); PACK et al. (2003); SIQUEIRA et al. (2009) não é admitido em modelos lineares.

A definição de exigência de manutenção proposta pelos idealizadores (THONG & LIEBERT, 2004; SAMADI & LIEBERT, 2006a; 2007b; 2008; WECKE & LIEBERT, 2009), consiste em sua essência que a ave em estado de jejum continua excretando (perda endógena), desta forma, estes pesquisadores propuseram que o total requerido, seja expresso em nitrogênio, obtido por meio da regressão exponencial entre a ingestão de nitrogênio (NI, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia) e o total excretado de nitrogênio (NEX, mg/PV_{kg}^{0,67}), informações obtidas em ensaio de balanço de nitrogênio. Nesta relação tem-se no eixo do Y o NEX, e no eixo X o NI, sendo o intercepto no eixo Y para o NI=0 a quantidade que deve ser ingerida de nitrogênio para compensar as perdas endógenas.

A exigência de nitrogênio para manutenção determinado com base no abate comparativo e relação linear do NI e nitrogênio retido (NR) corporal para aves de reposição, conforme BASAGLIA et al. (1998) e ALBINO et al. (1994) variaram de 380 a 540 mg/kg^{0,75}/dia e para frangos de corte variaram de 110 a 280 mg/kg^{0,75}/dia, segundo MACLEOD (1990) e LONGO et al. (2001), respectivamente. SAMADI & LIEBERT (2006a) utilizando modelo exponencial, estimaram por meio do NI e do NEX, que o requerimento médio de nitrogênio para frangos de corte COBB 10 a 85 dias, foi de 252 mg/kg^{0,67}/dia, sendo 220 para macho e 280 para fêmeas.

Simulações com o mesmo conjunto de dados SAMADI & LIEBERT (2006a) utilizando o modelo linear e polinomial quadrático revelou que o valor médio anunciado pelos autores sofre um aumento de 45% e 27% na estimativa, respectivamente. Com isso, especula-se que o modelo matemático possa ser responsável, em parte, pelas diferenças entre os valores apresentados pelos autores (MACLEOD, 1990; ALBINO et al., 1994; BASAGLIA et al., 1998; LONGO et al., 2001) em relação aos de SAMADI & LIEBERT (2006a). Contudo, vale salientar que para aplicar o modelo exponencial, é necessário que exista considerável amplitude nas respostas das aves.

Outra definição teórica postulada pelos pesquisadores da Universidade de Georg-August, Göttingen diz respeito ao máximo potencial teórico de retenção de nitrogênio (NR_{max}T), a definição matemática consta do modelo $NR = NR_{max}T (1 - e^{b * NI})$; Onde b = inclinação da curva de retenção de nitrogênio (indica a qualidade da proteína alimentar independente da ingestão de nitrogênio) e e = número de Euler.

Consequentemente, se obtém o máximo potencial teórico de deposição de proteína ($ND_{max}T$) a partir de $ND = NR_{max}T (1 - e^{b \cdot NI}) - NMR$; Onde, NMR é o coeficiente de exigência de manutenção em nitrogênio. Os pesquisadores do referido centro supracitado, salientam que o atributo "teórico" indica o valor estimado ($ND_{max}T$ e $NR_{max}T$, respectivamente), bem como os derivados $PD_{max}T$, não estão de acordo com a faixa de crescimento real, mas caracterizam a estimativa do potencial genético, o qual não é atingido devido a fatores dietéticos.

Assim, os autores SAMADI & LIEBERT (2006a) informam que a definição do potencial máximo genético não pode ser totalmente considerado para otimizar estratégias alimentares. Mas, é possível considerar definindo percentagens do $ND_{max}T$ ou estabelecendo ganho diário de proteína como parâmetro de desempenho. Portanto, a exigência do aminoácido, depende dos níveis de proteína depositada por dia, e da eficiência estimada de utilização do mesmo (THONG & LIEBERT, 2004).

Especificamente, para estimativa das exigências aminoacídicas SAMADI & LIEBERT (2006b), SAMADI & LIEBERT (2007b, a) e SAMADI & LIEBERT (2008) recomendam uma técnica alternativa de formulação de dietas proposta por FISHER & MORRIS (1970), denominada "técnica de diluição da dieta". Este método consiste em diluir seqüencialmente uma dieta alta em proteína e deficiência relativa do aminoácido teste, com uma dieta isoenergética livre de proteína, obtendo-se dietas com diferentes níveis de nitrogênio ou proteína, sendo estes, deficientes no aminoácido teste.

Inicialmente é necessário realizar um ensaio para determinar o máximo de potencial genético de retenção e deposição de nitrogênio ($NR_{max}T$ e $ND_{max}T$) e o coeficiente de exigência de manutenção em nitrogênio (NMR) conforme descrito anteriormente. Admitindo-se que fatores dietéticos não interferem na estimativa do $NR_{max}T$, $ND_{max}T$ e NMR (THONG et al., 2004), utilizando-se dietas com um aminoácido limitante podemos estimar em um único ensaio de balanço de nitrogênio, ainda, a eficiência de utilização do aminoácido, o parâmetro bc^{-1} .

Baseado no conceito de proteína ideal, durante a síntese protéica se não houver a disponibilidade de um dos aminoácidos constituintes da nova proteína, haverá interrupção da mesma. Caso falte um não essencial o animal será capaz de sintetizá-lo

dando seguimento ao processo. Mas, se for um aminoácido essencial só se dará prosseguimento à síntese protéica se houver a suplementação do aminoácido específico via a dieta.

Então, pelo modelo de Göttingen a resposta para ingestão do primeiro aminoácido limitante da dieta (LAAI) é descrita pela seguinte formula matemática: $LAAI = [\ln NR_{max}T - \ln (NR_{max}T - NR)] / 16bc^{-1}$; em que, LAAI é a ingestão diária do LAA dependendo do desempenho e eficiência do LAA ($mg/PV_{kg}^{0,67}$) e bc^{-1} é a inclinação entre a concentração LAA (c) e qualidade da proteína alimentar (b).

Com base nessa metodologia SAMADI & LIEBERT (2008) recomendaram uma exigência de lisina digestível para frangos de corte machos da linhagem comercial ROSS de desempenho superior na fase de 1 a 25 dias de idade de 1,26% na dieta, Recomendação que corrobora com o nível de 1,25% de lisina digestível preconizado pelas tabelas brasileiras para aves e suínos (ROSTAGNO et al., 2011), o que indica uma equivalência metodológica, com certa simplicidade na execução e de custo acessivo. Desta forma, torna-se possível modelar os efeitos da maior ou menor ingestão de ração e deposição proteína e predizer um plano nutricional conforme a meta traçada pelos produtores nos seus diferentes sistemas de produção. Contudo, estudos realizados para determinar os parâmetros acima descritos para poedeiras em fase de crescimento são inexistentes.

Modelos matemáticos para prever as exigências de aminoácidos para aves

A modelagem é apresentada como uma ferramenta útil à determinação das exigências nutricionais das aves em diversas condições. Na nutrição, é uma alternativa que ajuda na tomada de decisões. As técnicas de modelagem contribuem com maior ou menor grau de importância para esse objetivo, devido às peculiaridades de cada modelo. Na pesquisa avícola, um modelo é caracterizado como a descrição matemática do fenômeno biológico, que pode ser crescimento, produção de ovos, incubação, etc. (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002).

Para LOVATTO & SAUVANT (2001), os modelos matemáticos são classificados pela metodologia usada para representar o fenômeno e, são estabelecidos em três níveis: temporais, paramétricos e explicativos. Os modelos temporais ocorrem de acordo com o comportamento em relação ao estado temporal e divide-se em estáticos e dinâmicos. Os modelos estáticos descrevem o fenômeno em determinado momento, enquanto nos dinâmicos, os parâmetros podem variar no tempo (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002). Os modelos paramétricos são representados pela variável quali ou quantitativa do sistema, dividindo-se em determinísticos e estocásticos. De acordo com OVIEDO-RONDÓN et al. (2002), os modelos determinísticos são aqueles que apresentam apenas uma única resposta, por outro lado, os estocásticos, uma infinidade de respostas pode acontecer. As regressões não lineares são exemplos de modelos determinísticos. Embora, todos esses modelos tenham aplicação bem elucidada, a pesquisa na nutrição avícola é geralmente, elaborada nos modelos explicativos, classificados em empíricos e mecanicistas.

O modelo empírico é conhecido pela prática da formulação de dietas de custo mínimo, que considera as exigências nutricionais dos animais e a composição dos ingredientes constituindo na representação mais usada da modelagem na nutrição animal (LOVATTO & SAUVANT, 2001). Esses modelos baseiam-se apenas nas condições experimentais, fazendo associações entre duas ou mais variáveis, sem considerar os mecanismos que envolvem o fenômeno como um todo, por sua vez, os modelos mecanicistas conhecido por “fatorial” baseiam-se na hipótese que as aves consomem para atender seu potencial de crescimento (EMMANS, 1994), desta forma a exigência em aminoácidos digestíveis é definida pela soma das exigências para manutenção e para atender o potencial de deposição corporal.

Modelos de predição das exigências de aminoácidos das aves elaborados com base no método fatorial são bastante escassos na literatura. Baseando-se em estudos da composição da carcaça e penas de frangos de corte e perus na fase de crescimento e em experimentos com balanço de nitrogênio, HURWITZ et al. (1978; 1980; 1983) desenvolveram na Universidade de Hebrew, Israel, um modelo mecanicista para estimar as necessidades de aminoácidos baseado no somatório das exigências de

manutenção, ganho de peso da carcaça sem penas e ganho em penas, como segue: $AA = [(CP \times P^{0,75} / 0,85 \times AA_m) + (PB_c \times G / 0,85 \times AA_c) + (PB_p \times G / 0,85 \times AA_p)]$, sendo: AA é a exigência de aminoácido digestível, CP é o coeficiente da proteína necessário para manutenção, P é o peso, PB_c é a proteína bruta na carcaça, G é o ganho de peso, PB_p é a proteína bruta nas penas como fração do ganho de peso, 0,85 é o coeficiente de absorção da proteína e AA_m , AA_c , AA_p são as proporções de aminoácidos na proteína de manutenção, corporal e penas, respectivamente.

Um modelo matemático para determinar a exigência de aminoácido para aves de postura em fase de crescimento foi proposto por MARTIN et al. (1994). Os autores descreveram um modelo mecanicista no qual os requisitos para quatro funções foram calculados (ganho de proteína no corpo depenado, manutenção de proteína no corpo depenado, ganho de proteína das penas e manutenção de proteína das penas). Os acréscimos de proteína no corpo depenado e penas foram descritos com precisão pelas funções de Gompertz. Usando composição apropriada do aminoácido na proteína do corpo depenado e das penas, as exigências de aminoácidos foram calculadas pela seguinte equação: $AA = [(AA_{mc} \cdot PB_m^{0,73} \cdot u) + (0,01 \cdot PP \cdot AA_p)] + [(AA_c \cdot DPB_c / k) + (AA_p \cdot DPB_p / k)]$. Em que, AA é a exigência de aminoácido digestível (mg/dia); AA_{mc} é a exigência de aminoácido para a manutenção da proteína do corpo depenado (mg/ $PB_m^{0,73} \cdot u$ /dia); PB_m é o peso de proteína corporal à maturidade (kg); u é o grau de maturidade da proteína corporal ($u = PB_t / PB_m$); PP é o peso de proteína das penas (g); AA_p é o conteúdo do aminoácido na proteína das penas (mg/g); AA_c é o conteúdo do aminoácido na proteína corporal (mg/g); DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado (g/dia); DPB_p é a deposição de proteína nas penas (g/dia), k é a eficiência de utilização do aminoácido para deposição no corpo depenado e para deposição nas penas.

Segundo BAKER (1997), para se obter uma estimativa precisa da exigência de um determinado aminoácido é necessário ter as seguintes informações: curvas do acréscimo de proteína em função do peso corporal; concentração do aminoácido da proteína corporal; informação do consumo de alimento em função do peso corporal; informação do ambiente, do sistema de produção e como o stress afeta o consumo

alimentar e o potencial de crescimento; estimativas da exigência do aminoácido para manutenção e eficiência de utilização e informação da digestibilidade.

Para PACK et al. (2003), o termo “exigência”, definido como concentração fixa de um dado nutriente na ração, é empregado indevidamente, uma vez que existem diversos critérios de resposta (ganho de peso, conversão alimentar, rendimento de carcaça, produção de ovos, etc.) que podem ser utilizados nos ensaios dose-resposta. Outro argumento, baseia-se na variação individual existente em uma população de aves, uma vez, que ao definir uma concentração fixa de um nutriente visando atender as necessidades de um lote, existe a possibilidade de sobre-fornecimento para aqueles indivíduos com menor potencial de resposta e sub-fornecimento de nutrientes para aqueles indivíduos com maior potencial de resposta. Com base nisso, SAKOMURA & ROSTAGNO (2007) relatam que a questão mais importante é entender como uma população ou grupo de animais responde ao aumento dos níveis dos nutrientes da dieta, fornecendo-os em quantidades compatíveis com o objetivo da produção, em um dado contexto de ambiente. Portanto, a utilização de modelos de predição das exigências pode ser de grande utilidade.

Visando a obtenção de um padrão nutricional mais condizente com a realidade brasileira, ROSTAGNO et al. (2011) catalogaram 130 dados experimentais obtidos em ensaios dose-resposta, realizados com aves de corte (machos e fêmeas), poedeiras comerciais e matrizes pesadas na Universidade Federal de Viçosa (UFV) e elaboraram equações para estimar as exigências de lisina para ganho e/ou produção de ovos, considerando o peso corporal, o ganho de peso e/ou a massa de ovo produzida. Os autores se basearam nas publicações de FISHER (1998), EDWARDS et al. (1999) e SIQUEIRA (2009) para definirem as exigências de lisina para a manutenção e nos estudos realizados na UFV para definirem as exigências para ganho de peso e produção de ovos, possibilitando a elaboração dos modelos de predição das exigências de lisina digestível verdadeira para frangos de corte (machos e fêmeas), poedeiras comerciais e matrizes pesadas. Não resta dúvida que esses modelos têm contribuído de sobremaneira para a otimização das concentrações de aminoácidos em dietas para aves, entretanto estudos adicionais sobre eficiências de utilização dos aminoácidos

para deposição corporal poderiam otimizar ainda mais os programas nutricionais para aves de postura em fase de crescimento.

Referências

ALBINO, L. F. T.; FIALHO, F. B.; BELLAYER, C.; HARA, C.; PAIVA, G. J. Estimativas das exigências de energia e proteína para frangas de postura em recría. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 29, n. 10, p. 1625-1629, 1994.

BAKER, D. H. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. **Biokowa Technical Review**. v. 9, p. 1-24, 1997.

BAKER, D. H.; HAN, Y. Ideal Amino Acid Profile for Chicks During the First Three Weeks Posthatching. **Poult Sci**. v. 73, n. 9, p. 1441-1447, 1994.

BARBOSA, B. A. C.; SOARES, P. R.; ROSTAGNO, H. S.; SILVA, M. A.; ALBINO, L. F. T.; GRAÇAS, A. S. Exigência Nutricional de Lisina para Galinhas Poedeiras de Ovos Brancos e Ovos Marrons, no Segundo Ciclo de Produção. 2. Características Produtivas. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 28, n. 3, p. 534-541, 1999a.

BARBOSA, B. A. C.; SOARES, P. R.; ROSTAGNO, H. S.; SILVA, M. A.; ALBINO, L. F. T.; GRAÇAS, A. S. Exigência Nutricional de Metionina+Cistina para Galinhas Poedeiras de Ovos Brancos e Marrons, no Segundo Ciclo de Produção. 1. Características Produtivas. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 28, n. 3, p. 526-533, 1999b.

BASAGLIA, R.; SAKOMURA, N. K.; RESENDE, K. T.; SILVA, R.; JUNQUEIRA, O. M. Exigências de Proteína para Frangas de Postura de 1 a 18 Semanas de Idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 27, n. 3, p. 556-563, 1998.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**. Lavras, MG: UFLA, 2006. 301pp.

CURNOW, R. N. A Smooth Population Response Curve Based on an Abrupt Threshold and Plateau Model for Individuals. **Biometrics**. v. 29, n. 1, p. 1-10, 1973.

DALE, N. Proteína ideal para pollos de engorde. **Avicultura Profesional**. v. 11, n. 3, p. 104-107, 1994.

EDWARDS, H., 3RD; FERNANDEZ, SR; BAKER, D. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and protein in young chicks. **Poult Sci**. v. 78, n. 10, p. 1412-1417, 1999.

EMMANS, G. C. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. **British Journal of Nutrition**. v. 71, n. 6, p. 801-821, 1994.

FISHER, C. Lysine: Amino acid requirements of broiler breeders. **Poult Sci**. v. 77, n. 1, p. 124-133, 1998.

FISHER, C.; MORRIS, T. R. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. **British Poultry Science**. v. 11, n. 1, p. 67-82, 1970.

FISHER, C.; MORRIS, T. R.; JENNINGS, R. C. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. **British Poultry Science**. v. 14, n. 5, p. 469-484, 1973.

GOUS, R. M. Lysine: Making progress in the nutrition of broilers. **Poult Sci**. v. 77, n. 1, p. 111-117, 1998.

HAN, Y.; BAKER, D. H. Digestible lysine requirement of male and female broiler chicks during the period three to six weeks post hatching. **Poult Sci**. v. 73, n. 11, p. 1739-1745, 1994.

HRUBY, M. **The amino acid maintenance and growth requirements of male broilers**. 144f. Thesis (Ph.D. in Animal Science) - University of Minnesota, Minnesota, US, 1998.

HURWITZ, S.; FRISCH, Y.; BAR, A.; EISNER, U.; BENGAL, I.; PINES, M. The amino acid requirements of growing turkeys. 1. Model construction and parameter estimation. **Poult Sci**. v. 62, n. 11, p. 2208-2217, 1983.

HURWITZ, S.; PLAVNIK, I.; BARTOV, I.; BORNSTEIN, S. The amino acid requirements of chicks: Experimental validation of model-calculated requirements. **Poult Sci.** v. 59, n. 11, p. 2470-2479, 1980.

HURWITZ, S.; SKLAN, D.; BARTOV, I. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. **Poult Sci.** v. 57, n. 1, p. 197-205, 1978.

IVEY, F. J. Desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento para frangos de corte. In: **I Simpósio Internacional sobre Nutrição de Aves**, 1999, Concórdia, SC. Anais... Concórdia: ACAV-EMBRAPA. p. 22-35.

JORDÃO FILHO, J.; SILVA, J. H. V.; SILVA, E. L.; RIBEIRO, M. L. G.; COSTA, F. G. P.; RODRIGUES, P. B. Exigência de lisina para poedeiras semipesadas durante o pico de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia.** v. 35, n. 4, p. 1728-1734, 2006a.

JORDÃO FILHO, J.; SILVA, J. H. V.; SILVA, E. L.; RIBEIRO, M. L. G.; MARTINS, T. D. D.; RABELLO, C. B. V. Exigências nutricionais de metionina+cistina para poedeiras semipesadas do início de produção até o pico de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia.** v. 35, n. 3, p. 1063-1069, 2006b.

KIDD, M. T.; KERR, B. J.; ANTHONY, N. B. Dietary interactions between lysine and threonine in broilers. **Poult Sci.** v. 76, n. 4, p. 608-614, 1997.

LEMME, A. Optimum dietary amino acid level for broiler chicken. In: **II Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais de Aves e Suínos**, 2005, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 117-144.

LONGO, F. A.; SAKOMURA, N. K.; FIGUEIREDO, A. N.; RABELLO, C. B.-V.; FERRAUDO, A. S. Equações de predição das exigências protéicas para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia.** v. 30, n. 5, p. 1521-1530, 2001.

LOVATTO, P. A.; SAUVANT, D. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos do suíno. **Ciência Rural.** v. 31, n. 4, p. 663-670, 2001.

MACLEOD, M. G. Energy and nitrogen intake, expenditure and retention at 32 degrees in growing fowl given diets with a wide range of energy and protein contents. **Br. J. Nutr.**, v. 64, n. 3, p. 625-637, 1990.

MARTIN, P. A.; BRADFORD, G. D.; GOUS, R. M. A formal method of determining the dietary amino acid requirements of laying-type pullets during their growing period. **British Poultry Science**. v. 35, n. 5, p. 709-724, 1994.

MITCHELL, H. H.; BLOCK, R. J. Some relationships between the amino acid contents of proteins and their nutritive values for the rat **Journal of Biological Chemistry**. v. 163, n. 3, p. 599-620, 1946.

MOUGAN, P. J.; FULLER, M. F. Modelling amino acids metabolism and the estimation of amino acids requirements. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). **Amino acid in animal nutrition**. Wallingford: CABI Publishing. 2nd edition, 2003. p.187-203.

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

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem Computacional para Produção e Pesquisa em Avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**. v. 4, n. 1, p. 199-207, 2002.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; WALDROUP, P. W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: A Review. **International Journal of Poultry Science**. v. 5, p. 106-113, 2002.

PACK, M. Proteína ideal para frango de corte. Conceitos e posição atual. In: **Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas**, 1995, Curitiba. Anais... Curitiba: FACTA, 1995. p. 95-110.

PACK, M.; HOEHLER, D.; LEMME, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). **Amino acid in animal nutrition**. Wallingford: CABI Publishing. 2nd edition, 2003. p.459-483.

PESTI, G. M.; MILLER, B. R. Modellinfgor precision nutrition. **J. Appl. Poultry Res.**, v. 6, p. 483-494, 1997.

PESTI, G. M.; VEDENOV, D.; CASON, J. A.; BILLARD, L. A. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science** v. 50, n. 1, p. 16-32, 2009.

ROBBINS, K. R.; NORTON, H. W.; BAKER, D. H. Estimation of nutrient requirement from growth data. **Estimation of nutrient requirement from growth data**. v. 109, p. 1710-1714, 1979.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 1. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 141p.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; R.F., E. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

ROSTAGNO, H. S.; NASCIMENTO, A. H.; ALBINO, L. F. T. Aminoácidos totais e digestíveis para aves. In: **Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas**, 1999, Campinas. Anais... Campinas: APINCO, 1999. p. 66.

SAKOMURA, N. K. Uso de modelos para estimar as exigências nutricionais de aves. In: **II Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais de Aves e Suínos**, 2005, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 253-292.

SAKOMURA, N. K.; HAUSCHILD, L.; SILVA, E. P.; ARAUJO, J. A. Modelo fatorial para estimar exigências nutricionais de aves. In: **III International Symposium on Nutritional Requirements of Poultry and Swine**, 2011, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 267-296.

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

SAMADI; LIEBERT, F. Estimation of Nitrogen Maintenance Requirements and Potential for Nitrogen Deposition in Fast-Growing Chickens Depending on Age and Sex. **Poult Sci.** v. 85, n. 8, p. 1421-1429, 2006a.

SAMADI; LIEBERT, F. Modeling of Threonine Requirement in Fast-Growing Chickens, Depending on Age, Sex, Protein Deposition, and Dietary Threonine Efficiency. **Poult Science.** v. 85, n. 11, p. 1961- 968, 2006b.

SAMADI; LIEBERT, F. Lysine requirement of fast growing chickens effects of age, sex, level of protein deposition and dietary lysine efficiency. **The Journal of Poultry Science.** v. 44, p. 63-72, 2007a.

SAMADI; LIEBERT, F. Threonine Requirement of Slow-Growing Male Chickens Depends on Age and Dietary Efficiency of Threonine Utilization. **Poult Sci.** v. 86, n. 6, p. 1140-1148, 2007b.

SAMADI; LIEBERT, F. Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilisation. **British Poultry Science.** v. 49, n. 1, p. 45-54, 2008.

SILVA, J. H. V.; JORDÃO FILHO, J.; SILVA, E. L. Por quê formular dietas para poedeiras com base no conceito de proteína ideal? **Revista Ave World.** v. 3, n. 3, p. 50-57, 2005.

SILVA, J. H. V.; MUKAMI, F.; ALBINO, L. F. T. Uso de rações à base de aminoácidos digestíveis para poedeiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n. 5, p. 1446-1451, 2000.

SIQUEIRA, J. C. **Estimativas das exigências de lisina de frangos de corte pelos métodos dose resposta e fatorial**. 154f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2009.

SIQUEIRA, J. C.; SAKOMURA, N. K.; NASCIMENTO, D. C. N.; FERNANDES, J. B. K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 38, n. 9, p. 1732-1737, 2009.

THONG, H. T.; LIEBERT, F. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as the limiting amino acid. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 88, p. 196-203, 2004.

WECKE, C.; LIEBERT, F. Lysine requirement studies in modern genotype barrows dependent on age, protein deposition and dietary lysine efficiency. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** v. 93, p. 295-304, 2009.

CAPÍTULO 2 – RESPOSTAS DE FRANGAS DE REPOSIÇÃO A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA

RESUMO – O objetivo foi estimar as exigências de lisina digestível para frangas de reposição nas fases inicial (2 a 6 semanas de idade), cria (8 a 12 semanas de idade) e recria (14 a 18 semanas de idade) com base no método dose resposta. Os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos e seis repetições, sendo cada unidade experimental composta por 15 aves na fase inicial e oito aves nas fases de cria e recria, respectivamente. As dietas experimentais foram formuladas utilizando-se a técnica da diluição. Os níveis de lisina digestível variaram de 0,320 a 1,067% na fase inicial, 0,224 a 0,748% na fase de cria e 0,173 a 0,578% na fase de recria. Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente foram submetidos a análise de regressão, utilizando os modelos quadrático (QUAD), *broken line* (BL) e *broken line* com ascendência quadrática (BLQ) e exponencial (EXP). Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos aos dados, utilizou-se o critério de informação de Akaike. Na fase inicial o melhor modelo para ganho de peso (GP), foi o BLQ, estimando uma ingestão diária de lisina de 223 mg. Com base na conversão alimentar (CA) foi estimado 161 mg de lisina com o modelo EXP. Considerando a deposição de proteína corporal (DPBC) e modelo BL estimou-se 181 mg. Na fase de cria o melhor ajuste ao GP e CA foi o BL, estimando 287 e 269 mg de lisina, respectivamente. A estimativa para DPBC foi obtida com modelo BLQ (265 mg). Na fase de recria o GP e CA foram ajustadas pelo modelo BL, determinando-se 255 e 226 mg de lisina, respectivamente. Com base na DPBC e no modelo QUAD, determinou-se 293 mg de lisina. Com base no ganho de peso, recomenda-se 223, 286, 254 mg de lisina para frangas nas fases inicial, cria e recria, respectivamente.

Palavras Chave: aminoácido, dose resposta, modelos matemáticos

PULLETS RESPONSE TO DIETARY LYSINE LEVELS

SUMMARY – The objective of this study was to estimate the digestible lysine requirements for replacement pullets in the starter (2 - 6 weeks), grower (8 - 12 weeks) and developer (14 - 18 weeks) phases, based method dose response method. The animals were distributed in a completely randomized design with eight treatments and six replicates, each replicate consisting of 15 birds in starter phase and eight birds in grower and developer phases, respectively. The experimental diets were formulated using the technique of dilution. The levels of digestible lysine range from 0.320 to 1.067% initial phase, from 0.224 to 0.748% during the growing period and from 0.173 to 0.578% in the rearing. Data were subjected to analysis of variance and were subsequently subjected to regression analysis models by quadratic (QUAD), broken line (BL), quadratic broken-line (QBL) and exponential (EXP). The coefficients of determination and Akaike criterion were used to check adjust model. In the starter phase, the best model for weight gain (WG) was QBL and estimated daily requirement of 223 mg of lysine. Based on feed conversion (FC) EXP model, was estimated 161 mg of lysine. According body protein deposition (BPD) was estimated by BL (181 mg). In grower phase based WG and FC was by BL estimates, the requirements were respectively, 287 and 269 mg. The BPD was estimate by QBL model (265 mg). In the developer (rearing) phase the WG and FC were adjusted by the BL, estimating respectively, 255 and 226 mg. Based on DBP was estimated by QUAD model, 293 mg of lysine. In conclusion, it is recommended 188; 274 and 258 mg of lysine in the starter, grower and developer phases, respectively.

Keywords: amino acid, dose response, mathematical models

INTRODUÇÃO

Os avanços na área da genética têm proporcionado reduções de um dia por ano na idade ao primeiro ovo em aves de postura nas últimas décadas. Nesse contexto, um manejo nutricional adequado dessas aves na fase de crescimento pode ser o ponto crítico dentro de um programa de alimentação (LESSON & SUMMERS, 1997). Nesses programas, o objetivo tem sido estabelecer dietas que permitam às aves, além de expressarem seu potencial de crescimento, atingir também uma condição corporal adequada ao primeiro ovo. Atendendo esses objetivos, os índices produtivos durante o período de produção de ovos poderão ser otimizados.

Nesse sentido, um adequado balanço entre os nutrientes oriundos dos ingredientes e as exigências nutricionais das aves deve ser estabelecido. Desta forma, grande parte dos custos com alimentação de aves de postura está relacionado ao atendimento das exigências de aminoácidos. A lisina é o segundo aminoácido limitante nas rações para aves. O interesse por estudos com este aminoácido na alimentação de poedeiras se justifica principalmente pelo fato de que a lisina apresenta baixo custo de suplementação e pode afetar a deposição de proteína corporal (VALERIO et al., 2003). Adicionalmente, é considerado o aminoácido mais importante no conceito de proteína ideal, de modo que todo aminoácido é relacionado com lisina (BAKER & HAN 1994; KIDD et al., 1997; FIRMAN & BOLING, 1998). Mesmo que a exigência de lisina seja alterada por fatores dietéticos, ambientais e genéticos, a relação ideal dos aminoácidos essenciais em relação a lisina permanecerá inalterada, permitindo a atualização rápida e fácil das necessidades das aves.

A definição das exigências de lisina para frangas de postura em fase de crescimento tem sido tradicionalmente baseada no método dose-resposta. Nestes estudos as exigências de um nutriente são estimadas avaliando a resposta quantitativa de variáveis produtivas ou indicadores metabólicos de um grupo de animais diante de diferentes concentrações do nutriente na dieta durante um determinado período (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007; SAKOMURA et al., 2011). Diversos modelos matemáticos de natureza linear ou não-linear podem ser utilizados para descrever as

respostas dos animais aos níveis de aminoácidos das dietas (SIQUEIRA et al., 2009). Entretanto, na experimentação avícola, os modelos comumente empregados têm sido os de natureza linear. Modelos lineares são caracterizados quando as variáveis independentes estão linearmente dispostas com os coeficientes paramétricos (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002; SIQUEIRA et al., 2009). Por outro lado, os modelos não-lineares de família exponencial admitem preditores não-linear nos parâmetros (PAULA, 2004) e são caracterizados pela existência de variáveis independentes no expoente das constantes paramétricas (SIQUEIRA et al., 2009). A atualização das exigências nutricionais de lisina para as aves de reposição justifica-se pelo melhoramento contínuo das linhagens (SILVA et al., 2000a). Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar as respostas de frangas de reposição nas fases inicial (2 a 6 semanas de idade), cria (8 a 12 semanas de idade) e recria (14 a 18 semanas de idade) mediante diferentes ingestões de lisina digestível utilizando o método dose-resposta.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos no Laboratório de Ciências Avícolas do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV / UNESP, Jaboticabal – SP, para estimar níveis ideais de lisina para frangas de reposição nas fases inicial (2 a 6 semanas), crescimento (8 a 12 semanas) e recria (14 a 18 semanas).

Na fase inicial foram utilizadas 720 pintainhas, com peso inicial médio ($\pm$ erro padrão) de $110,73 \pm 0,01$ g, nas fases de cria e recria foram utilizadas, respectivamente, 384 aves com peso inicial médio ($\pm$ erro padrão) de $549,21 \pm 0,16$ g na fase de cria e $1.028,98 \pm 0,24$ g na fase de recria, totalizando 1.488 aves da linhagem Dekalb White.

As aves utilizadas na fase de cria (7 a 12 semanas) e recria (13 a 18 semanas) foram criadas simultaneamente em galpão de alvenaria com temperatura e ventilação controlada até a 7^a e 13^a semana, respectivamente, e receberam rações formuladas para atender suas exigências conforme recomendações de ROSTAGNO et al. (2005).

O manejo e o programa de luz foram realizados conforme as recomendações do manual da linhagem.

No início dos experimentos as aves foram uniformizadas de acordo com o peso corporal e alojadas em galpão de alvenaria, coberto com telhas metálicas termo isolante, com o sistema de ventilação e temperatura automatizado. O galpão continha gaiolas de arame galvanizado com 0,80 m² na fase inicial e 0,90 m² nas fases de cria e recria, equipadas com comedouros tipo calha e uma linha de bebedouros tipo *nipple*. O manejo dos comedouros foi realizado diariamente, sendo a água e a dietas ofertadas *ad libitum* durante todo o período experimental.

As temperaturas e as umidades relativas máximas e mínimas no interior das instalações foram registradas diariamente por meio thermohigrômetro digital, estando as médias ($\pm$ erros padrão) apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Médias ($\pm$ erros padrão) das temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas registradas diariamente no galpão experimental, de acordo com a fase de criação

Fase (semanas)	Temperatura (°C)		Umidade Relativa (%)	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Inicial (2 a 6 sem)	31,78 $\pm$ 0,39	27,79 $\pm$ 0,49	54,63 $\pm$ 0,78	41,32 $\pm$ 0,37
Cria (8 a 12 sem)	26,64 $\pm$ 0,31	20,19 $\pm$ 0,33	54,39 $\pm$ 1,27	33,32 $\pm$ 0,92
Recria (14 a 18 sem)	25,68 $\pm$ 0,59	18,15 $\pm$ 0,68	58,19 $\pm$ 3,18	34,50 $\pm$ 1,87

Em cada experimento os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos (níveis de lisina) e seis repetições, sendo cada unidade experimental composta por 15 aves na fase inicial (2 a 6 semanas) e oito aves nas fases de cria (8 a 12 semanas) e recria (14 a 18 semanas), respectivamente. O oitavo tratamento foi incluído para comprovar que a resposta das aves ocorreu em função da deficiência do aminoácido teste e foi obtido a partir da adição de 1,36; 0,95 e 0,74 g de L-lisina HCl para cada kg de ração do tratamento um nas fases inicial, cria e recria, respectivamente.

As dietas experimentais foram formuladas utilizando-se a técnica da diluição. Inicialmente foi formulada uma dieta concentrada com alto teor de proteína bruta,

contendo aproximadamente 120% da exigência de lisina digestível, com os outros aminoácidos excedendo em pelos menos 20% a relação de proteína ideal recomendada por ROSTAGNO et al. (2005). Essa dieta foi diluída sequencialmente com outra isoenergética, isenta de proteína (FISHER & MORRIS, 1970) possibilitando a obtenção de níveis crescentes de lisina digestível, para cada fase, sendo apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

No final de cada experimento (inicial, cria e recria) as sobras de ração e as aves de cada unidade experimental foram pesadas, sendo posteriormente corrigidas as eventuais mortalidades. As características de desempenho avaliadas em cada ensaio foram o consumo de ração (g/ave/dia), consumo de lisina digestível (mg/ave/dia), ganho de peso (g/ave/dia) e a conversão alimentar (g/g).

As deposições de proteína (g/ave/dia) e gordura (g/ave/dia) corporal foram determinadas por meio de abates comparativos no início (grupos referência) e final de cada fase (inicial, cria e recria). Os grupos referência foram constituídos por aves com peso $\pm 5\%$ do peso médio inicial, totalizando 18 aves (seis repetições de três aves) em cada um dos experimentos. No término de cada experimento (inicial, cria e recria), duas aves de cada parcela com peso $\pm 5\%$ do peso médio foram selecionadas, totalizando 96 aves. Após jejum alimentar de 36 horas, para o esvaziamento completo do trato digestório, as aves foram pesadas, abatidas por asfixia com CO₂ e após a obtenção de uma amostra representativa das penas de cada ave, foram completamente depenadas e pesadas novamente. Pela diferença entre o peso em jejum (g) e o peso das aves depenadas (g) obteve-se o peso absoluto das penas (g).

As aves depenadas e as respectivas amostras de penas foram devidamente identificadas e congeladas (-20°C) para processamento posterior. As aves referentes a cada parcela foram cortadas em serra de fita (H. Benecke®) e moídas em moinho de carne industrial (98BT, CAF®), sendo homogeneizadas e retiradas alíquotas que foram acondicionadas em placas de Petri descartáveis, pesadas e congeladas novamente (-20°C), até a pré-secagem. As amostras foram liofilizadas por 72h (-80°C; -800mbar; Edwards 501, Thermo®) e pesadas novamente, sendo na sequência, processadas em moinho de bola (MA-350, Marconi®) por 2min. As amostras de penas foram trituradas e

homogeneizadas manualmente com o uso de tesouras, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório, juntamente com as amostras de carcaça das aves, para análises nitrogênio total.

Os teores de nitrogênio total das amostras de carcaça e penas foram quantificados nas amostras desengorduradas utilizando-se o método de Kjeldahl (AOAC, 1995) em destilador de nitrogênio (Kjeltec™ 8400; Foss®). O teor de gordura bruto das amostras de carcaça foi obtido por extração com éter de petróleo em aparelho extrator de gordura (XT-15, Ankom®).

Os dados foram submetidos à análise de normalidade dos erros estudentizados (teste de Cramer-Von Mises) e homocedasticidade de variâncias (teste de Levene), sendo atendidas estas pressuposições para todas as variáveis estudadas nos três experimentos (inicial, cria e recria). Em seguida os dados de desempenho foram submetidos à análise de variância de acordo com o modelo estatístico: $Y_{ij(k)} = \mu + Lis_i + \varepsilon_{ij(k)}$; em que: $Y_{ij(k)}$ é o valor observado para a variável estudada; μ é o efeito da média geral; Lis_i é o efeito do i-ésimo nível de lisina digestível da ração e $\varepsilon_{ij(k)}$ é o erro experimental.

Posteriormente os dados das variáveis ganho de peso (g/ave/dia), conversão alimentar (g/g) e as deposições de proteína (g/ave/dia) e gordura (g/ave/dia) corporal foram submetidos à análise de regressão, considerando-se a ingestão de lisina digestível (mg/ave/dia) como variável independente, pelos modelos polinomial quadrático, *broken line* e *broken line* com ascendência quadrática (ROBBINS et al., 2006) e exponencial (KAPS & LAMBERSON, 2004).

Polinomial quadrático: $\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 * Lis_i + \beta_2 * Lis_i^2 + \varepsilon_i$; em que β_0 é a constante da regressão ou intercepto, β_1 é o parâmetro da regressão para componente linear, β_2 é o parâmetro da regressão para o componente quadrático e ε_i é o erro aleatório.

Tabela 2. Dietas formuladas pela técnica da diluição para se obter níveis crescentes de lisina digestível para frangas de reposição de 2 a 6 semanas de idade

Ingredientes (%)	Dietas ⁽¹⁾	
	Isenta de proteína	Concentrada (1,067% Lis)
Milho	-	59,053
Farelo de soja	-	36,352
Fosfato Bicálcico	2,333	1,753
Calcário	0,655	1,057
Óleo de soja	6,000	0,728
Cloreto de sódio	0,417	0,405
DL-metionina (99%)	-	0,303
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,100	0,100
L-treonina (99%)	-	0,095
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Suplemento mineral ⁽³⁾	0,050	0,050
L-valina (99%)	-	0,024
Antioxidante	0,010	0,010
Areia lavada	12,694	-
Amido de milho	49,671	-
Açúcar	15,000	-
Casca de arroz	13,000	-
Total	100,000	100,000

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)							
	0,320	0,426	0,533	0,641	0,747	0,960	1,067	0,426
Concentrada (1,067% lis)	29,971	39,962	49,952	60,038	70,029	90,010	100,000	29,971
Isenta de proteína	70,029	60,038	50,048	39,962	29,971	9,990	-	70,029
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,14 ⁽⁴⁾

Aminoácidos digestíveis (%) - Composição analisada								
Proteína bruta, %	6,641	8,778	10,916	13,074	15,212	19,487	21,625	6,758
Metionina+cistina	0,272	0,363	0,454	0,546	0,637	0,818	0,909	0,272
Metionina	0,182	0,242	0,303	0,364	0,424	0,545	0,606	0,182
Lisina	0,320	0,426	0,533	0,641	0,747	0,960	1,067	0,426
Triptofano	0,072	0,096	0,119	0,143	0,167	0,215	0,239	0,072
Treonina	0,252	0,336	0,420	0,504	0,588	0,756	0,840	0,252
Arginina	0,405	0,541	0,676	0,812	0,947	1,218	1,353	0,405
Valina	0,290	0,386	0,483	0,580	0,677	0,870	0,966	0,290
Isoleucina	0,259	0,345	0,431	0,519	0,605	0,777	0,864	0,259
Leucina	0,542	0,723	0,904	1,086	1,267	1,628	1,809	0,542
Fenilalanina	0,306	0,408	0,510	0,613	0,715	0,919	1,021	0,306

⁽¹⁾Composição calculada: Energia metabolizável = 2900 kcal/kg; P disponível = 0,437%, Ca = 0,940%; Na = 0,180%, Cl = 0,261% min., K = 0,249% min., Fibras bruta = 4,371% max. ⁽²⁾Conteúdo/kg: Ácido fólico = 950mg, Ácido pantotênico = 12.000mg, Niacina = 38.000mg, Biotina = 60mg, Vit. A = 8.000.000 UI, Vit. B1 = 2.400mg, Vit. B12 = 12.000mg, Vit. B2 = 5.950mg, Vit. B6 = 2.500mg, Vit. D3 = 2.300.000 UI, Vit. E = 12.350mg, Vit. K3 = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 250mg, Veículo q.s.p. 1.000g. ⁽³⁾Conteúdo/kg: Mn = 200.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 160.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, Veículo q.s.p. 1.000g. ⁽⁴⁾Adição de 1,36 g de L-lisina HCl para cada kg de ração.

Tabela 3. Dietas formuladas pela técnica da diluição para se obter níveis crescentes de lisina digestível para frangas de reposição de 8 a 12 semanas de idade

Ingredientes (%)	Dietas ⁽¹⁾	
	Isenta de proteína	Concentrada (0,748% Lis)
Milho	-	65,784
Farelo de soja	-	22,206
Farelo de Trigo	-	8,639
Fosfato Bicálcico	2,088	1,464
Calcário	0,518	1,011
Cloreto de sódio	0,366	0,354
DL-metionina (99%)	-	0,198
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,100	0,100
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Óleo de soja	6,000	0,058
Suplemento mineral ⁽³⁾	0,050	0,050
L-isoleucina (99%)	-	0,022
Antioxidante	0,010	0,010
Areia lavada	12,627	-
Amido de milho	49,671	-
Açúcar	15,000	-
Casca de arroz	13,500	-
Total	100,000	100,000

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)							
	0,224	0,299	0,374	0,449	0,524	0,673	0,748	0,299
Concentrada (0,748% Lis)	29,933	40,000	49,933	60,000	69,933	89,933	100,000	29,933
Isenta de proteína	70,067	60,000	50,067	40,000	30,067	10,067	-	70,067
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,10 ⁽⁴⁾

Aminoácidos digestíveis (%) - Composição analisada								
Proteína bruta, %	5,260	6,934	8,609	10,299	11,974	15,323	16,998	5,335
Metionina+cistina	0,209	0,279	0,349	0,419	0,489	0,628	0,698	0,209
Metionina	0,133	0,178	0,222	0,267	0,312	0,401	0,445	0,133
Lisina	0,224	0,299	0,374	0,449	0,524	0,673	0,748	0,299
Triptofano	0,054	0,072	0,090	0,108	0,126	0,161	0,179	0,054
Treonina	0,177	0,236	0,295	0,355	0,414	0,532	0,591	0,177
Arginina	0,301	0,401	0,502	0,603	0,703	0,904	1,004	0,301
Valina	0,217	0,290	0,362	0,435	0,508	0,652	0,725	0,217
Isoleucina	0,197	0,262	0,328	0,394	0,459	0,590	0,656	0,197
Leucina	0,442	0,589	0,736	0,885	1,032	1,327	1,474	0,442
Fenilalanina	0,231	0,309	0,386	0,464	0,541	0,695	0,772	0,231

⁽¹⁾Composição calculada: Energia metabolizável = 2900 kcal/kg; P disponível = 0,392%, Ca = 0,832%; Na = 0,160%, Cl = 0,231% min., K = 0,204% min., Fibras bruta = 4,409% max. ⁽²⁾Conteúdo/kg: Ácido fólico = 950mg, Ácido pantotênico = 12.000mg, Niacina = 38.000mg, Biotina = 60mg, Vit. A = 8.000.000 UI, Vit. B1 = 2.400mg, Vit. B12 = 12.000mg, Vit. B2 = 5.950mg, Vit. B6 = 2.500mg, Vit. D3 = 2.300.000 UI, Vit. E = 12.350mg, Vit. K3 = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 250mg, Veículo q.s.p. 1.000g. ⁽³⁾Conteúdo/kg: Mn = 200.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 160.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, Veículo q.s.p. 1.000g. ⁽⁴⁾Adição de 0,95 g de L-lisina HCl para cada kg de ração.

Tabela 4. Dietas formuladas pela técnica da diluição para se obter níveis crescentes de lisina digestível para frangas de reposição de 14 a 18 semanas de idade

Ingredientes (%)	Dietas ⁽¹⁾	
	Isenta de proteína	Concentrada (0,578% Lis)
Milho	-	72,814
Farelo de soja	-	10,160
Farelo de Trigo	-	10,089
Milho farelo glúten (60%)	-	3,689
Calcário	0,717	1,251
Fosfato Bicálcico	1,645	1,052
Cloreto de sódio	0,340	0,329
Óleo de soja	6,000	0,180
L-lisina HCl (78,5%)	-	0,107
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,100	0,100
DL-metionina (99%)	-	0,072
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Suplemento mineral ⁽³⁾	0,050	0,050
L-triptofano (99%)	-	0,019
Antioxidante	0,010	0,010
L-isoleucina (99%)	-	0,008
Areia lavada	12,897	-
Amido de milho	49,671	-
Açúcar	15,000	-
Casca de arroz	13,500	-
Total	100,000	100,000

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)							
	0,173	0,231	0,289	0,347	0,405	0,520	0,578	0,231
Concentrada (0,578% Lis)	29,983	40,035	50,087	59,965	70,017	89,948	100,000	29,983
Isenta de proteína	70,017	59,965	49,913	40,035	29,983	10,052	-	70,017
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,07 ⁽⁴⁾

Aminoácidos digestíveis (%) - Composição analisada								
Proteína bruta, %	4,526	5,956	7,386	8,829	10,259	13,119	14,549	4,591
Metionina+cistina	0,165	0,221	0,276	0,331	0,387	0,497	0,552	0,165
Metionina	0,165	0,221	0,276	0,331	0,387	0,497	0,316	0,095
Lisina	0,173	0,231	0,289	0,347	0,405	0,520	0,578	0,231
Triptofano	0,044	0,059	0,074	0,089	0,104	0,133	0,148	0,044
Treonina	0,139	0,186	0,232	0,279	0,326	0,419	0,465	0,139
Arginina	0,226	0,301	0,377	0,453	0,528	0,678	0,754	0,226
Valina	0,184	0,245	0,306	0,368	0,429	0,551	0,612	0,184
Isoleucina	0,156	0,207	0,259	0,312	0,363	0,467	0,519	0,156
Leucina	0,460	0,614	0,767	0,922	1,076	1,383	1,536	0,460
Fenilalanina	0,203	0,271	0,339	0,407	0,475	0,611	0,678	0,203

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 2900 kcal/kg; P disponível = 0,310%, Ca = 0,800%; Na = 0,150%, Cl = 0,216% min., K = 0,150% min., Fibras bruta = 4,434% max. ⁽²⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 950mg, Ácido pantotênico = 12.000mg, Niacina = 38.000mg, Biotina = 60mg, Vit. A = 8.000.000 UI, Vit. B1 = 2.400mg, Vit. B12 = 12.000mg, Vit. B2 = 5.950mg, Vit. B6 = 2.500mg, Vit. D3 = 2.300.000 UI, Vit. E = 12.350mg, Vit. K3 = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 250mg, Veículo q.s.p. 1.000g. ⁽³⁾ Conteúdo/kg: Mn = 200.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 160.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, Veículo q.s.p. 1.000g. ⁽⁴⁾ Adição de 0,74 g de L-lisina HCl para cada kg de ração.

Broken line: $\hat{Y}_i = L + U \cdot (R - Lis_i) + \varepsilon_i$ e *broken line* com ascendência quadrática: $\hat{Y}_i = L + U \cdot (R - Lis_i) \cdot (R - Lis_i) + \varepsilon_i$, em que $(R - Lis_i)$ é zero para valores de $Lis_i > R$, $\hat{Y}_i$ é o valor estimado da variável estudada para o i -ésimo nível de lisina digestível na ração, Lis_i é o nível de lisina da ração, L é o valor da variável estimado no platô, U é a inclinação da reta ascendente, R é o nível de lisina estimado pelo ponto de quebra e ε_i é o erro ou desvio associado à distância entre o valor de Y_i observado e o valor de $\hat{Y}_i$ estimado pela equação. Exponencial: $\hat{Y}_i = A - (A - B) \cdot e^{-C \cdot (Lis_i - D)} + \varepsilon_i$; em que A é a resposta assintótica do modelo, B é a resposta da variável estimada para a dieta contendo o nível mais baixo de lisina, C é o coeficiente de inclinação da curva, D é o nível mais baixo de lisina, e é a base do logaritmo neperiano (número de Euler).

Para verificar o ajuste das equações obtidas com o uso dos diferentes modelos levou-se em consideração a significância do teste “F”, os coeficientes de determinação ($R^2 = SQ \text{ modelo} / SQ \text{ tratamentos}$) e o critério de Akaike (KAPS & LAMBERSON, 2004; PAULA, 2004; BEAL, 2005). A ingestão ideal de lisina digestível (mg/ave/dia) estimada com o uso do modelo polinomial quadrático foi obtida igualando-se a primeira derivada da equação a zero ($\beta_1 / (2 \cdot \beta_2)$). Para os modelos *broken line* e *broken line* com ascendência quadrática a ingestão ideal foi obtida pelo encontro da reta ascendente com o platô. Já para modelo exponencial a ingestão ótima foi obtida considerando-se 95% da resposta assintótica (máxima resposta) pela expressão: $\ln(0,05)/C + D$, em que $\ln$ é o logaritmo neperiano (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

As análises estatísticas foram realizadas considerando-se um nível de significância de até 5% de probabilidade utilizando-se o *software* SAS 9.1 (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fase inicial (2 a 6 semanas de idade)

As respostas para ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e deposição de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição alimentadas com níveis crescentes de lisina digestível na fase inicial (2 a 6 semanas de idade) estão

apresentados na Tabela 5. Foi observado o efeito significativo ($P < 0,0001$) dos níveis de lisina (Lis) digestível das dietas para todas as características avaliadas.

Tabela 5. Consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLis), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição na fase inicial (2 a 6 semanas de idade)

Níveis (%)	CR	CLis	GP	CA	DPBC	DGC
	g/ave/dia	mg/ave/dia	g/ave/dia	g/g	g/ave/dia	g/ave/dia
0,320	17,40	57,53	2,83	6,15	0,89	0,81
0,426	19,58	86,31	4,36	4,74	1,11	0,78
0,533	20,38	112,32	6,74	3,02	1,65	0,75
0,641	21,19	140,37	8,35	2,54	1,80	0,58
0,747	21,24	164,09	8,90	2,39	2,35	0,54
0,960	22,06	219,04	10,02	2,20	2,48	0,29
1,067	21,87	241,29	9,98	2,19	2,47	0,26
0,426	19,07	84,09	3,30	5,78	0,90	0,76
P>F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV, %	3,51	3,28	4,66	6,47	9,86	23,96

P>F = Valor da probabilidade associada ao teste F. CV = coeficiente de variação.

As respostas de ganho de peso e conversão alimentar se ajustaram “bem” a aplicação dos modelos de regressão quadrática, *broken line*, *broken line* com ascendência quadrática e exponencial, resultando em estimativas de ingestões diárias de lisina digestível pelo ganho de peso de frangas de reposição na fase de 2 a 6 semanas de idade (inicial), respectivamente, de 227; 175; 223 e 286 mg/ave/dia, e pela conversão alimentar de 193; 121 147 e 161 mg/ave/dia, respectivamente (Tabela 6).

Os dados de deposição de proteína corporal ajustaram-se aos modelos: linear, *broken line* e *broken line* com ascendência quadrática, enquanto que os dados de deposição de gordura corporal tiveram apenas ajuste linear, reduzindo a deposição de gordura com o aumento da ingestão de lisina. Esse resultado ratifica a hipótese que aves priorizam a excreção de nitrogênio, que acontece com alto custo energético, quando as aves são submetidas a ingestões excessivas de nitrogênio, proporcionado pela técnica de diluição.

O modelo que melhor se ajustou aos dados de ganho de peso, levando em consideração o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$) e o critério de Akaike (AIC = - 82,33) foi o *broken line* com ascendência quadrática, estimando uma ingestão diária de

lisina digestível de 223 mg/ave/dia. CONNOR et al. (1977) recomendaram 206 mg diária de lisina para otimizar o ganho de peso de frangas de reposição até seis semanas de idade, entretanto os autores fizeram esta recomendação com base em teste de média (Duncan). Todavia, RODRIGUEIRO et al. (2007) recomendou com base em modelo polinomial (quadrático) 239 mg/ave/dia de lisina digestível para pintainhas leves até seis semanas de idade, resultado semelhante ao encontrado no presente estudo.

Desta forma pode-se atribuir o resultado encontrado por CONNOR et al. (1977), como sendo resultante de um erro metodológico, tendo em vista que dados quantitativos não podem ser comparados estatisticamente por teste de média, afirmando assim a coerência do resultado estimado no presente estudo.

Tabela 6. Equações ajustadas e ingestão de lisina digestível estimada (CLis) por diferentes modelos para frangas de reposição na fase inicial (2 a 6 semanas)

Modelo	Variável / Equação	AIC	R ²	CLis (mg)
Ganho de peso (g/ave/dia)				
Quadrático	$GP = -2,75792 + 0,11334 \cdot CLis - 0,00025 \cdot CLis^2$	-81,78	0,98	226,68
Broken line	$GP = 10,0043 - 0,0567 \cdot (175,3 - CLis)$	-54,93	0,96	175,30
BLQ	$GP = 9,976 - 0,00026 \cdot (223,0 - CLis) \cdot (223,0 - CLis)$	-82,33	0,98	223,00
Exponencial	$GP = 10,87 - (10,87 - 2,804) \cdot e^{(-0,0131 \cdot (CLis - 57,535))}$	-77,91	0,98	286,22
Conversão alimentar (g/g)				
Quadrático	$CA = 9,72540 - 0,08124 \cdot CLis + 0,00021 \cdot CLis^2$	-73,75	0,91	193,43
Broken line	$CA = 2,3325 + 0,0563 \cdot (121,0 - CLis)$	-82,50	0,93	121,00
BLQ	$CA = 2,328 + 0,00046 \cdot (147,2 - CLis) \cdot (147,2 - CLis)$	-98,67	0,95	147,20
Exponencial	$CA = 2,189 - (2,189 - 6,084) \cdot e^{(-0,0290 \cdot (CLis - 57,535))}$	-105,35	0,96	160,84
Deposição de proteína corporal (g/ave/dia)				
Linear	$DPBC = 0,58183 + 0,008696 \cdot CLis$	-116,05	0,84	-
Broken line	$DPBC = 2,4748 - 0,0127 \cdot (181,3 - CLis)$	-137,19	0,91	181,30
BLQ	$DPBC = 2,52 - 0,00004 \cdot (253,9 - CLis) \cdot (253,9 - CLis)$	-132,37	0,89	253,90
Deposição de gordura corporal (g/ave/dia)				
Linear	$DGC = 1,068585 - 0,003383 \cdot CLis$	-168,15	0,73	-

BLQ = broken line com ascendência quadrática. R² = Coeficientes de determinação. AIC = Critério de Akaike.

Para conversão alimentar os dados se ajustaram melhor ao exponencial (R² = 0,96 e AIC = -105,35) estimando 160,84 mg diária de lisina digestível. Na literatura (CHUNG et al., 1973; SILVA et al., 2000a; RODRIGUEIRO et al., 2007) existe uma

grande divergência entre os valores das exigências de lisina estimada com base na conversão alimentar para frangas de reposição na fase inicial (até 6 semanas de idade), sendo estas diferenças inerentes as formas pelas quais estas exigências são estimadas.

No presente estudo optou-se por usar o critério de Akaike (AIC) como uma ferramenta para seleção do modelo ideal para estimar a ingestão ótima de lisina digestível de frangas de reposição.

A ingestão de lisina ótima para deposição de proteína corporal estimada com o modelo *Broken line* (181 mg/ave/dia) e selecionada considerando o critério de Akaike (AIC = -137) é condizente com a realidade brasileira, visto que, considerando a recomendação de ROSTAGNO et al. (2011) para frangas de reposição na fase inicial (0,876%) e o consumo de ração médio do manual da linhagem (21 g) para esta mesma fase, obtém-se uma ingestão de lisina digestível de 184 mg, valor muito próximo ao determinado no presente estudo.

Desta forma é coerente selecionar o modelo estudado, considerando como ferramenta o critério de Akaike. Segundo PAULA (2004) e BEAL (2005) o referido critério é um processo onde o objetivo é selecionar um modelo que melhor se ajuste aos dados. Diante disto, o modelo *Broken line* apresentou melhor ajuste (AIC = -137) que os demais modelos para a variável deposição de proteína corporal de frangas de reposição na fase inicial (2 a 6 semanas de idade).

Fase de cria (8 a 12 semanas de idade)

As variáveis ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição alimentadas com níveis crescentes de lisina digestível na fase de cria (8 a 12 semanas de idade) são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLis), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição na fase de cria (8 a 12 semanas de idade)

Níveis (%)	CR	CLis	GP	CA	DPBC	DGC
	g/ave/dia	mg/ave/dia	g/ave/dia	g/g	g/ave/dia	g/ave/dia
0,224	48,01	111,86	7,12	6,93	1,92	2,34
0,299	49,99	155,04	7,68	6,60	3,43	2,44
0,374	50,39	195,69	9,06	5,56	3,33	2,24
0,449	51,13	238,62	10,74	4,77	4,52	2,13
0,524	51,54	280,60	11,99	4,30	4,33	2,05
0,673	51,64	361,32	12,25	4,22	4,14	1,32
0,748	51,42	399,70	12,01	4,28	4,32	1,14
0,299	50,07	155,56	7,47	6,72	2,14	2,13
P>F	0,1124	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,1002
CV, %	4,59	4,69	3,38	5,63	14,48	21,68

P>F = Valor da probabilidade associada ao teste F. CV = coeficiente de variação.

Tabela 8. Equações ajustadas e ingestão de lisina digestível estimada (CLis) por diferentes modelos para frangas de reposição na fase de cria (8 a 12 semanas de idade)

Modelo	Variável / Equação	AIC	R ²	CLis (mg)
Ganho de peso (g/ave/dia)				
Quadrático	$GP = 1,36537 + 0,05611 \cdot CLis - 0,000072 \cdot CLis^2$	-46,62	0,93	389,65
Broken line	$GP = 12,1161 - 0,0302 \cdot (286,6 - CLis)$	-64,56	0,95	286,60
BLQ	$GP = 12,25 - 0,00007 \cdot (390,1 - CLis) \cdot (390,1 - CLis)$	-46,38	0,93	390,10
Exponencial	$GP = 13,66 - (13,66 - 6,831) \cdot e^{(-0,00606 \cdot (CLis - 111,86))}$	-35,20	0,91	606,21
Conversão alimentar (g/g)				
Quadrático	$CA = 10,33762 - 0,03443 \cdot CLis + 0,000048 \cdot CLis^2$	-78,54	0,88	358,65
Broken line	$CA = 4,2845 + 0,0174 \cdot (268,9 - CLis)$	-87,70	0,91	268,90
BLQ	$CA = 4,22 + 0,00005 \cdot (357,6 - CLis) \cdot (357,6 - CLis)$	-77,48	0,88	357,60
Exponencial	$CA = 3,758 - (3,758 - 7,039) \cdot e^{(-0,00786 \cdot (CLis - 111,86))}$	-67,65	0,86	493,00
Deposição de proteína corporal (g/ave/dia)				
Quadrático	$DPBC = -1,1899 + 0,03596 \cdot CLis - 0,000056 \cdot CLis^2$	-44,16	0,67	321,07
Broken line	$DPBC = 4,3116 - 0,0179 \cdot (232,9 - CLis)$	-44,42	0,69	232,90
BLQ	$DPBC = 4,29 - 0,0001 \cdot (265,4 - CLis) \cdot (265,4 - CLis)$	-45,07	0,69	265,40
Exponencial	$DPBC = 4,342 - (4,342 - 1,972) \cdot e^{(-0,0181 \cdot (CLis - 111,86))}$	-42,87	0,69	277,37

BLQ = broken line com ascendência quadrática. R² = Coeficientes de determinação. AIC = Critério de Akaike.

As respostas de ganho de peso, conversão alimentar e deposição de proteína corporal se ajustaram bem a todos os tipos de modelos matemáticos em que foram submetidos à análise de regressão (quadrático, *broken line*, *broken line* com ascendência quadrática e exponencial), estimando ingestões diárias de lisina digestível

para frangas de reposição na fase cria (8 a 12 semanas de idade), respectivamente, de 390; 287; 390 e 606 mg/ave/dia, com base no ganho de peso e 359, 267; 358 e 493 mg/ave/dia, respectivamente, com base na conversão alimentar e, respectivamente, 321; 233; 265 e 277 mg/ave/dia para deposição de proteína corporal, conforme Tabela 8.

O modelo que melhor ajustou-se aos dados de ganho de peso ($R^2 = 0,95$) e (AIC = -65) e conversão alimentar ($R^2 = 0,91$) e (AIC = -88) foi o *Broken line*. As estimativas das doses ótimas de lisina (GP = 287 mg/ave/dia e CA = 269 mg/ave/dia) obtidas com o uso deste modelo foram, consideravelmente menores que as recomendações existentes na literatura (CONNOR et al. 1977; NRC, 1994; SILVA et al. 2000b; ROSTAGNO et al., 2011) para frangas de reposição de 8 a 12 semanas de idade. Contudo vale ressaltar que boa parte destas recomendações foram estimadas com base no modelo polinomial quadrático, assumindo portanto, que este tipo de modelo tende a superestimar as exigências nutricionais de aves.

Para SAKOMURA & ROSTAGNO (2007) o modelo *Broken line* tem como princípio a Lei de Liebig que se baseia na ideia de que a produção pode ser inibida devido a um elemento limitante. Com um comportamento ascendente, o crescimento abruptamente se estabiliza, sendo representado por uma paralela ao eixo das abscissas. Deste modo, a Lei de Liebig é uma função formada por dois conjuntos de dados, onde o primeiro compõe a parte ascendente da reta e o segundo reúne os dados que mantêm o crescimento estável (BRAGA, 1983). Tal explicação justifica os achados do presente estudo.

A ingestão de lisina determinada para deposição de proteína corporal com o modelo *Broken line* com ascendência quadrática e selecionada considerando o critério de Akaike (AIC = -45), proporcionou resultado coerente, pois a ingestão ótima de lisina digestível encontrada (265 mg/ave/dia) não foi tão alta como aquela estimada pela derivação da equação quadrática (321 mg/ave/dia), nem tão baixa como aquela observada no modelo *Broken line* (233 mg/ave/dia).

PACK (1996) menciona que, embora o modelo *Broken line* tenha um bom ajuste estatístico, não considera os aspectos fisiológicos do animal e a lei de redução dos

retornos e, portanto, em muitos casos, subestima a ingestão ótima, por outro lado, para LAMBERSON & FIRMAM (2002), o modelo quadrático proporciona superestimativas, especialmente quando as dietas experimentais não estão igualmente distribuídas acima e abaixo das exigências. Esse comportamento se deve ao fato de o modelo quadrático assumir a simetria bilateral da resposta com a adição do nutriente, descrevendo a redução da resposta na mesma intensidade do acréscimo (EUCLYDES & ROSTAGNO, 2002). Desta forma o conjunto de dados utilizados no presente estudo sugere que nenhum modelo é necessariamente o melhor para todas as respostas obtidas, entretanto, para a deposição de proteína corporal o uso do modelo *Broken line* com ascendência quadrática apresentou interpretação simplificada das respostas biológicas das aves, possibilitando a determinação matemática de um valor, mais condizente com a exigência de frangas.

Fase de recria (14 a 18 semanas de idade)

As respostas das variáveis consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLis), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição alimentadas com níveis crescentes de lisina digestível na fase de recria (14 a 18 semanas de idade) são apresentados na Tabela 9. Houve efeito significativo ($P < 0,0001$) dos níveis de lisina digestível das dietas para todas as características avaliadas.

Os dados das variáveis ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA) e deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal foram submetidos a análises de regressão, considerando-se a ingestão de lisina digestível como variável independente, sendo ajustadas ou não aos modelos polinomial quadrático, *broken line* e *broken line* com ascendência quadrática (ROBBINS et al., 2006) e exponencial (KAPS & LAMBERSON, 2004), conforme Tabela 10.

Tabela 9. Consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLis), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal de frangas de reposição na fase de recria (14 a 18 semanas de idade)

Níveis (%)	CR	CLis	GP	CA	DPBC	DGC
	g/ave/dia	mg/ave/dia	g/ave/dia	g/g	g/ave/dia	g/ave/dia
0,173	52,30	96,38	4,56	11,54	0,05	1,25
0,231	52,97	130,17	5,14	10,31	0,30	1,87
0,289	56,36	173,13	7,06	8,07	0,99	2,38
0,347	57,00	210,45	8,63	6,62	2,21	2,09
0,405	58,27	250,95	9,48	6,15	1,95	1,93
0,520	58,99	326,50	10,48	5,63	1,92	1,87
0,578	57,67	354,65	9,70	5,95	1,92	1,60
0,231	52,92	130,04	5,11	10,37	0,10	2,08
P>F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV, %	2,44	2,52	5,32	7,50	18,00	12,22

P>F = Valor da probabilidade associada ao teste F. CV = coeficiente de variação.

Tabela 10. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangas de reposição na fase de recria (14 a 18 semanas de idade)

Modelo	Variável / Equação	AIC	R ²	CLis (mg)
Ganho de peso (g/ave/dia)				
Quadrático	GP = - 1,62229 + 0,069495*CLis - 0,000103*CLis ²	-47,08	0,94	337,35
Broken line	GP = 9,9671 - 0,0356*(254,70 - CLis)	-50,97	0,95	254,70
BLQ	GP = 10,121 - 0,0001*(341,2 - CLis)*(341,2 - CLis)	-46,70	0,94	341,20
Exponencial	GP = 11,34 - (11,43 - 4,171)*e ^{(- 0,00753*(CLis - 96,38))}	-35,37	0,93	494,22
Conversão alimentar (g/g)				
Quadrático	CA = 18,57534 - 0,08436*CLis + 0,000137*CLis ²	-36,13	0,93	307,88
Broken line	CA = 5,9101 + 0,0436*(226,4 - CLis)	-37,55	0,93	226,40
BLQ	CA = 5,77 + 0,00014*(299,1 - CLis)*(299,1 - CLis)	-35,04	0,92	299,10
Exponencial	CA = 5,206 - (5,206 - 10,736)*e ^{(- 0,0111*(CLis - 96,38))}	-25,53	0,91	366,27
Deposição de proteína corporal (g/ave/dia)				
Quadrático	DPBC = - 2,9240 + 0,03453*CLis - 0,000059*CLis ²	-36,72	0,61	292,63
BLQ	DPBC = 1,98 - 0,0007*(273,5 - CLis)*(273,5 - CLis)	-34,49	0,61	277,37
Exponencial	DPBC = 2,168 - (2,168 + 0,132)*e ^{(- 0,0124*(CLis - 96,38))}	-29,78	0,58	337,97
Deposição de gordura corporal (g/ave/dia)				
Quadrático	DGC = - 0,09997 + 0,019897*CLis - 0,000043*CLis ²	-106,23	0,53	232,90

BLQ = broken line com ascendência quadrática. R² = Coeficientes de determinação. AIC = Critério de Akaike.

As respostas de ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) foram melhor ajustadas pelo modelo *broken line* (GP: R² = 0,95 e AIC = -51; CA: R² = 0,93 e AIC = -35), sendo possível estimar ingestões de lisina digestível de 255 mg/ave/dia para GP e

226 mg/ave/dia para CA. As ingestões de lisina digestível estimadas com o modelo *broken line* foram inferior àqueles encontrados na literatura (CONNOR et al., 1977; NRC, 1994; SILVA et al., 2000c; ROSTAGNO et al., 2011) para frangas de postura na mesma fase estudada. Contudo, os dados mostram-se coerentes uma vez que foi observado comportamento semelhante na fase de criação anterior (8 a 12 semanas de idade).

MORRIS (1989) critica este modelo por levar a falsas deduções sobre o nível ótimo. Conforme o autor, a resposta individual do animal corresponde ao modelo *broken line* e tem o mesmo princípio para calcular a exigência de um nutriente pelo método fatorial, $Y = aW + bP$; em que Y é a exigência; aW é a exigência para manutenção proporcional ao peso corporal e bP é a produção proporcional ao ganho de peso. Assim, o modelo é válido, desde que seja possível medir a produção (ganho de peso) de um mesmo animal sob as mesmas condições fisiológicas para ter uma definição precisa da resposta individual.

Em um estudo para determinar exigência de lisina para suínos, COELHO et al. (1987) mostraram que, quando os níveis crescentes deste aminoácido promoveram crescimento linear até o platô, o modelo descontinuo *broken line* foi vantajoso para estimar as exigências. Corroborando desta forma aos resultados do presente estudo.

O modelo que promoveu o melhor ajuste para deposição de proteína (DPBC) e gordura (DGC) corporal foi o modelo polinomial quadrático, selecionado considerando os critérios de Akaike das variáveis (DPBC: AIC = -37 e DGC: AIC = - 106), sendo estimadas doses ótimas de lisina de 293 e 233 mg/ave/dia para DPBC e DGC, respectivamente. Segundo MORRIS (1989) um dos problemas do modelo quadrático é que este prediz a redução na resposta além da dose ótima, proporcionando um falso ajuste aos dados. Isso ocorre quando determinados nutrientes reduzem a produção quando fornecidos em excesso, portanto, a forma da curva quadrática pode variar com as doses escolhidas.

Assim ao escolher uma faixa restrita de dietas, o pesquisador pode ter uma parábola evitando um platô mais estendido. Para SAKOMURA & ROSTAGNO (2007) isso pode ser um argumento para justificar o modelo, mas perigoso, porque pressupõe

que o pesquisador tenha uma ideia de onde o nível ótimo irá ocorrer. Logo, a forma da curva quadrática varia de acordo com a faixa das doses selecionadas.

A concentração de lisina na ração é uma forma prática de expressar as exigências aminoacídicas, no entanto é influenciada pelo consumo de ração, logo, uma referência precisa é imprescindível para concluir exatamente sobre a concentração ideal do aminoácido. Na Tabela 11 estão apresentadas as recomendações da ingestão ótima de lisina digestível para cada fase, com base no ganho de peso.

Tabela 11. Exigências de lisina digestível para frangas de reposição determinadas em mg por dia (mg/dia), porcentagem em função do consumo de ração médio (% por dia) e porcentagem por Mcal de energia metabolizável da ração

Fase	Exigências de lisina digestível ⁽¹⁾		
	mg/dia	% ⁽²⁾	% por Mcal ⁽³⁾
Inicial (2 a 6 semanas)	223,00	1,086	0,375
Cria (8 a 12 semanas)	286,60	0,567	0,195
Recría (14 a 18 semanas)	254,70	0,453	0,156

⁽¹⁾Exigências de lisina digestível determinadas com base no ganho de peso.

⁽²⁾Porcentagens de lisina digestível determinadas, considerando-se consumos de ração médios de 20,5g (fase inicial), 50,6g (fase de cria) e 56,2g (fase de recría).

⁽³⁾Valores determinados, dividindo-se a porcentagem obtida em função do consumo médio de ração pelo conteúdo de energia metabolizável da ração em Mcal.

De modo geral, os resultados obtidos no presente estudo demonstram que as estimativas da ingestão ótima de lisina digestível (mg/ave/dia) sofrem influência dos modelos matemáticos utilizados na interpretação das respostas. EUCLYDES & ROSTAGNO (2002) discutiram aspectos inerentes à utilização de diferentes modelos para interpretar os resultados de estudos dose-resposta, e corroboraram aos achados no presente estudo. Mais recentemente, vários estudos foram publicados (VEDENOV & PESTI, 2008; PESTI et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2009; SILVA et al., 2010; PESTI & VEDENOV, 2011), ajustando diferentes modelos de natureza linear e não linear a resultados de experimentos dose resposta com frangos de corte, aves caipiras (ISA Label) e poedeiras comerciais em fase de crescimento e confirmaram a influência dos modelos sobre a estimativa da dose ótima.

O consenso entre os estudos acima citados é que não foi possível um único modelo oferecer o melhor ajuste às variáveis analisadas. Desse modo, recomenda-se

ajustar um modelo para cada variável e com base no modelo de melhor ajuste, utilizar a variável que propociona a maior ingestão do aminoácido. Este procedimento objetiva garantir a máxima expressão do potencial genético da população, uma que vez, a mínima dose pode restringir a expressão do máximo potencial e gerar desuniformidade no lote.

Conforme comentado, esse fato deve ser conciliado aos métodos estatísticos de estimação dos ajustes, pois nem sempre os modelos apresentam recomendações coerentes, apesar de serem ratificados por ferramentas lógicas, conforme REZENDE et al. (2007). Portanto a escolha de um modelo para avaliar um conjunto de dados deve levar em consideração, antes de tudo, os objetivos do ensaio.

O principal objetivo da indústria de aves modernas é a rentabilidade ou retorno sobre o capital empregado (PACK et al., 2003). Desse modo, o menor custo com alimentação por tonelada, não conduz necessariamente ao melhor desempenho zootécnico. RODEHUTSCORD & PACK (1999) aconselham que as formulações de rações contenham equilíbrio entre custo marginal do nutriente em relação ao rendimento marginal gerada por um melhor desempenho. Mas, isso não fácil e não existe uma solução universal “ideal”, pelo fato que o custo por unidade do nutriente e o valor adicional de desempenho dos animais não é constante (RODEHUTSCORD & PACK, 1999; PACK et al., 2003).

No entanto, a recomendação deve conciliar outros critérios, além dos mencidos acima. Resultados indicam que estas aves devem atingir um determinado peso corporal e composição da carcaça, a fim de desencadear o aparecimento da produção (SUMMERS et al., 1987). Estes fatores em combinação com estímulo luminoso no final da fase de crescimento podem proporcionar vantagens econômicas pela maior produção de ovos grande e extragrande, conforme LEESON et al. (1991).

CONCLUSÕES

Para otimizar o ganho de peso recomendam-se se 223, 286, 254 mg/ave/dia de lisina digestível nas fases inicial (2 a 6 semanas de idade), cria (8 a 12 semanas de idade) e recria (14 a 18 semanas de idade), respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AOAC. **Association of Official Analytical Chemistry**. Official methods of analysis. 16th ed. Washington, DC: AOAC, 1995. 2000p.
- BAKER, D. H.; HAN, Y. Ideal Amino Acid Profile for Chicks During the First Three Weeks Posthatching. **Poult Sci.** v. 73, n. 9, p. 1441-1447, 1994.
- BEAL, D. J. SAS[®] code to select the best multiple linear regression model for multivariate data using information criteria In: **13th Annual SouthEast SAS Users Group (SESUG)**, 2005, Portsmouth, VA,. p. 1-6.
- BRAGA, J. M. **Avaliação da fertilidade do solo (Ensaio em Campo)**. Viçosa, Imprensa Universitária, UFV, 1983. 101 p.
- CHUNG, E.; GRIMINGER, P.; FISHER, H. The Lysine and Sulfur Amino Acid Requirements at Two Stages of Growth in Chicks. **The Journal of Nutrition**. v. 103, n. 1, p. 117-122, 1973.
- COELHO, L. S. S.; COSTA, P. M. A.; SILVA, M. A.; PEREIRA, J. A. A.; ROSTAGNO, H. S.; BARBOSA, H. P. Modelos para estimar exigências nutricionais em suínos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 16, n. 1, p. 102-110, 1987.
- CONNOR, J.; FUELLING, D.; BARRAM, K. Controlled feeding of the layer. 1. Restriction of the lysine and total feed intake of the pullet in the starter, grower and developer phases. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. v. 17, n. 87, p. 581-587, 1977.

EUCLYDES, R. F.; ROSTAGNO, H. S. Planejamento experimental em avicultura e interpretação de resultados. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: Facta, 2002. p. 117-133.

FIRMAN, J.; BOLING, S. Lysine: Ideal protein in turkeys. **Poult Sci.** v. 77, n. 1, p. 105-110, 1998.

FISHER, C.; MORRIS, T. R. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. **British Poultry Science.** v. 11, n. 1, p. 67-82, 1970.

KAPS, M.; LAMBERSON, W. R. **Biostatistics for animal science.** Wallingford: CABI Publishing, 2004. 445p.

KIDD, M. T.; KERR, B. J.; ANTHONY, N. B. Dietary interactions between lysine and threonine in broilers. **Poult Sci.** v. 76, n. 4, p. 608-614, 1997.

LAMBERSON, W.; FIRMAN, J. A comparison of quadratic versus segmented regression procedures for estimating nutrient requirements. **Poultry Science**, v. 81, n. 4, p. 481-484, 2002.

LEESON, S.; CASTON, L.; SUMMERS, J. D. Significance of Physiological Age of Leghorn Pullets in Terms of Subsequent Reproductive Characteristics and Economic Analysis. **Poultry Science**, v. 70, n. 1, p. 37-43, 1991.

LESSON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition.** 2nd ed. Guelph: University Books, 1997. 350p.

MORRIS, T.R. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: **Recent developments in poultry nutrition.** London: Butterworth, 1989. p.1-11.

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

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem Computacional para Produção e Pesquisa em Avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**. v. 4, n. 1, p. 199-207, 2002.

PACK, M.; HOEHLER, D.; LEMME, A. **Economic assessment of amino acid responses in growing poultry**. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). Amino acids in farm animal nutrition. 2. Wallingford, Oxon.: CABI Publishing, 2003. cap. 25, p.459-483.

PACK, M. Models used to estimate nutrient requirements with emphasis on economic aspects. In: **International Symposium on Nutritional Requirements of Poultry and Swine**, 1996, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 43-54.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística. Universidade de São Paulo. 2004. Disponível em: < http://www.ime.usp.br/~giapaula/texto_2010.pdf >. Acesso em: 17/07/2011.

PESTI, G. M.; VEDENOV, D. An economic comparison of several models fitted to nutritional response data. **Journal of Animal Science**. 2011.

PESTI, G. M.; VEDENOV, D.; CASON, J. A.; BILLARD, L. A. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science** v. 50, n. 1, p. 16-32, 2009.

REZENDE, D. M. L. C.; MUNIZ, J. A.; FERREIRA, D. F.; SILVA, F. F. E.; AQUINO, L. H. D. Ajuste de modelos de platô de resposta para a exigência de zinco em frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 468-478, 2007.

ROBBINS, K. R.; SAXTON, A. M.; SOUTHERN, L. L. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *Journal of Animal Science*. v. 84, n. 13 suppl, p. E155-E165, 2006.

RODEHUTSCORD, M.; PACK, M. Estimates of essential amino acid requirements from dose-response studies with rainbow trout and broiler chicken: Effect of mathematical model*. **Archiv für Tierernaehrung**, v. 52, n. 3, p. 223-244, 1999.

RODRIGUEIRO, R. J. B.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C.; NUNES, R. V.; NEME, R. Exigência nutricional de lisina para poedeiras leves e semipesadas nos períodos de 1 a 3 e de 4 a 6 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 36, n. 5, p. 1365-1371, 2007.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; R.F., E. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SAKOMURA, N. K.; HAUSCHILD, L.; SILVA, E. P.; ARAUJO, J. A. Modelo fatorial para estimar exigências nutricionais de aves. In: III International Symposium on Nutritional Requirements of Poultry and Swine, 2011, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 267-296.

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

SAS INSTITUTE. SAS User's Guide: Statistics. Version. 9.1 edition. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2009.

SILVA, E. P.; SAKOMURA, N. K.; ARAUJO, J. A.; HAUSCHILD, L.; MALHEIROS, E. B.; PERUZZI, J. P.; DORIGAM, J. C. P. Análise de modelos matemáticos para estimar exigências de metionina+cistina digestíveis para frangas de reposição. In: IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal, 2010, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: CBNA/AMENA, 2010. p. 29-30.

SILVA, J. H. V.; ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, P. C.; EUCLYDES, R. F. Exigência de lisina para aves de reposição de 0 a 6 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n. 6, p. 1777-1785, 2000a.

SILVA, J. H. V.; ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, P. C.; EUCLYDES, R. F. Exigência de lisina para aves de reposição de 7 a 12 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n. 6, p. 1786-1794, 2000b.

SILVA, J. H. V.; ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, P. C.; EUCLYDES, R. F. Exigência de lisina para aves de reposição de 13 a 20 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n. 6, p. 1795-1802, 2000c.

SIQUEIRA, J. C.; SAKOMURA, N. K.; NASCIMENTO, D. C. N.; FERNANDES, J. B. K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 38, n. 9, p. 1732-1737, 2009.

SUMMERS, J. D.; LEESON, S.; SPRATT, D. Rearing Early Maturing Pullets. **Poultry Science**, v. 66, n. 11, p. 1750-1757, 1987.

VALERIO, S. R.; OLIVEIRA, R. F. M. D.; DONZELE, J. L.; ALBINO, L. F. T.; ORLANDO, U. A. D.; VAZ, R. G. M. V. Níveis de lisina digestível em rações, em que se manteve ou não a relação aminoacídica, para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, mantidos em estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 32, n. 2, p. 361-371, 2003.

VEDENOV, D.; PESTI, G. M. A comparison of methods of fitting several models to nutritional response data. **Journal of Animal Science**. v. 86, n. 2, p. 500-507, 2008.

CAPÍTULO 3 – EXIGÊNCIAS DE LISINA COM BASE NA DEPOSIÇÃO DE PROTEÍNA EM FRANGAS DE REPOSIÇÃO

RESUMO – O objetivo do estudo foi estabelecer exigências de lisina para frangas em função da deposição de proteína, eficiência de utilização de lisina e idade. Foram utilizadas 144 frangas da linhagem Dekalb White em três ensaios de balanço de Nitrogênio realizados em diferentes períodos (Período I de 14 a 28 dias; II de 56 a 70 dias e III de 98 a 112 dias de idade) com 48 aves em cada. Em cada ensaio as aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos constituídos de diferentes níveis de proteína (variando de 7,1 à 42,6%) com oito repetições sendo cada ave a unidade experimental. As dietas foram formuladas a base de milho, farelo de soja, glúten de milho e aminoácidos cristalinos, sendo a lisina como primeiro aminoácido limitante (4,48 gLis/100gPB). O intercepto da equação exponencial da excreção de N em função da ingestão foi utilizado para estimar os coeficientes das exigências para manutenção por peso metabólico. Os valores determinados foram 369,6; 361,6 e 399,3 mg/PV_{kg}^{0,67} nos ensaios I, II e III, respectivamente. Com base na assíntota da função inversa exponencial entre ingestão e retenção de N, estimou-se o máximo teórico de retenção de N diário ($NR_{max}T = 1278; 1141 \text{ e } 1582 \text{ mg/PV}_{kg}^{0,67}$) para os períodos I, II, e III, respectivamente. Considerando a porcentagem média da deposição proteica, recomenda-se consumos de lisina digestível, de 225, 312 e 283 mg/dia para o período I, II e III, respectivamente. O que equivale a concentração 0,899; 0,624 e 0,472% na ração para o consumo diário de ração de 25, 50 e 60 g.

Palavras Chave: balanço de nitrogênio, deposição proteica, modelagem

LYSINE REQUIREMENTS ACCORDING TO IN PROTEIN DEPOSITION IN PULLETS

SUMMARY – The aim of this study was to determine lysine requirements for pullets as a function of protein deposition efficiency of lysine utilization and age. One hundred forty four pullets White Dekalb strain were used in three assays nitrogen balance performed in different periods (Period I of 14-28 days; II of 56-70 days and III of 98-112 days of age) with 48 birds each. In each trial the birds were distributed in a completely randomized design with six treatments consisting of different levels of protein (from 7.1 to 42.6%) with eight replicates of one bird was the experimental unit. Diets were formulated based on corn, soybean meal, corn gluten and crystalline amino acids, with lysine as first limiting amino acid (4.48 gLys/100gCP). The intercept of the equation N excretion as a function of intake was used to estimate the coefficients of the requirements for maintenance of metabolic weight. The values determined were 369.6, 361.6 and 399.3 mg/BW_{kg}^{0.67} tests I; II and III, respectively. Based on the asymptote of the inverse exponential relationship between ingestion and retention of N, was estimated theoretical maximum retention of N log (NR_{max}T = 1278; 1141 and 1582 mg/BW_{kg}^{0.67}) for the periods I, II, and III, respectively. Whereas the mean percentage of protein deposition, it is recommended intake of lysine, 225, 312 and 283 mg/day for the period I, II and III, respectively. The concentration equivalent to 0.899, 0.624 and 0.472% in diet for the average daily intake of 25; 50 and 60g.

Keywords: growth potential, modeling, nitrogen balance

INTRODUÇÃO

A estimativa precisa das exigências de aminoácidos para aves de postura em fase de crescimento é essencial para otimizar a resposta das aves na recria e consequentemente o futuro desempenho reprodutivo. Modelos baseados no crescimento têm sido frequentemente utilizados para estimar as exigências e como ferramentas essenciais para definir estratégias nutricionais (HURWITZ et al., 1978; HURWITZ et al., 1980; HURWITZ et al., 1983). O uso desses modelos e a definição de estratégias são dependentes da correta determinação do máximo potencial genético de deposição de proteína (PD_{max}). No entanto, a descrição do PD_{max} para frangas de reposição é algo ainda pouco explorado e isto dificulta o emprego desta teoria para estimar as exigências aminoacídicas.

Estudos clássicos enfocando as exigências de aminoácidos para aves têm sido baseados no crescimento “normal” descrito pela função de Gompertz (EMMANS & OLDHAM, 1988) ou por alometria (EMMANS, 1981; RIVERA-TORRES et al., 2011; ZELENKA et al., 2011). Em comum estas metodologias não descrevem o máximo potencial de deposição de proteína. Diante disto uma nova abordagem metodológica para estimar as exigências aminoacídicas, de acordo com o PD_{max} vem sendo desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Goettingen (SAMADI & LIEBERT, 2006b; LIEBERT & BENKENDORFF, 2007; SAMADI & LIEBERT, 2007a; 2008; WECKE & LIEBERT, 2009).

Nessa metodologia para descrição do PD_{max} as aves são submetidas à diferentes ingestões de proteína e a deposição de proteína é mensurada. A máxima deposição de proteína é estimada pela assintota da função exponencial desta relação. Desse modo, assume-se que os fatores inerentes ao crescimento dos animais como genótipo, idade e sexo possam ser considerados (SAMADI & LIEBERT, 2006a) ao estimar os níveis ideais de aminoácidos na dieta das aves. Dentre as vantagens desta metodologia lista-se praticidade na execução, curta duração, baixo custo, além de todos os parâmetros do modelo serem estimados em um único ensaio de balanço de nitrogênio.

A lisina é o aminoácido referencia no conceito de proteína ideal, desta forma todos os aminoácidos são relacionados à lisina (FIRMAN & BOLING, 1998). Quando a exigência de lisina é alterada por fatores dietéticos, ambientais e genéticos, a relação ideal dos aminoácidos essenciais em relação à lisina permanece inalterada, permitindo a atualização rápida e fácil das necessidades de todos os aminoácidos.

Diante do exposto, a atualização das exigências nutricionais de lisina para as aves de postura em crescimento utilizando metodologias inovadoras como a de Goettingen, justifica-se pelo melhoramento contínuo das linhagens com novos produtos genéticos e com características de produção superiores aos já existentes estarem sendo, constantemente lançados no mercado (SILVA et al., 2000b). Baseado nestas considerações, o objetivo do presente estudo foi estabelecer as exigências de lisina digestível para aves de postura na fase de crescimento em função da deposição de proteína e eficiência de utilização de lisina.

MATERIAL E MÉTODOS

Três ensaios de balanço de nitrogênio de acordo com os intervalos de idade (I: 14 a 28 dias; II: 56 a 70 dias e III: 98-112 dias) foram conduzidos no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV / UNESP, Jaboticabal – SP.

Um total de 144 frangas de reposição da linhagem Dekalb White foram utilizadas nos três ensaios de balanço de nitrogênio. A média de peso corporal dentro dos intervalos de idade foram 176 ± 13 g (I), 536 ± 66 g (II) e 945 ± 96 g (III). Os ensaios foram delineados inteiramente ao acaso com seis tratamentos e oito repetições de uma ave por unidade. Os tratamentos consistiram de seis níveis de proteína bruta (N1 = 7,1%; N2 = 14,2%; N3 = 21,3%; N4 = 28,4%; N5 = 35,5% e N6 = 42,6% de proteína bruta na matéria seca).

Instalações e manejo experimental

As aves foram alojadas individualmente em gaiolas de metabolismo, equipadas com comedouros individuais e bebedouros tipo *nipple*. Os ensaios dentro de cada período tiveram duração de 15 dias, com os primeiros cinco dias de adaptação e os últimos dez dias para coleta total das excretas. Nos dois primeiros dias do período de adaptação, o fornecimento de ração foi *ad libitum* para determinar o nível alimentar adequado sob as condições de gaiolas metabólicas. Em seguida as aves receberam alimentação controlada com base no peso metabólico por mais três dias, tomando como base o consumo *ad libitum* dos dois dias anteriores. Ao final da adaptação foi iniciado o período de coleta total de excretas (10 dias), no início e no quinto dia de coleta as aves foram pesadas para correção do fornecimento de ração para um intervalo de cinco dias. O consumo foi corrigido para ser o mais próximo possível do *ad libitum*.

Dietas experimentais

As rações foram formuladas pela técnica da diluição, conforme FISHER & MORRIS (1970), mantendo-se constante a relação ideal aminoácido/lisina digestíveis proposta por ROSTAGNO et al. (2005). A dieta concentrada foi formulada a base de milho, farelo de soja, glúten de milho e aminoácidos cristalinos, contendo a lisina como o primeiro aminoácido limitante numa concentração de 4,48 g/100 g de PB. A dieta isenta de proteína foi formulada contendo os mesmos níveis nutricionais da concentrada. A dieta concentrada foi diluída com a dieta isenta de proteína. A partir de sucessivas diluições foram obtidos as demais dietas com níveis de proteína bruta variando de 7,1 à 42,6%.(Tabela 1). Todas as dietas foram isonutrientes, variando apenas a proteína, mas mantendo a mesma relação dos aminoácidos sendo a lisina limitante em todas as dietas (Tabelas 2 e 3).

Tabela 1. Composição percentual das dietas experimentais

Ingredientes (%)		Dietas ⁽¹⁾				
	Isenta de proteína			Concentrada		
Farelo de soja	-				59,61	
Milho	-				16,07	
Milho farelo glúten (60%)	-				14,72	
Óleo de soja	5,00				5,89	
Fosfato bicálcico	2,33				1,60	
Calcário	0,58				1,03	
Sal comum	0,41				0,41	
DL- Metionina (99%)	-				0,39	
Suplemento vitamínico ⁽¹⁾	0,10				0,10	
Cloreto de colina (70%)	0,07				0,07	
Areia lavada	7,00				-	
Cloreto de potássio	0,76				-	
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,05				0,05	
L- treonina (99%)	-				0,05	
Amido de milho	57,33				-	
Açúcar	10,00				-	
Antioxidante	0,01				0,01	
L-lisina HCl (78,5%)	-				0,01	
Casca de arroz	16,36				-	
Total	100,00				100,00	
Níveis de proteína bruta (%)						
Dietas	7,1	14,2	21,3	28,4	35,5	42,6
Concentrada	16,03	32,82	49,62	66,41	83,21	100,00
Isenta de proteína	83,97	67,18	50,39	33,59	16,80	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Aminoácidos digestíveis (%) - Composição analisada						
Lisina, %	0,51	0,68	0,85	1,02	1,18	1,69
Metionina+cistina, %	0,43	0,57	0,72	0,86	1,00	1,43
Metionina, %	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,96
Triptofano, %	0,12	0,15	0,19	0,23	0,27	0,39
Treonina, %	0,39	0,53	0,66	0,79	0,92	1,31
Arginina, %	0,67	0,90	1,12	1,35	1,57	2,24
Valina, %	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,60
Isoleucina %	0,46	0,62	0,77	0,92	1,08	1,54
Leucina, %	1,07	1,43	1,79	2,15	2,50	3,58

⁽¹⁾Composição calculada: Energia metabolizável = 2.950kcal/kg; P disponível = 0,44%, Ca = 0,94%; Na = 0,18%, Cl = 0,26% min., K = 0,25% min., Fibras bruta = 5,53% max. ⁽²⁾Conteúdo/kg: Ácido fólico = 950mg, Ácido pantotênico = 12.000mg, Niacina = 38.000mg, Biotina = 60mg, Vit. A = 8.000.000 UI, Vit. B1 = 2.400mg, Vit. B12 = 12.000mg, Vit. B2 = 5.950mg, Vit. B6 = 2.500mg, Vit. D3 = 2.300.000 UI, Vit. E = 12.350mg, Vit. K3 = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 250mg, Veículo q.s.p. 1.000g. ⁽³⁾Conteúdo/kg: Mn = 200.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 160.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, Veículo q.s.p. 1.000g.

Tabela 2. Perfil aminoacídico da proteína dietética das rações

Aminoácidos	Concentração (g/100g de PB)	Relação ideal (Lys = 100)
Lisina	4,48	100
Metionina+cistina	3,79	85
Metionina	2,53	57
Triptofano	1,02	23
Treonina	3,48	78
Arginina	5,94	133
Valina	4,24	95
Isoleucina	4,07	91
Leucina	9,48	212

Análises laboratoriais

As excretas foram coletadas uma vez ao dia e no final de cada ensaio foram pesadas e congeladas (-20°C) até a pré-secagem. As amostras foram liofilizadas por 72h (-80°C; -800mbar; Edwards 501, Thermo®) e pesadas novamente, sendo na sequência, processadas em moinho de bola (MA-350, Marconi®) por 2 min. Os teores de nitrogênio total das excretas e das dietas foram quantificados utilizando-se o método de Kjeldahl (AOAC, 1995) em destilador de nitrogênio (Kjeltec™ 8400; Foss®). Considerando proteína bruta = N x 6,25.

Modelagem e análises estatísticas

Coeficiente de exigência de manutenção em N. A exigência de nitrogênio para manutenção (NMR, mg/BW_{kg}^{0,67}) foi obtido por meio da relação entre a ingestão de nitrogênio (NI, mg/PV_{kg}^{0,67}) e nitrogênio excretado (NEX, mg/PV_{kg}^{0,67}), considerando NMR o intercepto da função exponencial no NEX para NI=0, conforme a equação 1:

$$NEX = NMR * e^{b * NI} \quad (1)$$

Máximo potencial de retenção de nitrogênio. Com base na função exponencial entre ingestão de nitrogênio (NI, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia) e retenção de nitrogênio (NR,

mg/PV_{kg}^{0,67}/dia), o máximo teórico de retenção de nitrogênio foi estimado (NR_{max}T, mg/PV_{kg}^{0,67}) para os períodos I, II, e III, conforme a equação 2:

$$NR = NR_{max}T (1 - e^{b * NI}) \quad (2)$$

Onde b = inclinação da curva de retenção de nitrogênio (indica a qualidade da proteína alimentar independente da ingestão de nitrogênio) e e = número de Euler.

Máximo potencial de deposição de proteína. Com base na função exponencial entre ingestão de nitrogênio (NI, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia) e deposição de nitrogênio (ND, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia), o máximo teórico de retenção de nitrogênio foi estimado (ND_{max}T, mg/PV_{kg}^{0,67}) para os períodos I, II, e III, conforme a equação 3:

$$ND = NR_{max}T (1 - e^{b * NI}) - NMR \quad (3)$$

Qualidade da proteína alimentar. O parâmetro do modelo para a qualidade da proteína (b) é calculada de acordo com equação 4:

$$b = [\ln NR_{max}T - \ln(NR_{max}T - NR)] / NI \quad (4)$$

Estimando exigências em aminoácidos. A equação (5) seguinte foi aplicada para modelar as exigências do aminoácido limitante (LAA):

$$LAAI = [\ln NR_{max}T - \ln (NR_{max}T - NR)] / 16bc^{-1} \quad (5)$$

Onde LAAI é a ingestão diária do LAA dependendo do desempenho e eficiência do LAA (mg/PV_{kg}^{0,67}) e bc⁻¹ é a inclinação entre a concentração LAA (c) e qualidade da proteína alimentar (b).

Os dados foram analisados estatisticamente usando o pacote estatístico SAS (versão 9.1), por meio do procedimento PROC NLIN para ajuste de modelos não lineares. O método para ajustar o conjunto de dados para que a soma dos quadrados das distâncias entre o modelo e cada um dos pontos seja a menor possível foi o algoritmo de Levenberg-Marquardt.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) e máximo teórico diário de retenção de nitrogênio (NR_{max}T)

A deposição de nitrogênio (ND) foi influenciada pelas diferentes concentrações de proteína bruta na dieta (N1 = 7,1% a N6 = 42,6%) nos três períodos avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Médias para peso vivo (PV, g/ave) ingestão de nitrogênio (NI, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia), nitrogênio excretado (NEX, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia) e nitrogênio depositado (ND, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia) nos períodos I, II e III

Níveis Proteína Bruta(%)						
	7,1	14,2	21,3	28,4	35,5	42,6
Período I (14 a 28 dias)						
PV	154 ± 4,5	207 ± 8,5	239 ± 4,4	244 ± 9,6	245 ± 3,6	241 ± 2,6
NI	431 ± 24	992 ± 23	1446 ± 8,1	1935 ± 19	2436 ± 86	2911 ± 63
NEX	385 ± 20	654 ± 41	897 ± 34	1258 ± 65	1776 ± 90	2136 ± 51
ND	46 ± 16	339 ± 25	549 ± 36	678 ± 67	660 ± 95	775 ± 92
Período II (56 a 70 dias)						
PV	521 ± 5,1	577 ± 4,3	590 ± 4,5	607 ± 7,3	599 ± 6,8	598 ± 10
NI	467 ± 11	919 ± 16	1372 ± 23	1815 ± 26	2383 ± 89	2884 ± 74
NEX	416 ± 15	575 ± 34	845 ± 75	1193 ± 59	1580 ± 91	2053 ± 90
ND	51 ± 7,5	343 ± 35	527 ± 64	622 ± 67	803 ± 208	831 ± 94
Período III (98 a 112 dias)						
PV	839 ± 7,6	916 ± 15	952 ± 13	924 ± 21	960 ± 13	931 ± 14
NI	491 ± 10	932 ± 25	1407 ± 29	1948 ± 31	2455 ± 81	3040 ± 49
NEX	393 ± 28	607 ± 36	921 ± 32	1000 ± 76	1310 ± 97	1927 ± 93
ND	98 ± 25	325 ± 19	487 ± 15	485 ± 14	1145 ± 96	1113 ± 99

Os dados de NI, NEX e ND foram ajustados por equações exponenciais para estimar as necessidades diárias para manutenção (NMR, mg/PV_{kg}^{0,67}) e o máximo teórico de retenção de nitrogênio diário (NR_{max}T, mg/PV_{kg}^{0,67}) foram estimados para os períodos I, II e III, respectivamente (Figuras 1 e Tabela 4).

O aumento do nitrogênio excretado (NEX, mg/PV_{kg}^{0,67}) está relacionado com o aumento da ingestão de nitrogênio (NI, mg/PV_{kg}^{0,67}) pelas aves dentro de cada período avaliado. A relação exponencial entre NEX e NI permitiu através de uma extrapolação determinar o NMR (LIEBERT et al. (2006). Respostas semelhantes foram obtidas na literatura (SAMADI & LIEBERT, 2006a; WECKE & LIEBERT, 2009) para aves e suínos.

A equação $NEX = NMR (e^{b \cdot NI})$ descrita na Figura 1 foi obtida pela relação exponencial entre NEX (eixo Y) e NI (eixo X), sendo que o intercepto no eixo Y (NI=0)

representa a quantidade que deve ser ingerida de N para compensar as perdas endógenas e metabólicas. Desta forma, observou-se que os resultados para NMR ($\text{mg}/\text{PV}_{\text{kg}}^{0,67}/\text{dia}$) foram semelhantes para os períodos I e II, entretando, foi aproximadamente 10% superior no período III.

O modo como estes valores foram estimados, com aves alimentadas, é a explicação mais lógica para as respostas de NMR obtidas, pois a definição de exigência para manutenção proposta pelos pesquisadores (THONG & LIEBERT, 2004; SAMADI & LIEBERT, 2006a; 2007b; 2008; WECKE & LIEBERT, 2009), consiste em sua essência que a ave em estado de jejum continua excretando (perda endógena e metabólica). Assim, os pesquisadores propuseram que as perdas inevitáveis devam ser repostas e sua magnitude esteja ligada ao genótipo, idade e sexo da ave.

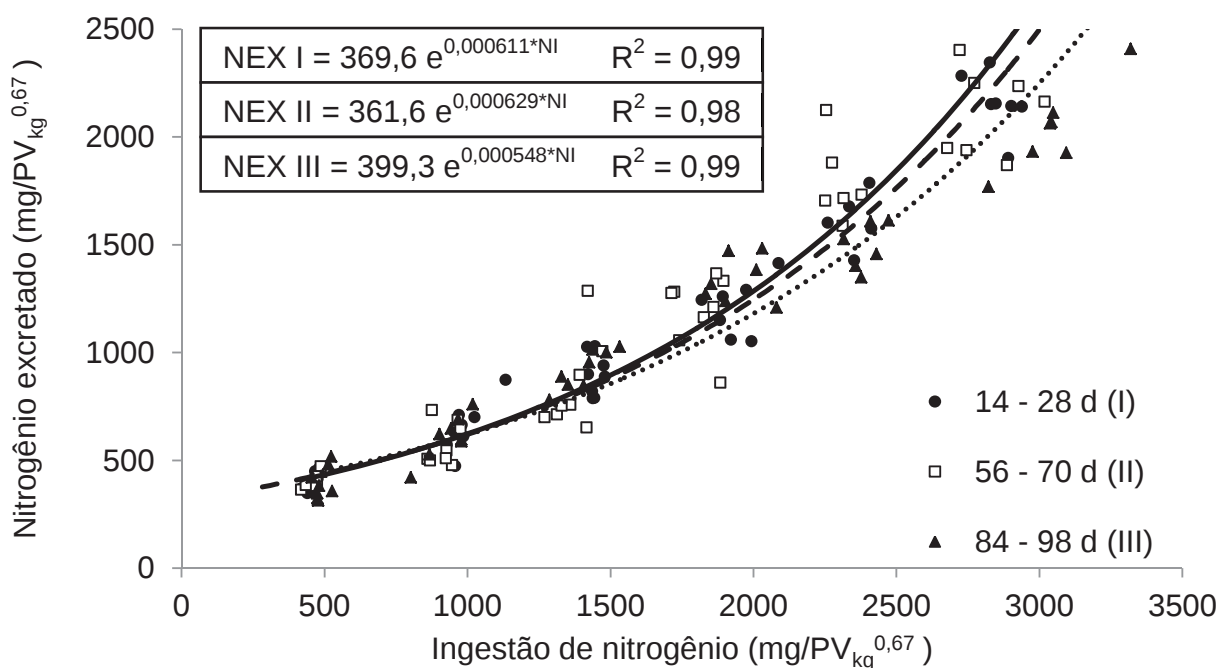


Figura 1. Estimativa das exigências de nitrogênio para manutenção (NMR) determinados a partir de funções exponenciais entre ingestão de nitrogênio e excreção de nitrogênio para frangas de reposição em diferentes períodos (I, II e III).

Tabela 4. Peso vivo (PV, g), exigência de nitrogênio para manutenção (NMR, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia) e máximo teórico de retenção de nitrogênio (NR_{max}T, mg/PV_{kg}^{0,67}/dia) de acordo com a idade

Idade	PV	NMR	NR _{max} T
13 a 28 dias	222 ± 5,5	369,6	1277,7
55 a 70 dias	582 ± 6,3	361,6	1141,5
97 a 112 dias	920 ± 14,0	399,3	1581,7

A exigência de nitrogênio para manutenção determinada com base no balanço de nitrogênio (BASAGLIA et al., 1998) e abate comparativo (ALBINO et al., 1994) por equação linear entre nitrogênio ingerido e retenção de nitrogênio corporal para aves de reposição, variaram de 380 a 540 mg/kg^{0,75}/dia, respectivamente. SILVA et al. (2011) estimou a exigência de nitrogênio para manutenção de pintainhas de postura pelos modelos exponencial e quadrático, obtendo estimativas, respectivamente, de 204 e 27 mg/PV_{kg}^{0,67}/dia. No geral, os modelos utilizados no presente estudo e os da literatura apresentaram bom ajuste aos dados, no entanto, apresentam pressuposições matemáticas distintas. O exponencial por se tratar de um modelo assintótico, assume a lei dos mínimos retornos, aplicável nas condições experimentais, em que o NEX sempre aumentará com aumento do NI, biologicamente interpretável. Enquanto que o modelo polinomial quadrático tende a subestimar a condição das aves submetidas ao maior nível de restrição de nitrogênio. Dessa forma, as diferenças observadas entre os valores da literatura (ALBINO et al., 1994; BASAGLIA et al., 1998) em relação aos observados no presente estudo podem ser devidas as funções matemáticas utilizadas.

Com base na diferença entre NR_{max}T e NMR foi estimado o máximo teórico de deposição de nitrogênio diário (ND_{max}T = 908,1; 779,9 e 1,182,4 mg/PV_{kg}^{0,67}) para os períodos I, II, e III, respectivamente (Figura 2).

O termo "teórico" atribuído as variáveis ND_{max}T e NR_{max}T é utilizado para representar a máxima deposição em uma condição sem restrições. Contudo, em condições de produção devido alguns fatores externos (dieta, ambiente, sanidade, etc) dificilmente a ave expressa a sua máxima deposição proteica (THONG & LIEBERT, 2004; SAMADI & LIEBERT, 2006a; SAMADI & LIEBERT, 2007b; SAMADI & LIEBERT, 2008; WECKE & LIEBERT, 2009). Contudo, essas estimativas teóricas permitem

determinar o máximo potencial genético de uma determinada linhagem. Com base nas condições de cada granja, portanto, é possível estabelecer um potencial real (PD_{max}).

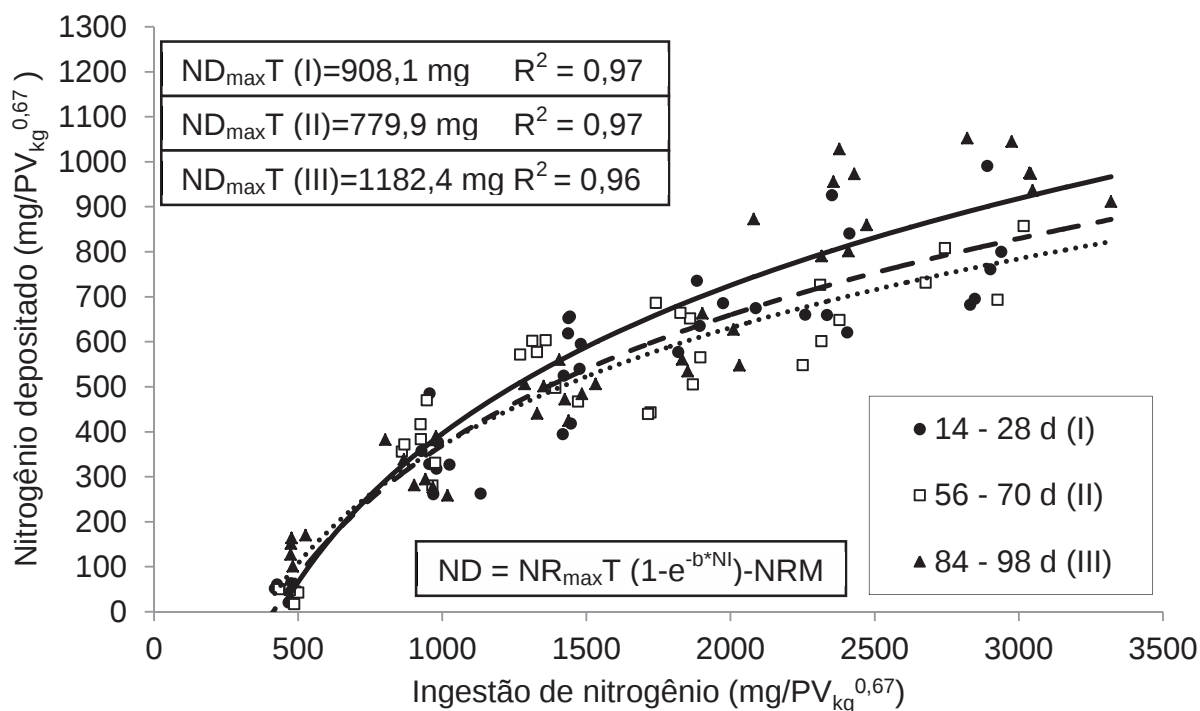


Figura 2. Estimativa da $ND_{max}T$ de frangas de reposição, com base na relação entre o nitrogênio ingerido e o nitrogênio depositado (balanço de nitrogênio) em diferentes períodos de idade (I; II e III).

Modelagem para estimar as exigências de lisina para poedeiras em crescimento

Uma forma prática para otimizar os níveis dietéticos das aves, tem sido feito a partir de definições de percentagens da máxima deposição teórica de proteína diária, o $PD_{max}T$ (THONG & LIEBERT, 2004; SAMADI & LIEBERT, 2007a). A concentração ótima de lisina estimada no presente estudo foi estabelecida considerando o $ND_{max}T$ de cada período, a deposição proteína, eficiência de utilização da lisina dietética e ingestão diária de ração. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7. Para

aplicações práticas, 50, 60 e 70% dos $ND_{max}T$ foram assumidos como objetivo de desempenho que podem ser valores mais próximos do nível real de deposição de proteína diária.

No período I (13 a 28 dias), quando se utilizou 60% da deposição diária de proteína (valor médio) e uma ingestão média de ração (25 g), a exigência de lisina digestível calculada foi 0,899% (Tabela 5). Resultados semelhantes são recomendados pelo NRC (1994) e por ROSTAGNO et al. (2011) para frangas de linhagens leves até seis semanas de idade, o que corrobora com a abordagem proposta no do presente estudo.

Tabela 5. Exigência de lisina (Lis) digestível de frangas de reposição (Dekalb White) em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína, consumo de ração e peso⁽¹⁾ vivo corporal

Período I (13 a 28 dias)			
Deposição de Proteína (g/dia)	2,8 ⁽²⁾	3,4 ⁽³⁾	4,0 ⁽⁴⁾
Eficiência de Lis (bc^{-1})		85	
Exigência Lis (mg/ $PV_{kg}^{0,67}$ /dia)	577,9	616,0	655,5
Exigência Lis (mg/dia)	210,8	224,7	239,1
Consumo diário de ração (g)	Concentração ótima de lisina na ração (%)		
20 ⁽⁵⁾	1,054	1,124	1,196
25 ⁽⁶⁾	0,843	0,899	0,956
30 ⁽⁷⁾	0,703	0,749	0,797

⁽¹⁾Média de peso corporal = 222 g. ⁽²⁾Deposição = 50% do $ND_{max}T$. ⁽³⁾Deposição = 60% do $ND_{max}T$. ⁽⁴⁾Deposição = 70% do $ND_{max}T$. ⁽⁵⁾Aproximadamente 80% do consumo de ração obtido no ensaio de campo. ⁽⁶⁾Consumo de ração obtido no ensaio de campo. ⁽⁷⁾Aproximadamente 120% do consumo de ração obtido no ensaio de campo.

A recomendação (0,899%) estimada para frangas poedeiras em crescimento no período I (13 a 28 dias) corrobora com diversos estudos (CHUNG et al., 1973; CONNOR et al., 1977; NRC, 1994; SILVA et al., 2000a; RODRIGUEIRO et al., 2007; ROSTAGNO et al., 2011). Portanto, o método é válido e preciso, pois estimou exigências de lisina similares as recomendadas na literatura para pintainhas na fase inicial de crescimento. Isto provavelmente ocorreu em função da utilização da metodologia utilizada no estudo (SAMADI & LIEBERT, 2006b; LIEBERT & BENKENDORFF, 2007; SAMADI & LIEBERT, 2007a; 2008; WECKE & LIEBERT,

2009), que utiliza o método fatorial e o balanço de nitrogênio e estima a exigência média de lisina com base em um percentual da máxima deposição de nitrogênio determinado.

Desta forma, torna-se possível considerar as diferenças de consumo de ração e deposição de proteína e prever um plano nutricional em função dos diferentes sistemas de produção. Através da modelagem apresentada é possível recomendar exigências de lisina para frangas de reposição com maior acurácia, basta para tanto, ter conhecimento do consumo de ração, bem como do potencial genético dos animais. Uma vez que, a concentração ótima de lisina na ração (%) varia em função da deposição diária de proteína e da ingestão de ração pelas aves.

No período II (55 a 70 dias) foi utilizado 60% da deposição diária de proteína (valor médio) e uma ingestão média de ração (50 g). A exigência de lisina digestível estimada em miligrama por dia foi um pouco maior do que o valor estimado para os demais períodos (I e III, respectivamente), conforme Tabela 6.

Tabela 6. Exigência de lisina (Lis) digestível de frangas de reposição (Dekalb White) em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína, consumo de ração e peso⁽¹⁾ vivo corporal

Período II (55 a 70 dias)			
Deposição de proteína (g/dia)	2,4 ⁽²⁾	2,9 ⁽³⁾	3,4 ⁽⁴⁾
Eficiência de Lis (bc ⁻¹)		105	
Exigência Lis (mg/PV _{kg} ^{0,67} /dia)	433,8	448,7	463,8
Exigência Lis (mg/dia)	301,9	312,2	322,7
Consumo diário de ração (g)	Concentração ótima de lisina na ração (%)		
45 ⁽⁵⁾	0,671	0,694	0,717
50 ⁽⁶⁾	0,604	0,624	0,645
55 ⁽⁷⁾	0,549	0,568	0,587

⁽¹⁾Média de peso corporal = 546 g. ⁽²⁾Deposição = 50% do ND_{max}T. ⁽³⁾Deposição = 60% do ND_{max}T.

⁽⁴⁾Deposição = 70% do ND_{max}T. ⁽⁵⁾Aproximadamente 90% do consumo de ração obtido no ensaio de campo. ⁽⁶⁾Consumo de ração obtido no ensaio de campo. ⁽⁷⁾Aproximadamente 110% do consumo de ração obtido no ensaio de campo.

A concentração ótima de lisina na ração (0,624%) estimada em função da deposição diária de proteína (valor médio) e ingestão média de ração (50 g) apresenta valor semelhante à recomendação para aves de reposição leves de 7 a 12 semanas de

idade (0,621% de lisina digestível), proposta pelas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2011).

Avanços na área da genética têm proporcionado reduções na idade ao primeiro ovo de aves de postura em um dia por ano nas últimas décadas (LESSON & SUMMERS, 1997). Nesse contexto, o uso da modelagem utilizada no presente estudo pode contribuir com a adequação de programas nutricionais para estas aves durante a fase de crescimento, pois o objetivo destes programas tem sido estabelecer dietas que permitam as aves expressarem o seu máximo potencial genético. Atendendo esse objetivo, pressupõe-se que os índices produtivos durante o período de produção de ovos sejam otimizados.

No período III (97 a 112 d), se utilizou 60% da deposição diária de proteína (valor médio) e uma ingestão média de ração (60 g). A exigência de lisina digestível calculada foi 0,472% (Tabela 7). O nível de lisina digestível estimado para o período III está de acordo com resultados da literatura (CONNOR et al., 1977; NRC, 1994; SILVA et al., 2000b; ROSTAGNO et al., 2011) para aves de postura na fase de crescimento (13 a 18 semanas de idade).

Tabela 7. Exigência de lisina (Lis) digestível de frangas de reposição (Dekalb White) em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína, consumo de ração e peso⁽¹⁾ vivo corporal

Período III (97 a 112 dias)			
Deposição de proteína (g/dia)	3,7 ⁽²⁾	4,4 ⁽³⁾	5,2 ⁽⁴⁾
Eficiência de Lis (bc ⁻¹)		119	
Exigência Lis (mg/PV _{kg} ^{0,67} /dia)	290,2	299,6	309,1
Exigência Lis (mg/dia)	274,4	283,3	292,3
Consumo diário de ração (g)	Concentração ótima de lisina na ração (%)		
55 ⁽⁵⁾	0,499	0,515	0,532
60 ⁽⁶⁾	0,457	0,472	0,487
65 ⁽⁷⁾	0,422	0,436	0,450

⁽¹⁾Média de peso corporal = 920 g. ⁽²⁾Deposição = 50% do ND_{max}T. ⁽³⁾Deposição = 60% do ND_{max}T.

⁽⁴⁾Deposição = 70% do ND_{max}T. ⁽⁵⁾Aproximadamente 92% do consumo de ração obtido no ensaio de campo. ⁽⁶⁾Consumo de ração obtido no ensaio de campo. ⁽⁷⁾Aproximadamente 108% do consumo de ração obtido no ensaio de campo.

A escolha da porcentagem média (60%) da deposição diária de proteína foi realizada com base em resultados de estudos com frangos de corte presentes na literatura (SAMADI & LIEBERT, 2006a; 2007b; a). No entanto, observa-se que as estimativas variam não só em função da porcentagem de deposição diária de proteína, como também, em função da ingestão diária de ração. SAMADI & LIEBERT (2007a) salientam que a previsão do consumo de ração é de grande importância para classificar os resultados estimados pela modelagem.

O procedimento de modelagem apresentado foi desenvolvido para fazer uso de seus princípios para estimar exigências de aminoácidos para várias espécies de animais (THONG & LIEBERT, 2004; SAMADI & LIEBERT, 2006a; 2007b; 2008; LIEBERT & BENKENDORFF, 2007; WECKE & LIEBERT, 2009). Em geral, essa abordagem possui inúmeras vantagens que colaboram com a base metodológica para avaliação das exigências de aminoácidos de aves de postura em fase de crescimento.

CONCLUSÕES

Considerando a porcentagem média da deposição proteica de aves de reposição da linhagem Dekalb White, recomenda-se consumos de lisina digestível, de 225 mg/dia (1 a 6 semanas de idade), 312 mg/dia (7 a 12 semanas de idade) e 283 mg/dia (13 a 18 semanas de idade), respectivamente.

Com base no consumo de 25; 50 e 60 g de ração por ave/dia, as recomendações de lisina digestível para aves de postura em crescimento são 0,899% (1 a 6 semanas), 0,624% (7 a 12 semanas), e 0,472% (13 a 18 semanas), respectivamente.

REFERÊNCIAS

ALBINO, L. F. T.; FIALHO, F. B.; BELLAYER, C.; HARA, C.; PAIVA, G. J. Estimativas das exigências de energia e proteína para frangas de postura em recria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 29, n. 10, p. 1625-1629, 1994.

AOAC. **Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis.** 16th ed. Washington, DC: AOAC, 1995. 2000p.

BASAGLIA, R.; SAKOMURA, N. K.; RESENDE, K. T.; SILVA, R.; JUNQUEIRA, O. M. Exigências de Proteína para Frangas de Postura de 1 a 18 Semanas de Idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 27, n. 3, p. 556-563, 1998.

CHUNG, E.; GRIMINGER, P.; FISHER, H. The Lysine and Sulfur Amino Acid Requirements at Two Stages of Growth in Chicks. **The Journal of Nutrition**. v. 103, n. 1, p. 117-122, 1973.

CONNOR, J.; FUELLING, D.; BARRAM, K. Controlled feeding of the layer. 1. Restriction of the lysine and total feed intake of the pullet in the starter, grower and developer phases. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. v. 17, n. 87, p. 581-587, 1977.

EMMANS, G. C. **A model of the growth and feed intake in ad libitum fed animals, particularly poultry.** In: (Ed.). Computers in Animal Production: Occasional Publication N. 5. British Society of Animal Production, 1981. p.103–110.

EMMANS, G. C.; OLDHAM, J. D. **Modelling of growth and nutrition in different species.** In: KORVER, S. V. A., J.A.M. (Ed.). Modelling of livestock production systems. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.13-21.

FIRMAN, J.; BOLING, S. Lysine: Ideal protein in turkeys. **Poult Sci**. v. 77, n. 1, p. 105-110, 1998.

FISHER, C.; MORRIS, T. R. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. **British Poultry Science**. v. 11, n. 1, p. 67-82, 1970.

HURWITZ, S.; FRISCH, Y.; BAR, A.; EISNER, U.; BENGAL, I.; PINES, M. The amino acid requirements of growing turkeys. 1. Model construction and parameter estimation. **Poult Sci**. v. 62, n. 11, p. 2208-2217, 1983.

HURWITZ, S.; PLAVNIK, I.; BARTOV, I.; BORNSTEIN, S. The amino acid requirements of chicks: Experimental validation of model-calculated requirements. **Poult Sci.** v. 59, n. 11, p. 2470-2479, 1980.

HURWITZ, S.; SKLAN, D.; BARTOV, I. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. **Poult Sci.** v. 57, n. 1, p. 197-205, 1978.

LESSON, S.; SUMMERS, J. D. **Commercial poultry nutrition.** 2nd ed. Guelph: University Books, 1997. 350p.

LIEBERT, F.; BENKENDORFF, K. Modelling of threonine and methionine requirements of *Oreochromis niloticus* due to principles of the diet dilution technique. **Aquaculture Nutrition.** v. 13, n. 6, p. 397-406, 2007.

LIEBERT, F.; SÜNDER, A.; MOHAMED, K. Assessment of nitrogen maintenance requirement and potential for protein deposition in juvenile *Tilapia* genotypes by application of an exponential nitrogen utilization model. **Aquaculture.** v. 261, n. 4, p. 1346-1355, 2006.

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

RIVERA-TORRES, V.; NOBLET, J.; VAN MILGEN, J. Changes in chemical composition in male turkeys during growth. **Poultry Science,** v. 90, n. 1, p. 68-74, 2011.

RODRIGUEIRO, R. J. B.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C.; NUNES, R. V.; NEME, R. Exigência nutricional de lisina para poedeiras leves e semipesadas nos períodos de 1 a 3 e de 4 a 6 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia.** v. 36, n. 5, p. 1365-1371, 2007.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.** 2. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; R.F., E. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SAMADI; LIEBERT, F. Estimation of Nitrogen Maintenance Requirements and Potential for Nitrogen Deposition in Fast-Growing Chickens Depending on Age and Sex. **Poult Sci**. v. 85, n. 8, p. 1421-1429, 2006a.

SAMADI; LIEBERT, F. Modeling of Threonine Requirement in Fast-Growing Chickens, Depending on Age, Sex, Protein Deposition, and Dietary Threonine Efficiency. **Poult Science**. v. 85, n. 11, p. 1961- 968, 2006b.

SAMADI; LIEBERT, F. Lysine requirement of fast growing chickens effects of age, sex, level of protein deposition and dietary lysine efficiency. **The Journal of Poultry Science**. v. 44, p. 63-72, 2007a.

SAMADI; LIEBERT, F. Threonine Requirement of Slow-Growing Male Chickens Depends on Age and Dietary Efficiency of Threonine Utilization. **Poult Sci**. v. 86, n. 6, p. 1140-1148, 2007b.

SAMADI; LIEBERT, F. Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilisation. **British Poultry Science**. v. 49, n. 1, p. 45-54, 2008.

SAS INSTITUTE. SAS User's Guide: Statistics. Version. 9.1 edition. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2009.

SILVA, E. P.; SAKOMURA, N. K.; ARAUJO, J. A.; HAUSCHILD, L.; VENTURINI, K. S.; DONATO, D. C. Z. Estimativa da exigência de manutenção de nitrogênio para pintainhas de postura. In: 48a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2011, Belém, PA. **Anais...** Belém: SBZ, 2011.

SILVA, J. H. V.; ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, P. C.; EUCLYDES, R. F. Exigência de lisina para aves de reposição de 0 a 6 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n. 6, p. 1777-1785, 2000a.

SILVA, J. H. V.; ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, P. C.; EUCLYDES, R. F. Exigência de lisina para aves de reposição de 7 a 12 semanas de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n. 6, p. 1786-1794, 2000b.

THONG, H. T.; LIEBERT, F. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as the limiting amino acid. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 88, p. 196-203, 2004.

WECKE, C.; LIEBERT, F. Lysine requirement studies in modern genotype barrows dependent on age, protein deposition and dietary lysine efficiency. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** v. 93, p. 295-304, 2009.

ZELENKA, J.; HEGER, J.; KRÁČMAR, S.; MRKVICOVÁ, E. Allometric growth of protein, amino acids, fat and minerals in slow- and fast-growing young chickens. **Czech J. Anim. Sci.**, v. 56, n. 3, p. 127-135, 2011.

CAPÍTULO 4 – MODELOS DE PREDIÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DIGESTÍVEL PARA AVES DE POSTURA EM CRESCIMENTO

RESUMO – O objetivo do estudo foi elaborar modelos de predição para estimar as exigências de lisina digestível para aves de postura em fase de crescimento. Foram elaborados dois modelos para estimar exigências em lisina. Os parâmetros usados para elaboração dos modelos foram obtidos em ensaios dose-resposta conduzidos com frangas de reposição da linhagem Dekalb White. A eficiência de utilização da lisina usada nos modelos foi considerada constante. O modelo 1 (M-1) não considerou as diferenças entre corpo depenado e penas, conforme descrição: M-1: $Lis = [45,1*(P^{0,75})] + \{[54,72 + (12,32*GP)]/0,80\}$; em que, Lis é exigência de lisina digestível (mg/dia); P é o peso corporal médio (kg); GP é o ganho de peso (g/dia). No modelo 2 (M-2) os componentes de manutenção e crescimento do corpo foram fracionados em proporções específicas para o corpo depenado e para as penas, conforme descrito: M-2: $Lis \text{ (mg/dia)} = [(151,2*PB_m^{0,73}*u) + (0,01*PP*18)] + [(75*DPB_c/0,80) + (18*DPB_p/0,80)]$; Em que, Lis é a exigência de lisina digestível em mg/ave/dia; PB_m é o peso de proteína corporal à maturidade (0,264 kg); u é o grau de maturidade da proteína corporal, onde $u = PB_t/PB_m$; PP é o peso de proteína das penas (g); DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado (g/dia); DPB_p é a deposição de proteína nas penas (g/dia). Observou-se que as estimativas obtidas com o uso do M-1 foram superiores às obtidas com o M-2. Os modelos foram avaliados considerando como referencial as exigências de lisina, recomendadas de acordo com o manual das linhagens Hy Line W36 e Hisex Branca. Os M-1 e M-2 alcançaram os objetivos para os quais foram elaborados, proporcionando estimativas compatíveis com as obtidas no manual das linhagens, apresentando estimativas com menores exigências de lisina com o uso do M-2.

Palavras Chave: aminoácidos, frangas de reposição, método fatorial

MODELS TO PREDICT THE DIGESTIBLE LYSINE REQUIREMENTS FOR LAYING PULLETS

SUMMARY – The objective of this study was to estimate the lysine requirements based on the factorial method in order to elaborate models to predict requirements of this amino acid for laying pullets. Model 1 (M-1) was elaborate according to the description: M-1: $Lys = [45.1 \cdot (P^{0.75})] + \{[54.72 + (12.32 \cdot WG)] / 0.80\}$; Lys is lysine requirement (mg/day), P is the body weight (kg), WG is the daily weight gain (g/day). Model 2 (M-2) considers components for maintenance and growth of the body fractionated in into the body plucked and feathers, as described: M-2: $Lys \text{ (mg / day)} = [(151.2 \cdot BP_m^{0.73} \cdot u) + (0.01 \cdot WF \cdot 18)] + [(75 \cdot DP_b / 0.80) + (18 \cdot DP_p / 0.80)]$, Lys is the lysine requirement in mg/bird/day; BP_m is the weight of body protein to maturity (0.264 kg), u is the degree of maturity of body protein, where $u = BP_t / BP_m$; WF is the protein weight of feathers (g); DP_b is protein deposition in the body plucked (g/day) and DP_p is protein deposition in feathers (g/day). The requirements of Dekalb White using the M-1 were higher than those obtained by the M-2. The models were evaluated considering as reference the lysine requirements, recommended according to the manual of the lines Hy Line W36 and Hisex White. The M-1 and M-2 achieved the goals for which they were developed, providing estimates compatible with those obtained in the manual of the strains, with lower estimates of lysine requirements using the M-2.

Keywords: amino acids, factorial method, pullets

INTRODUÇÃO

Os fatores biológicos, econômicos e ambientais que contribuem para a lucratividade do sistema de produção avícola são diversos e apresentam interações. A complexidade dos fatores envolvidos na resposta animal é mais eficientemente analisada com o uso de modelos matemáticos, que permitem a predição do comportamento do sistema diante de diferentes fatores. Um modelo pode ser considerado como a descrição matemática de um fenômeno biológico (manutenção, crescimento, produção, etc.), obtida por meio de um arranjo coordenado de equações, em que variáveis quantitativas são tomadas para representar os fatores que influenciam os fenômenos (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002).

A modelagem é apresentada como uma ferramenta útil para determinação das exigências nutricionais das aves em diversas condições. Os modelos de predição estão se tornando uma alternativa que ajuda na tomada de decisões. Para IVEY (1999), isso tem sido possível devido à velocidade tecnológica dos computadores, esforços para programação e o incentivo a pesquisa nesta área.

Segundo SAKOMURA (2005), modelos para determinar as exigências nutricionais, facilitam o estabelecimento de programas de alimentação para aves de diferentes linhagens comerciais, criadas em diferentes condições climáticas e diferentes estágios de produção. Atualmente existem modelos usados na produção de aves que consideram os valores nutricionais e o custo dos ingredientes juntamente com o lucro esperado e os convertem em processos de formulações de ração que minimizam os custos da alimentação na empresa avícola. Entretanto, estes modelos são complexos para maioria dos usuários (IVEY, 1999). O sucesso na aplicação dos modelos depende quase que exclusivamente da compreensão dos mecanismos biológicos representados no desenvolvimento do modelo adotado.

Modelos de predição das exigências de aminoácidos são bastante escassos na literatura para aves de postura. Baseando-se em estudos da composição da carcaça e penas de frangos de corte e perus na fase de crescimento e em experimentos com balanço de nitrogênio, HURWITZ et al. (1978; 1980; 1983) desenvolveram, um modelo

mecanicista para estimar as necessidades de aminoácidos baseado no somatório das exigências de manutenção, ganho de peso da carcaça sem penas e ganho em penas. MARTIN et al. (1994) descreveram também um modelo mecanicista no qual os requisitos para quatro funções foram calculados (ganho de proteína no corpo depenado, manutenção de proteína no corpo depenado, ganho de proteína das penas e manutenção de proteína das penas).

Tendo em vista a importância dos modelos para determinar as exigências de aminoácidos e a escassez de trabalhos neste tema é imprescindível a realização de novos estudos que possibilitem a elaboração de modelos para determinar com maior precisão as exigências de aminoácidos para aves de postura. Visando dar continuidade a estudos neste tema o presente trabalho tem como objetivo elaborar modelos de predição das exigências de lisina para aves de postura na fase de crescimento, com base no método fatorial.

MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo foram elaborados dois modelos para predizer as exigências de lisina digestível (mg/dia) para frangas de reposição, supondo que estas aves necessitam de quantidades diárias de lisina para suprir suas necessidades de manutenção e crescimento.

Descrição dos modelos

O Modelo 1 (M-1) utiliza como variáveis independentes o peso corporal (kg) e o ganho de peso (g/dia) das aves, desse modo as exigências de lisina para manutenção e crescimento foram estimadas para o corpo como um todo, conforme representado na Figura 1.

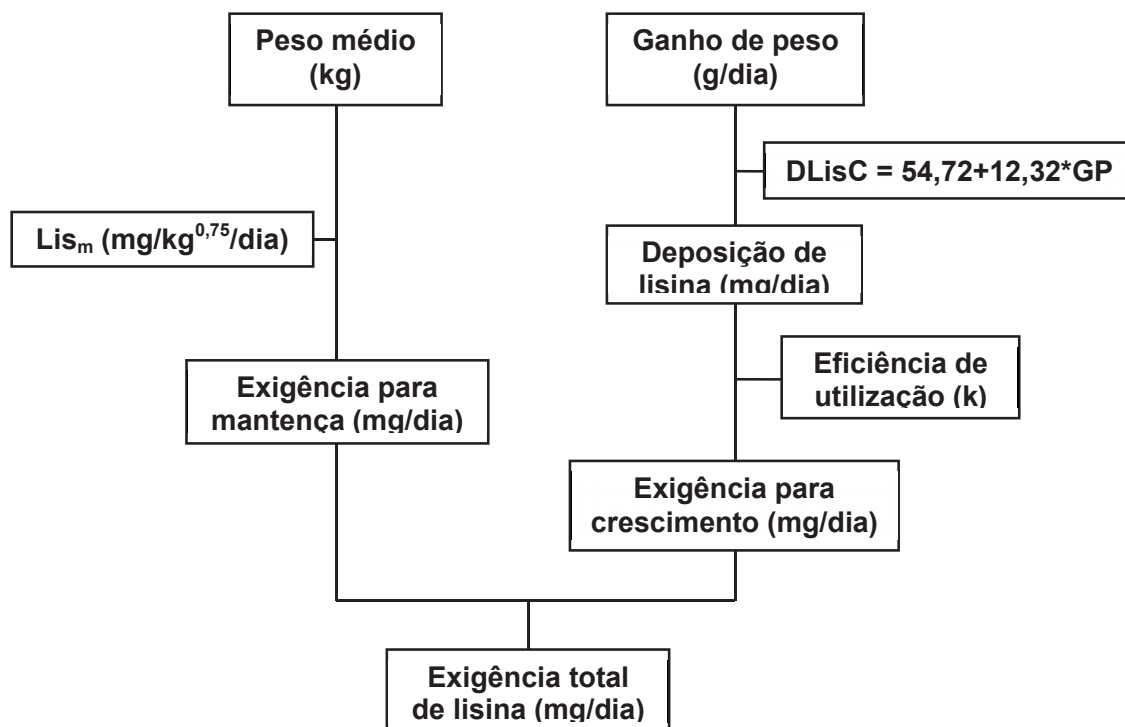


Figura 1. Diagrama esquemático do Modelo 1.

As exigências de lisina para crescimento foram estimadas pelo produto da deposição diária de lisina corporal (DLisC; mg/dia) pela eficiência de utilização da lisina (k). As exigências totais de lisina digestível foram obtidas pela soma das exigências de lisina digestível para manutenção e para crescimento, conforme descrição do modelo: M - 1: $Lis \text{ (mg/dia)} = (Lis_m * P^{0,75}) + (DLisC/k)$; Onde, Lis é a exigência de lisina digestível (mg/dia); Lis_m é a exigência de lisina para a manutenção; P é o peso corporal (kg); k é a eficiência média de utilização da lisina para a deposição corporal; DLisC é a deposição de lisina corporal (mg/dia).

Outro modelo (M-2) foi elaborado baseado no modelo descrito por MARTIN et al. (1994) para determinar as exigências de aminoácidos de frangas de postura. Os componentes de manutenção e crescimento foram fracionados em proporções específicas para o corpo depenado e para as penas, partindo-se do pressuposto que a composição em aminoácidos das penas difere da composição do corpo depenado (HURWITZ et al., 1983; EMMANS & FISHER, 1986). Além disso, as características de crescimento das

penas diferem em relação ao crescimento do corpo, sendo afetadas pela linhagem, sexo e idade da ave.

Neste modelo, foram definidas como variáveis independentes os pesos e as deposições de proteína no corpo depenado e nas penas (g/dia), conforme ilustrado na Figura 2.

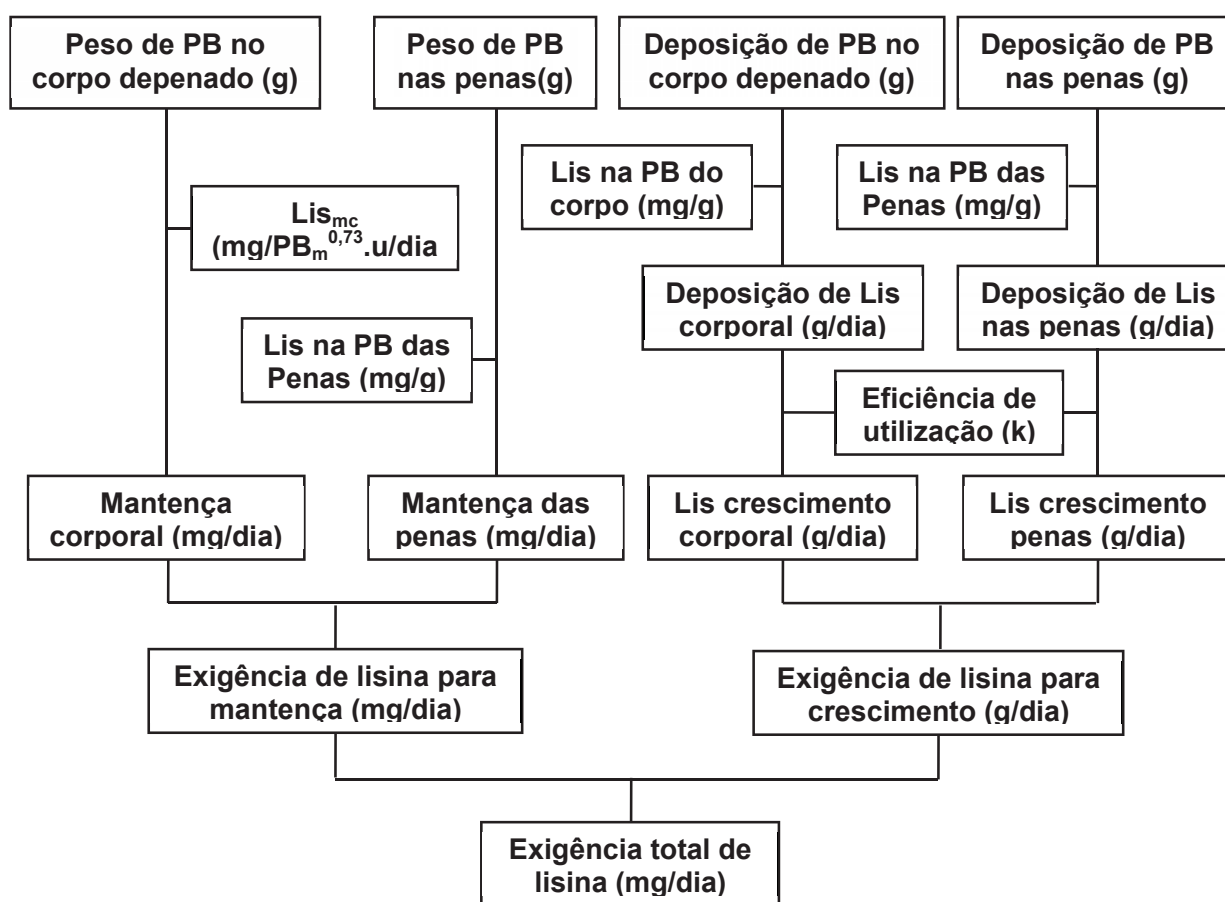


Figura 2. Diagrama esquemático do Modelo 2.

As exigências de lisina para o crescimento do corpo depenado e das penas foram estimadas considerando-se as deposições diárias de lisina no corpo e nas penas e a eficiência de utilização da lisina. As exigências totais de lisina digestível foram obtidas pela soma das exigências de lisina para manutenção e para crescimento,

conforme descrição: M-2: $Lis \text{ (mg/dia)} = [(Lis_{mc} * PB_m^{0,73} * u) + (0,01 * PP * Lis_p)] + [(Ls_c * DPB_c / k) + (Lis_p * DPB_p / k)]$; onde, Lis é a exigência de lisina digestível (mg/dia); Lis_{mc} é a exigência de lisina para a manutenção da proteína do corpo depenado; PB_m é o peso de proteína corporal à maturidade (kg); u é o grau de maturidade da proteína corporal ($u = PB_t / PB_m$); PP é o peso de proteína das penas (g); Lis_p é o conteúdo de lisina na proteína das penas (18 mg/g); Lis_c é o conteúdo de lisina na proteína do corpo depenado (75 mg/g); DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado (g/dia); DPB_p é a deposição de proteína nas penas (g/dia), k é a eficiência de utilização da lisina para deposição no corpo depenado e nas penas.

O parâmetro que define a exigência de lisina para a manutenção da proteína do corpo depenado ($Lis_{mc} = 151,2 \text{ mg} / PB_m^{0,73} * u / \text{dia}$) foi obtido de SIQUEIRA (2009) com galos adultos. O sistema utilizado, expressa as exigências com base no peso de proteína corporal à maturidade (PB_m) e no grau de maturidade da proteína corporal na idade t ($u = PB_t / PB_m$), conforme EMMANS & FISHER (1986).

As exigências de proteína para a manutenção das penas foram consideradas como sendo proporcionais às perdas de pena, e estas equivalem a 0,01g de proteína por g de pena por dia (EMMANS, 1989). Assim, as exigências de lisina para a manutenção das penas (Lis_{mp}) foram obtidas pela expressão: $Lis_{mp} \text{ (mg/dia)} = 0,01 * PPB_{pt} * Lis_p$; sendo PPB_{pt} (g) o peso de proteína das penas na idade t e Lis_p é o conteúdo de lisina na proteína das penas (18%) (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS, 1989).

Parâmetros para elaboração dos modelos

Três ensaios dose-resposta conduzidos com frangas de reposição da linhagem Dekalb White nas fases inicial (2 a 4 semanas), cria (8 a 10 semanas) e recria (14 a 17 semanas), respectivamente, foram realizados para determinar os parâmetros usados na elaboração dos modelos. As aves receberam dietas com níveis crescentes de lisina, conforme descritas no Capítulo 2.

As deposições de proteína corporal e nas penas (g) foram determinadas por meio de abates comparativos. As aves foram abatidas no início dos ensaios (grupos referência) e final de cada fase (inicial, cria e recria). Os grupos referência foram constituídos por aves com peso no intervalo de $\pm 5\%$ do peso médio inicial, totalizando 18 aves (seis repetições de três aves) em cada um dos ensaios. No término de cada ensaio (inicial, cria e recria), duas aves de cada parcela com peso no intervalo de $\pm 5\%$ do peso médio foram selecionadas, totalizando 96 aves. Após jejum alimentar de 36 horas, para o esvaziamento completo do trato digestório, as aves foram pesadas, abatidas por asfixia com CO_2 e após a obtenção de uma amostra representativa das penas de cada ave, foram completamente depenadas e pesadas novamente. Pela diferença entre o peso em jejum (g) e o peso das aves depenadas (g) obteve-se o peso absoluto das penas (g).

As aves depenadas e as respectivas amostras de penas foram devidamente identificadas e congeladas (-20°C) para processamento posterior. As aves referentes a cada parcela foram cortadas em serra de fita (H. Benecke[®]) e moídas em moinho de carne industrial (98BT, CAF[®]), sendo homogeneizadas e retiradas alíquotas que foram acondicionadas em placas de Petri descartáveis, pesadas e congeladas novamente (-20°C), até a pré-secagem. As amostras foram liofilizadas por 72h (-80°C ; -800mbar ; Edwards[™] 501, Thermo[®]) e pesadas novamente, sendo na sequência, processadas em moinho de bola (MA-350, Marconi[®]) por 2 min. As amostras de penas foram trituradas e homogeneizadas manualmente com o uso de tesouras, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório, juntamente com as amostras de carcaça das aves, para análises de nitrogênio total.

Os teores de nitrogênio total das amostras de carcaça e penas foram quantificados nas amostras desengorduradas utilizando-se o método de Kjeldahl (AOAC, 1995) em destilador de nitrogênio (Kjeltec[™] 8400; Foss[®]). A quantidade de lisina corporal (g) das aves no início e no final de cada experimento foi obtida multiplicando-se a quantidade de proteína corporal (g) pela concentração (%) de lisina presente na proteína do corpo, sendo esta obtida pela expressão: $[(100 - \% \text{ penas}) * 7,5/100] + [(\% \text{ penas} * 1,8)/100]$. Os valores 7,5 e 1,8% referem-se, respectivamente, as

percentagens de lisina na proteína do corpo livre de penas e das penas, conforme EMMANS & FISHER, (1989). As deposições de lisina corporal (DLisC; g) foram obtidas pela diferença entre a quantidade de lisina corporal no final e no início de cada fase.

Os dados de DLisC (mg/dia) e ganho de peso (GP; g/dia) foram utilizados para a obtenção da equação: $DLisC \text{ (mg/dia)} = \beta_0 + \beta_1.GP \text{ (g/dia)} + \varepsilon$; onde, β_0 e β_1 são os parâmetros da equação e ε é o erro aleatório. A DLisC (mg/dia), foi estimada utilizando-se o GP (g/dia) como variável independente. Para verificar o ajuste da equação considerou-se o nível de significância do teste “F” e o coeficiente de determinação (R^2), utilizando-se o procedimento “PROC REG” do *software* SAS (versão 9.1).

Estimativa de parâmetros e curvas de crescimento do corpo e das penas de aves de postura

Os pesos do corpo, de proteína do corpo depenado e proteína das penas das aves com 1, 14, 28, 56, 70, 84, 98, 112 e 126 dias de idade foram utilizados para ajustar o modelo proposto por GOMPERTZ (1825) e modificado por MARTIN et al. (1994): $P_t = P_m * \exp [- \exp ((\ln (-\ln (P_0/P_m)) - (B * idade)))]$; Em que, P_t é o peso da variável (g) estimado na idade t; P_m é o peso da variável (g) à maturidade, P_0 é o peso da variável (g) no nascimento; B é a taxa de maturidade (por dia). Os parâmetros das equações ajustadas para cada variável foram estimados utilizando-se o método Gauss-Newton, por meio do procedimento “NLIN” do *software* SAS (versão 9.1).

Para obter as deposições diárias de proteína no corpo depenado e nas penas utilizou-se a derivada da função proposta por GOMPERTZ (1825) expressa em função do peso de proteína no tempo t: $DPB = B * P_t * \ln (P_m/P_t)$; Em que, DPB é a deposição diária de proteína no corpo depenado ou nas penas (g/dia). As deposições diárias de lisina no corpo depenado e nas penas foram obtidas multiplicando-se a deposição de proteína pelo conteúdo de lisina na proteína do corpo depenado e das penas, respectivamente.

Determinação das exigências de lisina com base nos modelos

Para estimar as exigências diárias de lisina digestível para frangas de reposição nas fases inicial (2 a 4 semanas), cria (8 a 10 semanas) e recria (14 a 17 semanas), foram utilizados os parâmetros (P_m , P_0 e B) das equações ajustadas para os dados de peso corporal, peso de proteína no corpo depenado e nas penas, obtendo-se, deste forma, as variáveis independentes necessárias para aplicar nos modelos.

Avaliação dos modelos

Para avaliar os modelos propostos, inicialmente foi realizada uma comparação das exigências estimadas pelos modelos M-1 e M-2 com àquelas obtidas com base no método dose-resposta para cada fase de criação (Capítulo 2). Posteriormente, os modelos foram avaliados considerando-se como referencial as exigências de lisina digestível, recomendadas de acordo com o manual das linhagens de postura HY LINE W36 (2011) e HISEX BRANCA (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo foram elaborados dois modelos para predizer as exigências de lisina digestível (mg/dia) de frangas de reposição, partindo-se do princípio que estas aves necessitam de quantidades diárias de lisina para suprir suas necessidades de manutenção e crescimento.

Elaboração dos modelos

O Modelo 1 (M-1) foi estruturalmente simples, o parâmetro que define as exigências de lisina para a manutenção foi expresso por unidade de peso metabólico ($\text{kg}^{0,75}$), considerando o valor de $45,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$, obtido de SIQUEIRA (2009) com galos adultos. As deposições de lisina corporal foram estimadas por uma equação linear obtida a partir dos dados de ganho de peso e deposição de lisina obtidos em ensaios com frangas de reposição da linhagem Dekalb White de 1 a 126 dias de idade:

$DLisC = 54,72 + 12,32*GP$ ($R^2 = 0,97$), em que $DLisC$ é a deposição de lisina corporal (mg/dia) e GP é o ganho de peso (g/dia) (Figura 3). Com base nestes parâmetros, propôs-se o Modelo 1 (M-1): $Lis = [45,1*(P^{0,75})] + \{[54,72 + (12,32*GP)]/0,80\}$; Em que, Lis é exigência de lisina digestível (mg/dia); P é o peso corporal médio (kg); GP é o ganho de peso (g/dia), o valor 0,80 refere-se a eficiência média de utilização da lisina ($k = 80\%$), conforme Tabela 1.

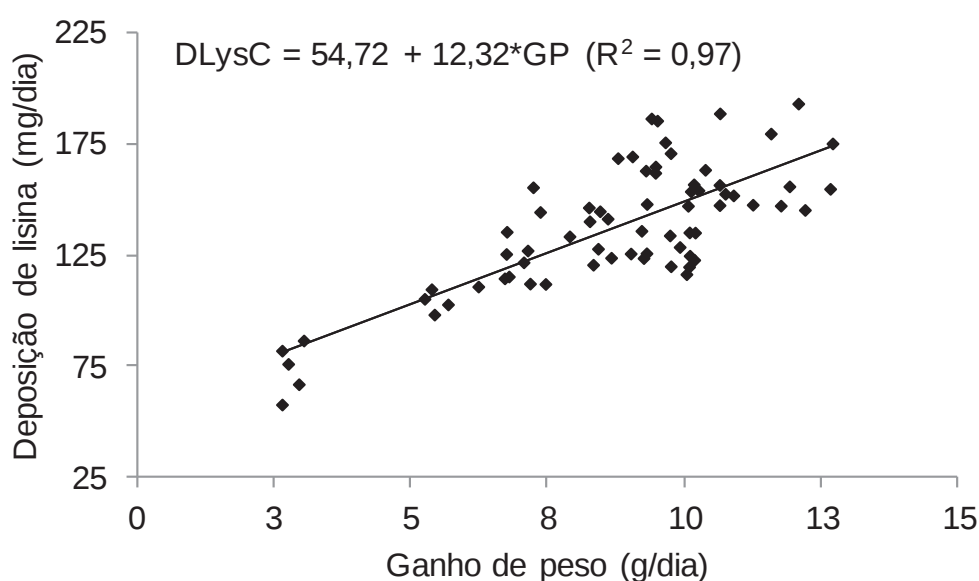


Figura 3. Regressão linear da deposição de lisina corporal ($DLisC$) pelo ganho de peso (GP) de franga de reposição de 1 a 126 dias de idade.

Outro modelo (M-2) baseado no princípio que o conteúdo de lisina na proteína corporal e nas penas difere substancialmente (EMMANS & FISHER, 1986), foi elaborado com base na estrutura descrita por MARTIN et al. (1994): Modelo 2 (M-2): $Lis = [(151,2*PB_m^{0,73}*u) + (0,01*PP*18)] + [(75*DPB_c/0,80) + (18*DPB_p/0,80)]$; Em que, Lis é a exigência de lisina digestível em mg/ave/dia; PB_m é o peso de proteína corporal à maturidade (0,264 kg); u é o grau de maturidade da proteína corporal, onde $u = PB_t/PB_m$; PP é o peso de proteína das penas (g); DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado (g/dia); DPB_p é a deposição de proteína nas penas (g/dia). Devido a

escassez de informações acerca da eficiência de utilização da lisina para deposição nas penas, esta foi considerada como sendo igual à eficiência de utilização de lisina média para deposição no corpo (80%), conforme Tabela 1.

As eficiências de utilização da lisina das dietas (k) foram obtidas pela regressão da deposição de lisina na proteína corporal (DLisC) pela ingestão de lisina digestível para crescimento (CLis_C), sendo representada pelo coeficiente de regressão da reta. As eficiências de lisina estão apresentadas para as diferentes fases avaliadas na Tabela 1.

Tabela 1. Eficiência de utilização da lisina (k) para deposição protéica para diferentes fases de crescimento para aves de postura em crescimento

Fases (semanas)	Regressão	R ²	k (%)
Inicial (2 a 4)	$DLisC=30,655 + 0,8013CLis_C$	0,80	80
Cria (8 a 10)	$DLisC=45,64 + 0,7777CLis_C$	0,80	78
Recria (14 a 17)	$DLisC=8,3649 + 0,8162CLis_C$	0,66	82
Média			80

A determinação das eficiências de utilização da lisina para poedeiras em crescimento é de fundamental importância para a elaboração de modelos fatoriais que buscam descrever a relação entre a ingestão de lisina digestível e sua utilização para deposição na proteína corporal, permitindo simular as respostas de aves mantidas sob diferentes condições de criação.

Na literatura são mencionados estudos com frangos de corte (EDWARDS et al., 1999; EITS et al., 2002; FATUFE et al., 2004) que utilizaram o método da regressão da deposição de lisina corporal (DLisC) pela ingestão de lisina digestível para crescimento (CLis_C) para estimar as eficiências de utilização, entretanto estes estudos determinaram as eficiências com dados referentes a pintainhos de corte com até 14 dias de idade. No presente estudo, a regressão da deposição de lisina corporal (DLisC) pela ingestão de lisina digestível para crescimento (CLis_C), agrupou dados para as diferentes fases de crescimento das aves de postura (fase inicial = 2 a 4 semanas; fase de cria = 8 a 12 semanas e fase de recria = 14 a 18 semanas de idade). Nesse sentido, devido os resultados encontrados no presente estudo terem estimados a eficiência considerando a idade das aves estes podem ser mais precisos.

Parâmetros que descrevem crescimento corporal e das penas

Com base nos dados de peso corporal, peso de proteína no corpo depenado e nas penas, foram estimados os parâmetros que descrevem o crescimento destes componentes (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros das equações de Gompertz para peso vivo, proteína no corpo depenado e proteína das penas para frangas de reposição da linhagem Dekalb White

Parâmetros ⁽¹⁾	Variável		
	Peso vivo	Proteína no corpo	Proteína nas penas
P ₀ (kg)	0,036	0,007	0,001
P _m (kg)	1,524	0,264	0,105
B (dia)	0,021	0,023	0,027

⁽¹⁾Parâmetros ajustados para o modelo de Gompertz (MARTIN et al., 1994): $P_t = P_m * \exp [- \exp ((\ln (-\ln (P_0/P_m)) - (B * idade)))]$; onde P_t = peso da variável estimado na idade t, P_m = o peso da variável à maturidade, P₀ = peso da variável no nascimento; B = taxa de maturidade.

De acordo com estes parâmetros (Tabela 2) foram geradas curvas de crescimento do peso corporal, da proteína do corpo depenado e das penas, obtendo-se as variáveis necessárias para a utilização dos diferentes modelos (Figuras 4 e 5).

Na Figura 5 foi evidenciado que a proteína presente nas penas representa considerável proporção do conteúdo total de proteína do corpo depenado, e esta proporção varia em função da idade da ave.

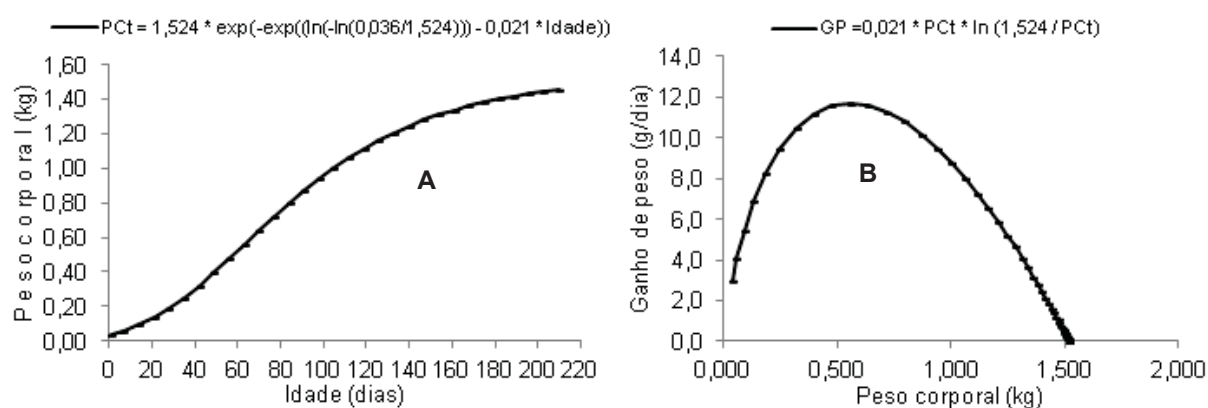


Figura 4. Representação gráfica do peso corporal (PC_t; A) e do ganho de peso (GP; B) de frangas de reposição da linhagem Dekalb White, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 2.

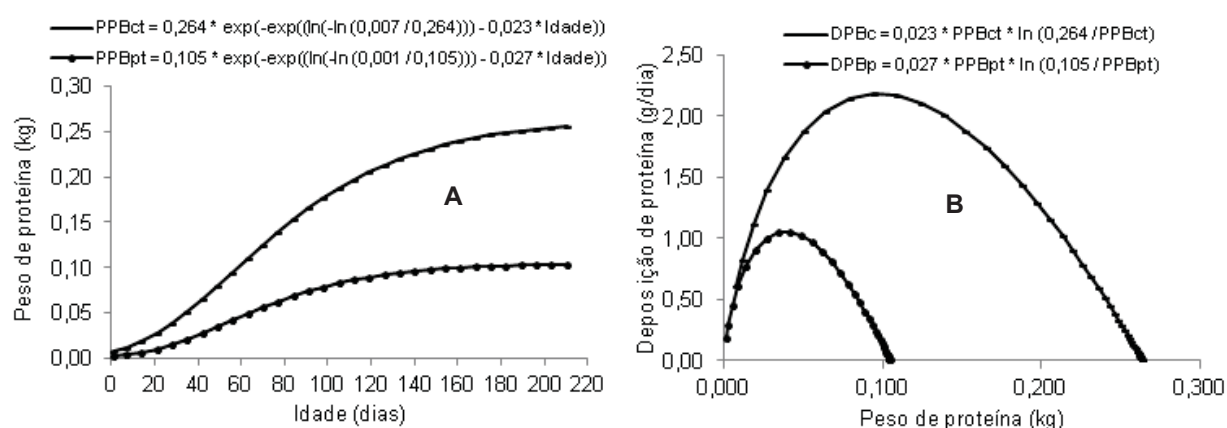


Figura 5. Representação gráfica do peso de proteína do corpo depenado (PPB_{ct}) e peso de proteína das penas (PPB_{pt}) (A) e deposição de proteína no corpo depenado (DPB_c) e nas penas (DPB_p) (B) de frangas de reposição da linhagem Dekalb White, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 2.

As equações de crescimento (Figura 5) demonstraram que a máxima deposição de proteína no corpo depenado (2,19 g/dia) de frangas de reposição da linhagem Dekalb White é alcançada aos 57 dias de idade, enquanto que nas penas a máxima deposição (1,05 g/dia) ocorre antes, por volta dos 53 dias.

SIQUEIRA (2009), em estudo conduzido com frangos de corte, demonstrou que a máxima deposição de proteína no corpo depenado é atingida no 46º dia de idade e nas penas a máxima deposição é atingida posteriormente, ao 69º dia. Desta forma, acentuadas diferenças são observadas entre frangas de reposição e frangos de corte, visto que as frangas atingem a máxima deposição de proteína nas penas e no corpo depenado em um período relativamente próximo, 53 e 57 dias, respectivamente.

Por outro lado, em frangos de corte estas deposições ocorrem em um período mais amplo, 46 dias para deposição no corpo depenado e 69 dias para deposição nas penas.

Estimativas das exigências de lisina pelos modelos

Utilizando os parâmetros da equação proposta por GOMPERTZ (1825) estimados para a linhagem Dekalb White (Tabela 2) foram obtidas as variáveis peso de proteína no corpo depenado (PP_{ct}), peso de proteína nas penas (PPB_{pt}), deposição de proteína no corpo depenado (DPB_c) e deposição de proteína nas penas (DPB_p) (Tabela 3). Estas variáveis foram aplicadas nos modelos elaborados para estimar as exigências de lisina (Lis) digestível para diferentes idades (Tabela 3).

Tabela 3. Exigências de lisina (Lis) digestível para frangas de reposição da linhagem Dekalb White estimadas com base em modelos de predição

Idade (dias)	Variáveis ⁽¹⁾						Exigências	
	P (g)	GP (g/dia)	PPB_{ct} (g)	DPB_c (g/dia)	PPB_{pt} (g)	DPB_p (g/dia)	Lis M-1 ⁽²⁾ (mg/dia)	Lis M-2 ⁽³⁾ (mg/dia)
1	39,0	3,0	7,6	0,6	1,6	0,2	118,3	62,6
21	136,2	6,9	27,5	1,4	9,3	0,6	184,4	150,9
42	321,2	10,5	64,4	2,0	26,7	1,0	248,6	228,1
63	558,4	11,7	109,5	2,2	48,6	1,0	277,9	250,0
84	797,6	10,8	152,6	1,9	68,0	0,8	272,3	227,7
105	1003,8	8,8	187,6	1,4	82,2	0,5	248,4	188,3
126	1164,2	6,5	213,3	1,0	91,5	0,3	219,8	149,9

⁽¹⁾P é o peso vivo; GP é o ganho de peso; PPB_{ct} é o peso de proteína corporal; PPB_{pt} é o peso de proteína das penas; DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado e DPB_p é a deposição de proteína nas penas.

⁽²⁾Lis M-1 = $[45,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + \{[54,72 + (12,32 \cdot GP)]/0,80\}$.

⁽³⁾Lis M-2 = $[(151,2 \cdot (0,264)^{0,73}) \cdot PPB_{ct}/1000/0,264] + (0,01 \cdot PPB_{pt} \cdot 18) + [(75 \cdot DPB_c/0,80) + (18 \cdot DPB_{pt}/0,80)]$.

As exigências obtidas pelo modelo 1 para frangas de reposição da linhagem Dekalb White foram superiores àsquelas obtidas com o modelo 2 em qualquer idade avaliada. As diferenças aumentaram gradativamente com o avançar da idade das aves (Figura 6).

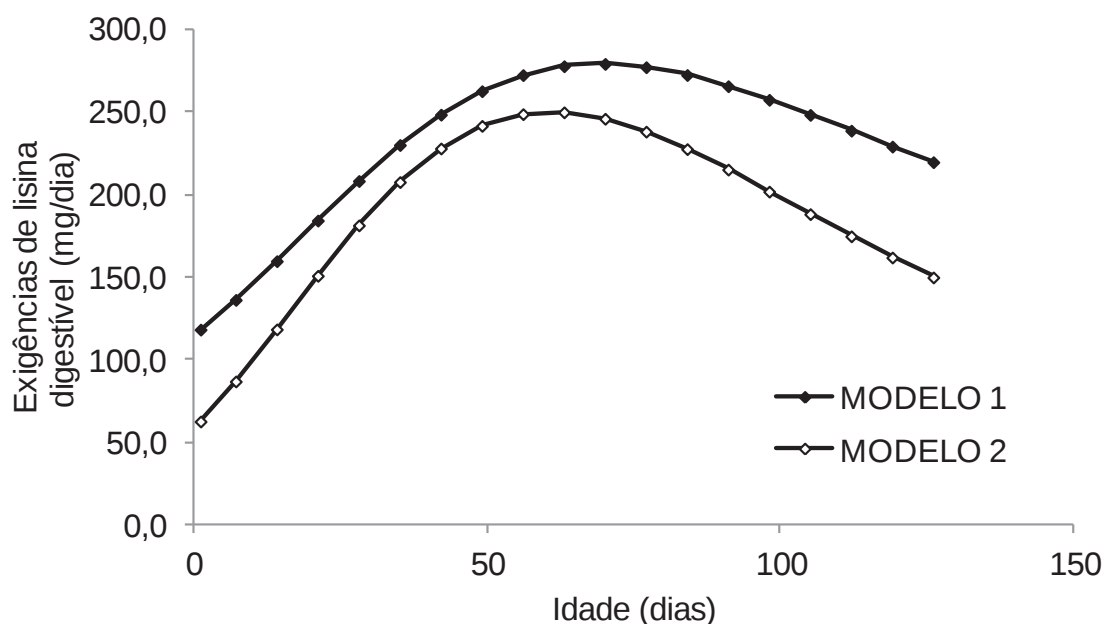


Figura 6. Exigências de lisina digestível de frangas de reposição (Dekalb White) obtidas através de modelos de predição.

A diferença inerente as exigências de lisina preditas pelos modelos 1 e 2 pode ser justificada com base na estrutura dos modelos e nas equações de GOMPERTZ (1825) ajustadas para o crescimento de proteína no corpo depenado e nas penas. Considerando, portanto, que o corpo depenado contém aproximadamente 75 mg lisina por grama de proteína e que as penas contém aproximadamente 18 mg lisina por grama de proteína (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS, 1989), a quantidade de lisina necessária para formar um grama de penas foi inferior à quantidade necessária para formar um grama de corpo depenado. Assim, as menores recomendações, obtidas com o uso do modelo 2 podem ser justificadas, pelo fato que este modelo considerou as

diferenças de crescimento e composição existentes entre o corpo depenado e as penas.

As exigências de lisina estimadas com base nos modelos de predição foram comparadas com as recomendações obtidas pelo método dose resposta (Capítulo 2) para as fases inicial (1 a 42 dias), cria (43 a 84 dias) e recria (85 a 126 dias), conforme Figura 7.

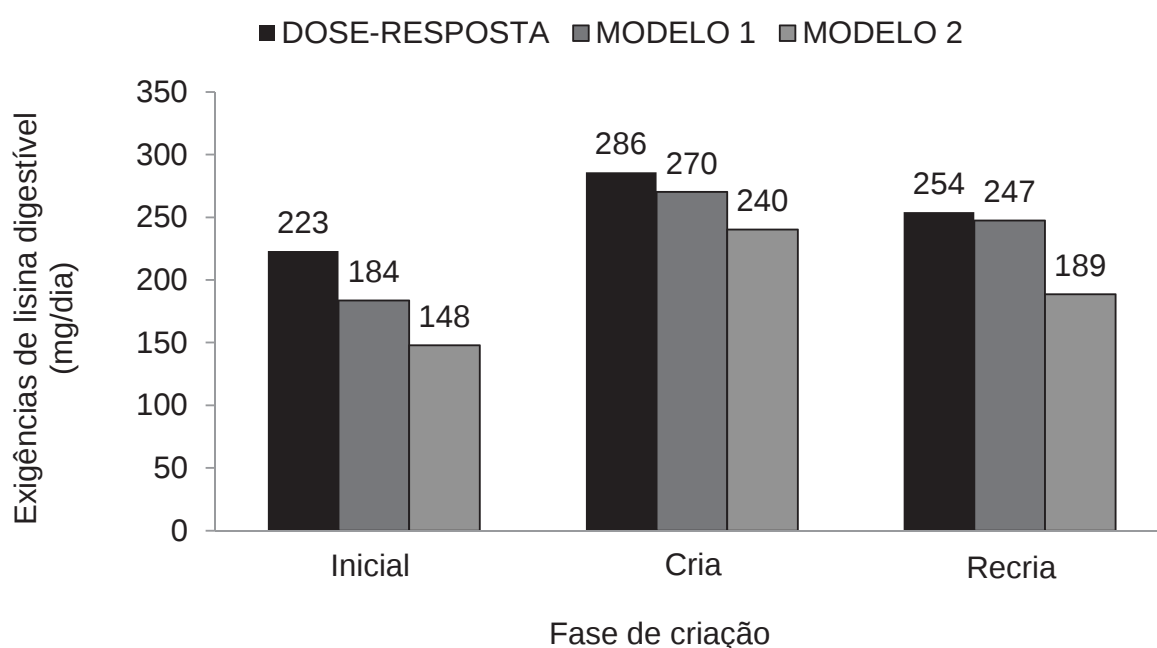


Figura 7. Exigências de lisina digestível de frangas de reposição em diferentes fases de criação, estimadas com base no método dose resposta e nos modelos de predição.

Observou-se na Figura 7 que as recomendações determinadas no modelo 2 foram inferiores em relação àquelas estimadas com o modelo 1 e com àquelas obtidas com base no método dose resposta, independentemente da fase de criação. Estas diferenças podem ser justificadas considerando os princípios inerentes aos diferentes métodos de determinação das exigências.

Método dose resposta é fundamentado na descrição quantitativa de variáveis produtivas em resposta ao aumento da concentração de um aminoácido limitante na dieta, nestes estudos as exigências equivalem à quantidade de aminoácido fornecida a partir da qual as respostas das aves se estabilizam (ROBBINS, 1979; GOUS, 1998; MOUGHAN & FULLER, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Os modelos mecanicistas baseados no método fatorial fundamentam-se na hipótese que as aves consomem para atender seu potencial de crescimento (EMMANS, 1994) e desta forma a exigência em lisina digestível é definida pela soma das exigências para manutenção e para atender o potencial de deposição de proteína corporal.

As recomendações obtidas pelo método dose resposta (Capítulo 2) foram correspondentes às quantidades de lisina necessárias para proporcionar a melhor resposta de ganho de peso em cada fase de criação, enquanto os modelos foram elaborados à partir de dados de deposição de lisina no corpo como um todo (modelo 1) ou deposições de proteína no corpo depenado e nas penas (modelo 2), o que justifica as diferenças entre as recomendações obtidas com os modelos fatoriais (modelo 1 e modelo 2) e as obtidas com o dose resposta no presente estudo.

Avaliação dos modelos

De acordo com SAKOMURA & ROSTAGNO (2007), a avaliação de modelos pode ser realizada por meio de ensaios de desempenho, por simulação ou por comparação de valores preditos com valores observados em situações reais, constituindo uma etapa determinante para verificar a aplicabilidade dos modelos.

No presente estudo, os modelos foram avaliados considerando-se como referencial as exigências de lisina digestível, obtidas com o manual das linhagens de postura HY LINE W36 (2011) E HISEX BRANCA (2006).

Os parâmetros de crescimento do peso corporal, proteína do corpo depenado e das penas de duas linhagens comerciais de frangas de reposição foram estimados com base em estudos com frangas de reposição de duas linhagens comerciais (Hy Line W36

e Hisex Branca) conduzidos no Setor de Avicultura da FCAV/UNESP/Jaboticabal (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo e nas penas obtidos em estudos com frangas de reposição de duas linhagens conduzidos no Setor de Avicultura da FCAV/UNESP/Jaboticabal

Linhagem	Variáveis	Parâmetros ⁽¹⁾		
		P ₀ (kg)	P _m (kg)	B (dia)
Hy Line W36	Peso vivo	0,028	1,533	0,026
	Proteína no corpo	0,004	0,284	0,028
	Proteína nas penas	0,001	0,145	0,028
Hisex Branca	Peso vivo	0,031	1,598	0,023
	Proteína no corpo	0,005	0,241	0,027
	Proteína nas penas	0,001	0,126	0,029

⁽¹⁾Parâmetros ajustados para o modelo de Gompertz (MARTIN et al., 1994): $P_t = P_m \cdot \exp [- \exp ((\ln (-\ln (P_0/P_m)) - (B \cdot \text{idade})))]$; onde P_t = peso da variável estimado na idade t, P_m = o peso da variável à maturidade, P₀ = peso da variável no nascimento; B = taxa de maturidade.

De acordo com as curvas de crescimento de cada componente, geradas à partir dos parâmetros apresentados na Tabela 4, foram estimadas as variáveis necessárias para se obter as estimativas das exigências de lisina digestível pelos modelos de predição para frangas de reposição de duas linhagens e potenciais genéticos distintos, de acordo com a idade das aves (Tabela 5).

Os resultados seguiram a mesma tendência anteriormente observada, de forma que, as menores recomendações foram novamente estimadas pelo modelo 2 em comparação com o modelo 1 para as linhagens e idades avaliadas, entretanto, quando as exigências estimadas com o uso dos modelos de predição (M-1 e M-2) foram comparadas com as exigências obtidas do manual das linhagens (Tabela 5; Figura 8), ambos apresentaram menores recomendações, evidenciando que os modelos propostos foram capazes de detectar estas modificações, com menor (M-1) ou maior (M-2) grau de sensibilidade, validando assim, o presente estudo.

As diferenças obtidas podem ser justificadas considerando-se as características inerentes a cada um dos modelos de predição, uma vez que, as estimativas obtidas com o modelo 1 considera a deposição de lisina no corpo como um todo e o ganho de

peso, enquanto que no modelo 2 as exigências foram estimadas à partir de dados de deposições de proteína no corpo depenado e nas penas. Por outro lado, as exigências estimadas com o uso dos manuais das linhagens levam em consideração o consumo de ração e a porcentagem de lisina digestível recomendada para o máximo desempenho.

Tabela 5. Exigências de lisina (Lis) digestível para duas linhagens comerciais de frangas de reposição estimadas com base em modelos de predição e obtidas com o manual das linhagens de postura

Linhagem	Variáveis ⁽¹⁾							Exigências de Lis		
	Idade (dias)	P (g)	GP (g/dia)	PPB _{ct} (g)	DPB _c (g/dia)	PPB _{pt} (g)	DPB _p (g/dia)	M-1 ⁽²⁾ (mg/dia)	M-2 ⁽³⁾ (mg/dia)	MLP ⁽⁴⁾ (mg/dia)
Hy Line W36	1	31,6	3,2	4,5	0,5	1,6	0,2	120,8	53,9	136,5
	21	152,4	9,1	26,2	0,8	10,8	0,3	220,3	184,6	199,5
	42	402,5	14,0	74,8	2,8	33,9	1,4	306,7	304,7	401,8
	63	706,5	14,2	134,5	2,8	64,3	1,4	322,3	321,1	422,4
	84	978,7	11,4	186,8	2,2	91,9	1,2	288,6	268,0	463,5
	105	1182,1	8,0	224,6	1,5	112,2	0,8	242,6	201,7	435,7
	126	1352,2	5,2	254,8	0,9	128,6	0,5	203,4	148,6	501,8
Hisex Branca	1	33,7	3,0	5,2	0,5	1,2	0,2	118,0	55,2	108,0
	21	139,8	7,8	25,8	1,6	9,0	0,7	199,4	166,3	276,0
	42	355,5	12,3	67,7	2,3	29,5	1,2	278,4	259,5	414,0
	63	632,3	13,5	117,1	2,3	56,7	1,3	308,0	268,6	387,0
	84	901,9	11,9	160,1	1,8	81,2	1,0	292,9	224,3	468,0
	105	1122,9	9,1	191,1	1,2	99,0	0,7	257,9	170,3	488,0
	126	1285,4	6,4	211,4	0,8	110,3	0,4	222,0	127,1	560,0

⁽¹⁾P é o peso vivo; GP é o ganho de peso; PPB_{ct} é o peso de proteína corporal; PPB_{pt} é o peso de proteína das penas; DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado e DPB_p é a deposição de proteína nas penas.

⁽²⁾Lis M-1 = $[45,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + \{[54,72 + (12,32 \cdot GP)]/0,80\}$.

⁽³⁾Lis M-2 = $[(151,2 \cdot (0,264^{0,73}) \cdot PPB_{ct}/1000/0,264) + (0,01 \cdot PPB_{pt} \cdot 18)] + [(75 \cdot DPB_c/0,80) + (18 \cdot DPB_p/0,80)]$.

⁽⁴⁾Exigências de lisina digestível, obtidas com o manual das linhagens de postura (MLP) Hy Line W36 e Hisex Branca.

Outra característica a ser considerada é a relação proteína: gordura, principais componentes do ganho. Pois as exigências de lisina restringem-se a manutenção e crescimento do tecido proteico, não havendo demanda para o tecido gorduroso (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; GOUS, 2007; NONIS & GOUS, 2008), desta forma os resultados evidenciam a coerência dos modelos (M-1 e M-2) avaliados.

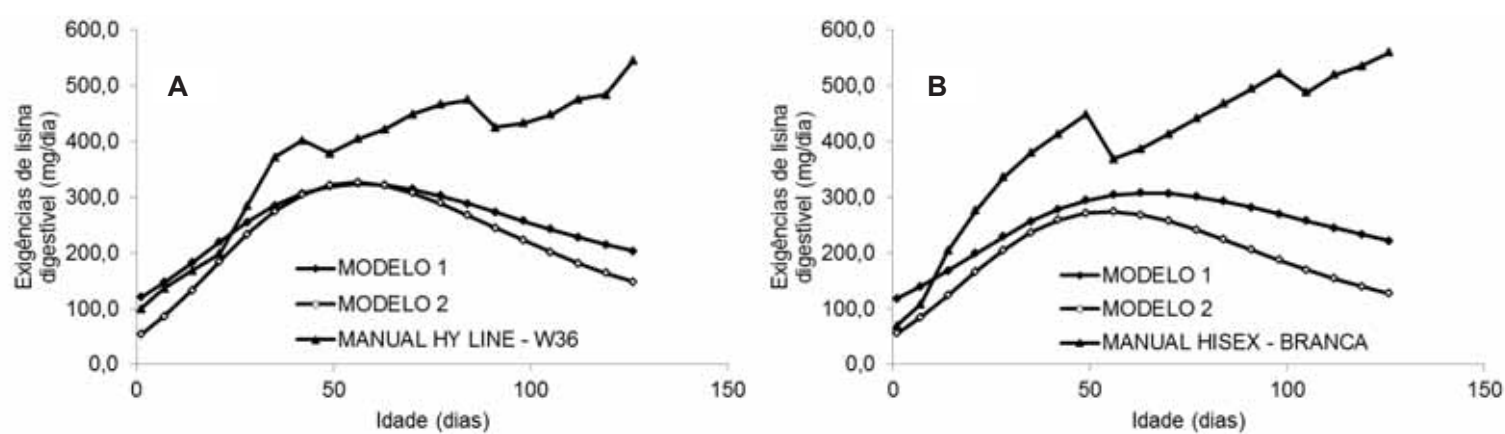


Figura 8. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangas de reposição de duas linhagens comerciais (A = Hy Line W36 e B = Hisex Branca) estimadas por modelos de predição com base em dados de estudos conduzidos no Setor de Avicultura da FCAV/UNESP/Jaboticabal e determinadas com base no manual das linhagens de postura.

A avaliação de modelos de predição não é um processo completamente objetivo, de modo que qualquer exercício de modelagem deve ter sua legitimidade analisada, considerando-se as finalidades para as quais os modelos foram construídos (FRANCE & DIJKSTRA, 2006). Os modelos (M-1 e M-2) propostos no presente estudo alcançaram os objetivos para os quais foram elaborados, uma vez que proporcionaram estimativas compatíveis com as obtidas no manual das linhagens de postura Hy Line W36 e Hisex Branca. Além disso, as variações observadas entre as recomendações dos diferentes modelos puderam ser justificadas com base nos princípios de cada modelo utilizado.

CONCLUSÕES

A variação nas recomendações obtidas com o uso dos modelos propostos foi em função dos princípios envolvidos na elaboração de cada um deles.

Os modelos (M-1 e M-2) foram capazes de prever as exigências de lisina digestível de aves de postura na fase de crescimento de diferentes linhagens e idades, apresentando estimativas com menores valores de exigências de lisina digestível com o uso do modelo 2.

REFERÊNCIAS

- AOAC. **Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis.** 16th ed. Washington, DC: AOAC, 1995. 2000p.
- BURNHAM, D.; GOUS, R. M. Isoleucine requirements of the chicken: requirement for maintenance. **British Poultry Science.** v. 33, p. 59 - 69, 1992.
- EDWARDS, H. M.; FERNANDEZ, S. R.; BAKER, D. H. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and protein in young chicks. **Poult Sci.** v. 78, n. 10, p. 1412-1417, 1999.

EITS, R. M.; KWAKKEL, R. P.; VERSTEGEN, M. W. A.; STOUTJESDIJK, P.; DE GREEF, K. H. Protein and lipid deposition rates in male broilers chickens: separate responses to amino acids and protein-free energy. **Poultry Science**. v. 82, p. 472 - 480, 2002.

EMMANS, G. C. The growth of turkey. In: NIXEY, C. G., T.C. (Ed.). **Recent Advances in Turkey Science**. London: Ed. Butterwordths, 1989. p.135 -166.

EMMANS, G. C. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. **British Journal of Nutrition**. v. 71, n. 6, p. 801-821, 1994.

EMMANS, G. C.; FISHER, C. Problems in nutritional theory. In: FISHER, C. B., K. N. (Ed.). **Nutrient requirements of poultry and nutritional research**. London: Ed. Butterwordths, 1986. p.9-39.

EMMANS, G. C.; OLDHAM, J. D. Modelling of growth and nutrition in different species. In: KORVER, S. V. A., J.A.M. (Ed.). **Modelling of livestock production systems**. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.13-21.

FATUFE, A. A.; TIMMBER, R.; RODEHUTSCORD, M. Response to lysine in composition of body weight gain and efficiency of lysine utilization of growing male chickens from two genotypes. **Poultry Science**. v. 83, p. 1314 - 1324, 2004.

FRANCE, J.; DIJKSTRA, J. Scientific progress and mathematical modeling: different approaches to modeling animal systems. In: GOUS, R. M. M., T.; FISHER, C. (Ed.). **Mechanistic modeling in pig and poultry nutrition**. Wallingford: CABI Publishing, 2006. p.6 - 21.

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 of London**. v. 115, p. 513 - 585, 1825.

GOUS, R. M. Lysine: Making progress in the nutrition of broilers. **Poult Sci**. v. 77, n. 1, p. 111-117, 1998.

GOUS, R. M. Methodologies for modeling energy and amino acid responses in poultry. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 36, n. Suplemento, p. 263 - 274, 2007.

HISEX WHITE. **Manual de Manejo**. 2006. 55p.

HY LINE W-36. **Manual de Padrões de Desempenho**. 2011. 17p.

HURWITZ, S.; FRISCH, Y.; BAR, A.; EISNER, U.; BENGAL, I.; PINES, M. The amino acid requirements of growing turkeys. 1. Model construction and parameter estimation. **Poult Sci**. v. 62, n. 11, p. 2208-2217, 1983.

HURWITZ, S.; PLAVNIK, I.; BARTOV, I.; BORNSTEIN, S. The amino acid requirements of chicks: Experimental validation of model-calculated requirements. **Poult Sci**. v. 59, n. 11, p. 2470-2479, 1980.

HURWITZ, S.; SKLAN, D.; BARTOV, I. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. **Poult Sci**. v. 57, n. 1, p. 197-205, 1978.

IVEY, F. J. Desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento para frangos de corte. In: **I Simpósio Internacional sobre Nutrição de Aves**, 1999, Concórdia, SC. Anais... Concórdia: ACAV-EMBRAPA. p. 22-35.

MARTIN, P. A.; BRADFORD, G. D.; GOUS, R. M. A formal method of determining the dietary amino acid requirements of laying-type pullets during their growing period. **British Poultry Science**. v. 35, n. 5, p. 709-724, 1994.

MOUGAN, P. J.; FULLER, M. F. Modelling amino acids metabolism and the estimation of amino acids requirements. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). **Amino acid in animal nutrition**. Wallingford: CABI Publishing. 2nd edition, 2003. p.187-203.

NONIS, M. K.; GOUS, R. M. Threonine and lysine requirements for maintenance in chickens. **South African Journal of Animal Science**. v. 38, p. 75 - 82, 2008.

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem Computacional para Produção e Pesquisa em Avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**. v. 4, n. 1, p. 199-207, 2002.

ROBBINS, K. R.; NORTON, H. W.; BAKER, D. H. Estimation of nutrient requirement from growth data. **The Journal of Nutrition**. v. 109, p. 1710-1714, 1979.

SAKOMURA, N. K. Uso de modelos para estimar as exigências nutricionais de aves. In: **II Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais de Aves e Suínos**, 2005, Viçosa, MG. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 253-292.

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

SAS INSTITUTE. **SAS User's Guide: Statistics**. Version. 9.1 edition. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2009.

SIQUEIRA, J. C. **Estimativas das exigências de lisina de frangos de corte pelos métodos dose resposta e fatorial**. 154f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2009.

CAPÍTULO 5 – IMPLICAÇÕES

As implicações do capítulo 1 sugerem que nenhum modelo é necessariamente o melhor para todas as situações (respostas obtidas), entretanto, as estimativas da ingestão ótima de lisina digestível diferem em função dos modelos matemáticos lineares e não lineares utilizados na interpretação das respostas.

As concentrações ótimas de lisina estimadas considerando o $ND_{max}T$, a deposição proteína, eficiência de utilização da lisina dietética e ingestão diária de ração foram similares as recomendadas na literatura para aves de postura em crescimento. Nesse contexto, o uso da modelagem utilizada pode contribuir com a adequação de programas nutricionais para estas aves durante a fase de crescimento.

A determinação das eficiências de utilização da lisina para poedeiras em crescimento foi de fundamental importância para a elaboração de modelos fatoriais, pois permitiu a simulação das respostas de aves mantidas sob diferentes condições de criação.

De modo geral, os modelos elaborados no presente estudo para determinar as exigências nutricionais, facilitam o estabelecimento de programas de alimentação para aves de diferentes linhagens comerciais, criadas em diferentes condições climáticas e diferentes estágios de produção.