

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

MODELAGEM DAS RESPOSTAS DE FRANGOS DE CORTE
SUBMETIDOS A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA

Juliano Cesar De Paula Dorigam
Zootecnista

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Novembro de 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

MODELAGEM DAS RESPOSTAS DE FRANGOS DE CORTE
SUBMETIDOS A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA

Juliano Cesar De Paula Dorigam

Orientador: Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura

Co-orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2012

D697m Dorigam, Juliano Cesar de Paula
Modelagem das respostas de frangos de corte submetidos a diferentes ingestões de lisina / Juliano Cesar de Paula Dorigam. -- Jaboticabal, 2012
xiv, 61 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientadora: Nilva Kazue Sakomura
Banca examinadora: Angela Sünder, Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira
Bibliografia

1. Frango. 2. Exigência. 3. Lisina. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.5:636.084

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.
e-mail: dorigam@ig.com.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MODELAGEM DAS RESPOSTAS DE FRANGOS DE CORTE SUBMETIDOS A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA

AUTOR: JULIANO CESAR DE PAULA DORIGAM

ORIENTADORA: Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD

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

Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ANGELA SUNDER
University Goettingen

Profa. Dra. IZABELLE AUXILIADORA M. DE ALMEIDA TEIXEIRA
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 29 de outubro de 2012.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JULIANO CESAR DE PAULA DORIGAM – filho de Jose Carlos Dorigan e Aparecida Francisca de Paula Dorigam, nasceu no dia 20 de setembro de 1984, na cidade de Jaboticabal, São Paulo. Em fevereiro de 2005 ingressou no curso de Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – campus de Jaboticabal, São Paulo, graduando-se em Abril de 2010. Durante o período de agosto de 2006 a julho de 2009 foi bolsista de iniciação científica pelo CNPq, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Nilva Kazue Sakomura. De maio de 2010 a março de 2011 foi bolsista de Treinamento Técnico nível III pela FAPESP, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Nilva Kazue Sakomura. Em março de 2011 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia pela mesma instituição, onde obteve bolsa pela FAPESP, sob mesma orientação, defendendo esta dissertação em setembro de 2012.

EPÍGRAFE

"Se você encontrar um caminho sem obstáculos,
ele provavelmente não leva a lugar nenhum."
(Frank A. Clark)

"Uma vida sem desafios não vale a pena ser vivida."
(Sócrates)

DEDICATÓRIAS

Aos meus pais, José Carlos Dorigan (*in memorian*) e Aparecida Francisca de Paula Dorigam, por sempre me apoiarem e estender a mão no momento que mais precisava, por sempre me incentivar a continuar estudando e por acreditarem na minha capacidade. Aos meus irmãos José Carlos De Paula Dorigam e Jordano De Paula Dorigam pelo apoio e ajuda, nunca esquecerei o que vocês já fizeram por mim. A minha tia Elfa Durigan por muitas vezes fazer o papel do meu pai sempre incentivando a progredir nos estudos.

"Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer"
(Gandhi)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir chegar onde estou hoje.

À minha família pelo apoio nas fases boas e ruins da minha vida e pelo apoio nesta etapa para a nova fase que estarei atravessando.

A Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pelo contribuição durante o período de graduação e pós-graduação em zootecnia com excelentes disciplinas e a disponibilidade das instalações para execução dos experimentos e análises laboratoriais durante o mestrado.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de mestrado concedida e sobretudo pelo financiamento desta pesquisa.

À Empresa Ajinomoto pela doação dos aminoácidos industriais e pelas análises de aminograma.

À Profa. Dra. Nilva Kazue Sakomura, a quem muito devo agradecer pela oportunidade de ingressar no curso de mestrado sob sua orientação, pelos ensinamentos que vieram desde a graduação e que contribuíram imensamente para minha formação acadêmica e pessoal, Pelo apoio nas horas difíceis e incentivo a pesquisa científica.

Ao Prof. Dr. Luciano Hauschild pela amizade, pela contribuição na pesquisa, pelos valiosos conselhos e sobretudo o apoio e confiança.

Aos professores Dr. Frank Liebert e Dra. Angela Sünder pela contribuição neste estudo com informações e sugestões importantes.

Aos professores, Nelson, Danísio, Izabelle, Euclides, Luciano, Sandra, dentro outros que foram muito importantes na minha formação acadêmica.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Melina, Joyce, Hilda, Daniela, Nayara, Gabriel, Camila, Katiani, Miryelle, Micheli, Edney, Allan, Jaqueline (Bituka), Jaqueline (Dako), Letícia, Rafael, Cristiane e os demais (Me perdoem se esqueci de alguém, mas muitos fizeram parte). Agradeço pelo apoio!

Aos funcionários do setor Robson, Izildo e Vicente pela força nos experimento e pela amizade, aos funcionários da fábrica de ração Helinho e Sandra, pela amizade e pelo auxílio na rações do experimento.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura.....	2
2.1. Exigências de Lisina para frangos de corte e eficiência de utilização	2
2.1.1. Conceito da proteína ideal na dieta de frangos de corte	5
2.2. Métodos para estimar as exigências de aminoácidos das aves.....	6
3. Referências	13
CAPÍTULO 2 – MODELAGEM DAS RESPOSTAS DE FRANGOS DE CORTE A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA	22
Abstract	24
Implications	25
Introduction.....	25
Material and methods.....	27
Experimental diets, management and data collection	28
Chemical analyses	29
Data analysis.....	30
Results	33
Discussion	36
Conclusions and perspectives	41
Acknowledgements	41
References	41

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Estimativa da exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) por meio do ajuste de uma função exponencial entre nitrogênio ingerido (NI) e nitrogênio excretado (NEX) após o fornecimento gradual de proteína para machos da linhagem Cobb 500. e = representa o número básico do logaritmo natural (ln).	58
Figura 2. Estimativa da exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) por meio do ajuste de uma função exponencial entre nitrogênio ingerido (NI) e nitrogênio excretado (NEX) após o fornecimento gradual de proteína para fêmeas da linhagem Cobb 500. e = representa o número básico do logaritmo natural (ln).	59
Figura 3. Estimativa do potencial teórico para a deposição de nitrogênio (ND_{maxT}) com aves em crescimento, machos, com base na relação entre nitrogênio ingerido (NI) e balanço de nitrogênio (ND), em diferentes idades.	60
Figura 4. Estimativa do potencial teórico para a deposição de nitrogênio (ND_{maxT}) com aves em crescimento, fêmeas, com base na relação entre nitrogênio ingerido (NI) e balanço de nitrogênio (ND), em diferentes idades.	61

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Composição das dietas experimentais	49
Tabela 2. Composição nutricional e aminoacídica das dietas experimentais e a proporção relativa dos aminoácidos em relação à lisina	50
Tabela 3. Peso corporal médio (PC g), consumo de ração (CR g/d), nitrogênio ingerido (NI mg/PC _{kg} ^{0,67} /d), nitrogênio excretado (NEX mg/PC _{kg} ^{0,67} /d) e nitrogênio depositado (ND mg/PC _{kg} ^{0,67} /d) obtidos nos ensaios de balanço de nitrogênio com machos.....	51
Tabela 4. Peso corporal (PC g), consumo de ração (CR g/d), nitrogênio ingerido (NI mg/PC _{kg} ^{0,67} /d), nitrogênio excretado (NEX mg/PC _{kg} ^{0,67} /d) e nitrogênio depositado (ND mg/PC _{kg} ^{0,67} /d) obtidos nos ensaios de balanço de nitrogênio com fêmeas.	52
Tabela 5. Estimativa da exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) e potencial teórico para a deposição de nitrogênio (ND _{max} T) de aves da linhagem Cobb, dependendo da idade e sexo.	53
Tabela 6. Deposição diária de proteína de frangos em crescimento, em termos da percentagem variável do potencial teórico de deposição proteica diária (PD _{max} T), dependente da idade e sexo.	54
Tabela 7. Exigências de lisina para machos e fêmeas da linhagem Cobb 500 no período de 6 a 21 dias estimadas em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína bruta e diferentes consumos	55
Tabela 8. Exigências de lisina para machos e fêmeas da linhagem Cobb 500 no período de 22 a 37 dias em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína bruta e diferentes consumos previstos.....	56
Tabela 9. Exigências de lisina para machos e fêmeas da linhagem Cobb 500 no período de 38 a 53 dias em função da eficiência de utilização da lisina, deposição de proteína bruta e diferentes consumos previstos.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS

AME_n = Apparent Metabolizable energy corrected for nitrogen balance (Energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio)

b = slope of the nitrogen retention curve, indicating the quality of diet protein (inclinação da curva de retenção do nitrogênio, indicando a qualidade da proteína dietética)

bc⁻¹ = Efficiency of amino acid utilization (eficiência de utilização do aminoácido)

BW = Body Weight (peso corporal)

c = Concentration of the limiting amino acid in diet (concentração do aminoácido limitante na dieta)

e = base of the natural logarithm (ln) (numero base do logaritmo natural (ln))

FI = Feed Intake (Consumo de ração)

LAAl = intake of the limiting amino acid (Ingestão do aminoácido limitante)

N = nitrogen (nitrogênio)

ND = Nitrogen deposition or nitrogen balance (Deposição de nitrogênio ou balanço de nitrogênio)

ND_{max}T = Theoretical maximum nitrogen deposition (Máxima deposição teórica de nitrogênio)

NEX = Nitrogen excretion (Nitrogênio excretado)

NI = Nitrogen intake (Ingestão de nitrogênio)

NMR = Nitrogen requirement for maintenance (Exigência de nitrogênio para manutenção)

NR = Nitrogen retention (Retenção de nitrogênio)

NR_{max}T = Theoretical maximum retention of nitrogen (Máxima retenção teórica de nitrogênio)

PC = Peso corporal

PD = Protein deposition (Deposição de proteína)

PD_{max}T = Theoretical maximum protein deposition (Máxima deposição teórica de proteína)

R² = Coeficiente de determinação

MODELAGEM DAS RESPOSTAS DE FRANGOS DE CORTE A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA

RESUMO - O objetivo desta pesquisa foi modelar o máximo potencial e deposição de nitrogênio de frangos de corte, de ambos os sexos, em função da idade e estimar as exigências de lisina digestível para diferentes deposições de proteína e eficiência de utilização da lisina. Foi conduzido um ensaio de balanço de nitrogênio para cada período (6 a 21, 22 a 37 e 38 a 53 dias). Cada ave foi alojada em uma gaiola metabólica e cada ensaio teve duração de 15 dias (cinco de adaptação e dois períodos de coleta de cinco dias). Foram utilizadas em cada ensaio 84 aves (42 machos e 42 fêmeas) distribuídas num delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram sete dietas variando os níveis de proteína de 61 a 364 g/kg na matéria seca, com a lisina limitante (4,91 g de lisina/ 100g de PB) pela técnica da diluição. A partir da aplicação de modelos não lineares foram determinados a máxima deposição de nitrogênio (NDmaxT) e a exigência de nitrogênio para manutenção. Estes dados foram utilizados na modelagem da exigência de lisina. Assumindo 60% do NDmaxT e a eficiência de utilização média de lisina para os cálculos, as concentrações ótimas de lisina estimadas foram 1,07 e 0,96% (6 a 21 dias), 1,01 e 0,93% (22 a 37 dias), 0,90 e 0,72% (38 a 53 dias) para machos e fêmeas, respectivamente (correspondente a 50, 120 e 160 g de consumo diário de ração, respectivamente). A análise dos dados permitiu concluir que o uso de modelos não lineares na estimativa da exigência dos aminoácidos é um procedimento vantajoso por refletir quantitativamente a eficiência de utilização do aminoácido sobre a deposição de proteína com a idade.

Palavras-chave: balanço de nitrogênio, frango, lisina, modelo

MODELING OF RESPONSES OF BROILER TO DIFFERENT LYSINE INTAKES

ABSTRACT - The aim of this study was to model the response of fast-growing broilers (Cobb 500) and estimate the digestible lysine requirements considering the age, sex, daily protein deposition and efficiency of lysine utilization. For this, a nitrogen balance trial was conducted for each period (6 - 21, 22 – 37, and 38 - 53 days). Each broiler was housed in a metabolic cage and each trial lasted 15 days (five for adaptation and two consecutive periods of five days of collection). Each trial had 84 broilers (42 males and 42 females) assigned in a completely randomized design with seven treatments and six replications. Treatments consisted of seven diets with protein levels ranging from 61 to 364 g/kg in the dry matter, with the limiting lysine (4.91 g lysine / 100g de CP) provided by the dilution technique. From the application of nonlinear models were determined the maximum nitrogen deposition (NDmaxT) and the nitrogen requirement for maintenance. These data were used to model the lysine requirement. Taking 60% NDmaxT and the average utilization efficiency of lysine for calculations, optimal concentrations of lysine estimated were 1.07 and 0.96% (6-21 days), 1.01 and 0.93% (22-37 days), 0.90 and 0.72% (38-53 days) for males and females, respectively (corresponding to 50, 120 and 160 g daily feed intake, respectively). The model applied allowed estimation of digestible lysine requirement consistent with the published data and the flexibility of the model allows to make recommendations for each protein deposition and consumption observed in the field.

keywords: nitrogen balance, broiler, lysine, model

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução

A evolução genética das diferentes linhagens comerciais de frangos de corte tem estimulado pesquisadores a reavaliar as exigências nutricionais destas aves. Estas linhagens apresentam diferentes potenciais de crescimento (BOAMPONSEN et al., 1991; HOLSHEIMER & VEERKAMP, 1992) necessitando quantidades específicas de aminoácidos para expressar este potencial. Como o crescimento destas linhagens é controlado pelo genótipo, existe um limite para a deposição diária de proteína ($PD_{max}T$), e o uso correto desta informação incorporada aos modelos fatoriais permite estimar as exigências dos aminoácidos.

O máximo potencial de deposição proteica pode ser usado como referencial para a estimativa das exigências dos aminoácidos com base na eficiência de utilização (LIEBERT et al., 2000). A eficiência de utilização do aminoácido deve ser conhecida, pois é utilizada conjuntamente com dados de exigência de nitrogênio para manutenção e ganho de proteína no cálculo da exigência pelo método fatorial (FATUFE, 2005). Nestes modelos, a eficiência de utilização de aminoácidos têm sido considerado por alguns pesquisadores como a porção ascendente da curva de crescimento onde parece responder de forma linear. Porém, deve ser considerado a existência de uma relação não linear entre ingestão e eficiência de utilização, já que a resposta é decrescente a medida que o aminoácido é suplementado na dieta (FATUFE, 2005).

Diante disto, estudos baseados na aplicação de procedimentos não lineares baseado nos princípios fisiológicos do crescimento vêm sendo desenvolvida por pesquisadores (SAMADI & LIEBERT, 2006a; SAMADI & LIEBERT, 2006b; SAMADI & LIEBERT, 2007a; SAMADI & LIEBERT, 2007b; SAMADI & LIEBERT, 2008) para gerar os coeficientes de crescimento e manutenção. O modelo fatorial proposto por estes pesquisadores utiliza como referencial o máximo potencial de deposição de proteína ($PD_{max}T$), estimados pela assíntota da função logarítmica da relação entre ingestão e deposição de proteína. Através de um único ensaio de curta duração obtêm-se dados experimentais para modelar a exigência de aminoácidos com base nos princípios da técnica da diluição da dieta (FISHER & MORRIS, 1970).

Uma vez que os modelos matemáticos têm focado na estimativa da exigência de lisina e os demais aminoácidos são incorporados à dieta com base no conceito da proteína ideal (OVIEDO-RONDÓN & WALDROUP, 2002), a avaliação precisa das exigências de lisina torna-se fundamental (BAKER, 1997). Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi modelar o máximo potencial e deposição de nitrogênio de frangos de corte, de ambos os sexos, em função da idade e estimar as exigências de lisina digestível para diferentes deposições de proteína e eficiência de utilização da lisina

2. Revisão de literatura

2.1. Exigências de Lisina para frangos de corte e eficiência de utilização

A modelagem das exigências dos aminoácidos essenciais para aves em crescimento depende do conhecimento dos componentes individuais da exigência e dos fatores que a influenciam. Para aves em crescimento, os principais componentes quantitativos da exigência dos aminoácidos essenciais são a manutenção, a deposição de proteína, o perfil dos aminoácidos essenciais na proteína depositada e a eficiência de utilização de cada aminoácido essencial. Quando se trata de concentração na dieta, o consumo de ração, o ganho e a conversão alimentar tornam-se as variáveis mais importantes. Segundo Moughan (2003), a falta de dados que descrevem a eficiência de utilização do primeiro aminoácido limitante é o ponto fraco na modelagem das exigências de aminoácidos.

Um fator importante a ser considerado nos ensaios realizados é o uso de níveis adequados de aminoácidos nas dietas formuladas para determinar as exigências de lisina. Em grande parte dos estudos publicados foi avaliado a resposta de frangos de corte à variação da concentração de lisina na dieta (GOUS; MORRIS, 1985; HAN; BAKER, 1991; HAN; BAKER, 1993; HAN; BAKER, 1994; SCHUTTE; PACK, 1994). Embora as respostas tenham sido lineares nestes estudos, foi demonstrada em outras espécies a existência de uma relação não linear entre ingestão e eficiência de utilização do aminoácido em animais em crescimento (GAHL et al., 1994; RODEHUTSCORD et al., 1997; FATUFE et al., 2004).

Em geral, supõe-se que a eficiência de utilização dos aminoácidos essenciais para o crescimento é semelhante entre os diferentes genótipos de uma espécie. Isto pressupõe que a digestão intestinal e a taxa de absorção não são afetadas pelo genótipo (FATUFE et al., 2004). Embora existam poucos estudos sobre este assunto, a melhora na deposição de proteína corporal através da seleção genética de frangos de corte pode estar associada a maior eficiência de utilização dos aminoácidos limitantes. A pressão da seleção genética aumentou a deposição de proteína nas aves com uma taxa de turn-over proteína corporal diferente entre as linhagens genéticas (SIMON, 1989). As alterações nas taxas de síntese e degradação de proteínas podem ter consequências para a eficiência de utilização de aminoácidos.

Para estimativas das exigências com base no modelo fatorial, a eficiência de utilização dos aminoácidos é frequentemente assumida ser constante até ao ponto em que a exigência é atendida. A maioria dos estudos para estimar a eficiência de utilização da lisina para frangos de corte têm utilizado ensaios de dose-resposta (HAN; BAKER, 1991; EDWARDS et al., 1999; FATUFE et al., 2004). Nestes ensaios a maior parte dos modelos matemáticos adotados para estimar a eficiência é o linear simples.

Pela inclinação da regressão linear simples da deposição de lisina corporal pelo consumo de lisina, Han e Baker (1991) relataram uma eficiência de utilização de lisina para ganho de peso de 69% para frangos de corte no período de 8 a 21 dias, estimando a exigência de 1,01% de lisina digestível. Da mesma forma, Edwards et al. (1999) estimaram para as linhagens New Hampshire x Columbian e Avian as eficiências de utilização de lisina de 76 e 79% com base na inclinação da regressão linear da deposição de lisina corporal pelo consumo de lisina. Fatufe et al. (2004) estimaram eficiências de utilização da lisina de 71% para frangos machos da linhagem Ross durante o período de 8 a 22 dias, estimando o nível ótimo de 1,25% de lisina na dieta para atender a 95% da máxima resposta assintótica para deposição de proteína. Siqueira (2009) estimou a eficiência de 71,8%, semelhante as estimativas de 71,8%, obtida à partir dos dados de Eits et al. (2002) e de 71% obtida por Fatufe et al. (2004), em ambos os casos utilizando o método da regressão. Siqueira (2009) obteve a eficiência média de 76,9% pela técnica da

diluição e considerada esta estimativa apropriada para frangos de corte Cobb 500. Com base nesta eficiência, este autor recomendou os níveis de lisina digestível de 1,361; 1,187; 1,073 e 0,916% em dietas para frangos de corte machos nas fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias).

Embora muitos estudos utilizem a regressão linear para determinar a eficiência de utilização da lisina, podemos citar ainda que a eficiência de utilização pode ser determinada a partir de curvas de crescimentos utilizadas para aves. Brito (2007) calculou as eficiências de utilização da lisina para frangos de corte Ross, de ambos os sexos, durante o período de 7 a 42 dias de idade a partir de valores de deposição corporal e consumo de lisina, estimados pela equação de Gompertz (1825). As eficiências variaram de 49,6 (1 a 7 dias) a 56,1% (36 a 42 dias) para machos recebendo dietas de 1,103 (1 a 7 dias) a 0,924% (36 a 42 dias) de lisina digestível e de 55,0 (1 a 7 dias) a 57,4% (36 a 42 dias) para fêmeas recebendo dietas de 1,103 (1 a 7 dias) a 0,909% (36 a 42 dias) de lisina digestível. Outra aplicação desta abordagem tem sido nas estimativas da eficiência de utilização do aminoácido (ROSTAGNO et al., 2005; ROSTAGNO et al., 2011). Esse método possibilita o entendimento das condições praticas de criação desde que apresente uma descrição adequada do comportamento biológico da ave uma vez que há a possibilidade do ajuste estatístico convergir em coeficientes não condizentes com a realidade (SILVA, 2012).

Fatufe (2004) considera que a modelagem das exigências dos aminoácidos deve incorporar funções não lineares que descrevam a eficiência de utilização de aminoácidos. Para Samadi e Liebert (2006a) o calculo da eficiência de utilização do aminoácido se inicia na determinação do parâmetro (b) do modelo que indica a inclinação da curva de retenção de nitrogênio do modelo exponencial de crescimento limitado e corresponde a qualidade da proteína da dieta, independente da ingestão de nitrogênio. A inclinação da função linear entre a concentração do aminoácido limitante na dieta (c) e o parâmetro do modelo correspondente a qualidade da proteína do alimento (b) resulta na eficiência de utilização do aminoácido limitante. Considerando a eficiência de utilização como a relação entre a qualidade da proteína e a concentração de lisina da dieta, Samadi e Liebert (2007a)

estimaram para a linhagem Cobb 500[®] a exigência de lisina de 1,10% (10 a 25 dias), 1,03%(30 a 45 dias) 0,96% (50 a 65 dias) para machos e 1,09% (10 a 25 dias), 0,95%(30 a 45 dias) 0,75% (50 a 65) para fêmeas consumindo 60, 140 e 170g de ração respectivamente. Para estas exigências, as eficiências de utilização da lisina estimadas foram 97% (10 a 25 dias), 88% (30 a 45 dias), 78%(50 a 65 dias) para os machos e 98%(10 a 25 dias), 87%(30 a 45 dias), 85%(50 a 65 dias) para as fêmeas, considerando 60% da máxima deposição de nitrogênio. Embora na literatura os resultados apresentados por estes autores não estejam em porcentagem devido ao processo de logaritmização, a eficiência de utilização pode ser calculada pela relação entre deposição e a exigência do aminoácido calculada. Samadi e Liebert (2006b) enfatizam em seu modelo que a relação entre a qualidade da proteína do alimento e a concentração do aminoácido na dieta na determinação da eficiência de utilização somente será válida se o aminoácido em estudo for limitante e o uso subestimado da eficiência de utilização poderá superestimar a exigência do aminoácido. Dessa forma, uma atenção especial deve ser dada a este coeficiente, pois nele se situa grande parte das diferenças observadas entre as recomendações dos diferentes modelos existentes.

2.1.1. Conceito da proteína ideal na dieta de frangos de corte

As exigências dos aminoácidos para frangos de corte, expressa como uma porcentagem da dieta ou como uma exigência mínima diária, variam consideravelmente devido às diferenças resultantes de fatores fisiológicos, alimentares, ambientais e genéticos. A combinação destes fatores dificulta estimar com precisão as exigências nutricionais de todos os aminoácidos para frangos de corte de cada genótipo existente (D'MELLO, 1994; MACK et al, 1999.; BAKER et al., 2002). Sabe-se que as exigências de um determinado aminoácido estão diretamente relacionadas às exigências dos demais. A resposta das aves ao o aumento nos níveis de um determinado aminoácido na dieta será condicionada quando o próximo aminoácido se tornar o primeiro limitante.

Dessa forma, para simplificar a determinação das exigências dos aminoácidos, foi implantado o conceito da proteína ideal. Parsons e Baker (1994) definem a proteína ideal como uma mistura de aminoácidos ou de proteínas com

total disponibilidade de digestão e metabolismo, capaz de fornecer, sem excessos nem deficiências, as necessidades absolutas de todos os aminoácidos exigidos para manutenção e crescimento. Nesse conceito, as exigências dos diferentes aminoácidos essenciais são expressas como porcentagem da exigência de um aminoácido referência. Embora nas dietas práticas formuladas para frangos de corte a metionina seja o primeiro aminoácido limitante, seguido pela lisina, o conceito da proteína ideal tem usado a lisina como aminoácido referência (SCHUTTE; DE JONG, 1998).

As razões subjacentes para a escolha da lisina como aminoácido referência foram resumidas por Baker e Han (1994) e Emmert e Baker (1997): (1) A lisina é um dos principais aminoácidos limitantes nas dietas convencionais para aves e pode ser suplementada na forma sintética; (2) As análises de lisina nos ingredientes e nas dietas não utilizam métodos analíticos complicados; (3) A lisina é utilizada apenas para deposição de proteína corporal e manutenção e não é utilizado para sintetizar outros aminoácidos não essenciais; (4) Existe um grande conjunto de dados na literatura resultantes de estudos das exigências de lisina para aves em diversas condições.

A vantagem da aplicação da relação ideal para atender as exigências dos aminoácidos para qualquer animal, uma vez que esta relação ideal tenha sido estabelecida para certa idade ou período, é que os estudos para determinar a exigência destes aminoácidos precisam se concentrar em apenas um único aminoácido referência e a exigência dos demais aminoácidos essenciais é calculada em relação a este aminoácido referência. Dessa forma, o maior benefício da aplicação do conceito de proteína ideal é a simplificação do processo de formulação de ração, uma vez que é necessário somente definir as exigências em lisina digestível e aplicar o perfil ideal.

2.2. Métodos para estimar as exigências de aminoácidos das aves

Métodos que determinam as exigências de aminoácidos de frangos de corte podem ser divididos em dois grupos: empírico e fatorial. Métodos empíricos se baseiam diretamente na mensuração da resposta biológica de um animal para concentrações crescentes do nutriente em questão, enquanto que pelo método fatorial as exigências dos aminoácidos são determinadas com base no cálculo da

soma das exigências de cada componente do crescimento, tais como a manutenção, crescimento do tecido muscular e crescimento da proteína de penas, todos os quais contribuem para variações nas exigências (D'MELLO, 1994). É importante ressaltar que os dados gerados nos estudos empíricos frequentemente são usados como base nos cálculos fatoriais. De acordo com Gous (1986), estudos empíricos devem ser direcionados para a geração de dados adequados para incorporação em modelos de predição com aplicações práticas na maximização do lucro ou que auxiliam na tomada de decisão nutricional. Contudo, apesar do ponto de vista geral de que a pesquisas para determinar a exigência dos aminoácidos devem ser dirigidas para o desenvolvimento de modelos de predição (HURWITZ et al., 1978; BOORMAN; BURGESS, 1986; GOUS, 1986), a grande maioria dos estudos para a determinação das exigências dos aminoácidos, sob diversas condições, é baseada em pura metodologia empírica (HAN; BAKER, 1991; HAN; BAKER, 1993; KERR et al., 1999; KIDD; FANCHER, 2001; CORZO; KIDD, 2003; HALE et al., 2004; KIDD et al., 2004).

O método empírico geralmente usado para determinar as exigências de aminoácidos para aves é o método dose resposta, pela sua praticidade e facilidade de uso (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). Nestes ensaios é comum o uso da técnica da suplementação das dietas, que nada mais é do que a suplementação gradual de uma fonte sintética do aminoácido a ser estudado a uma dieta basal deficiente neste aminoácido (D'MELLO, 1982; GOUS; MORRIS, 1985; BOORMAN; BURGESS, 1986; MACK et al., 1999). A metodologia, em geral, tem sido utilizada para formular uma dieta basal isoprotéica que atenda ou exceda a exigência do frango de corte para todos os outros nutrientes da dieta, exceto o aminoácido para o qual a exigência será determinada. A aplicação desta metodologia exige que o nível mais baixo do aminoácido teste na dieta basal seja deficiente o suficiente para limitar o crescimento. Ao mesmo tempo, a faixa dos níveis crescentes da suplementação do aminoácido cristalino deve ser grande o suficiente para descrever todas as três áreas da superfície de resposta. Estas três áreas incluem essencialmente a porção ascendente linear da resposta, a porção curvilínea e o platô que representa o ponto mais alto da suplementação em que houve pouca resposta adicional (GOUS, 1986). Finalmente, desde que estas condições foram cumpridas, a metodologia estatística

usada para avaliar os dados teriam uma grande influência sobre a determinação dos níveis ótimos de lisina (GOUS, 1986; LECLERQ, 1998). Embora existam numerosos procedimentos estatísticos, a aplicação de um teste de médias para comparar os tratamentos é inadequado para interpretar a resposta obtida num ensaio de dose-resposta, enquanto que uma regressão linear na forma de um modelo “Broken line” subestima a dose ótima, e não deve ser utilizado em ensaios onde o objetivo é chegar na concentração ótima do aminoácido (MORRIS, 1983). De acordo com Morris (1983), a interpretação correta de um ensaio de dose resposta precisa incluir a aplicação de um modelo curvilíneo que melhor descreva a resposta biológica dos dados, como por exemplo, um modelo de regressão exponencial.

A técnica da suplementação da dieta foi criticada por Gous e Morris (1985) que apresentaram quatro desvantagens da metodologia sendo a primeira que a suplementação de níveis crescentes de um único aminoácido a uma dieta basal resultaria em dietas diferentes, cada uma com um perfil diferente de aminoácido que pode, por sua vez, afetar a resposta a ser obtida. A segunda desvantagem seria que em níveis elevados de suplementação, o aminoácido deixaria de ser o primeiro limitante, assim, implicando que a maior resposta pode ser obtida para o aminoácido teste se outros aminoácidos forem fornecidos em maiores concentrações. A terceira desvantagem é que a faixa de concentração dos aminoácidos, que pode ser estudada, foi limitada pela formulação da dieta deficiente no aminoácido teste, embora sendo adequada para os demais aminoácidos. A quarta desvantagem é que alguns aminoácidos são extremamente caros na forma sintética, e a suplementação destes aminoácidos na dieta estaria limitando o estudo que definiu as exigências do aminoácido.

Gous e Morris (1985) citou que as falhas acima poderiam ser superadas usando a técnica da diluição da dieta, originalmente descrita por Fisher e Morris (1970) para determinar a exigência de aminoácidos. Este método envolve o fornecimento de uma série de dietas preparadas inicialmente pela formulação de uma dieta concentrada e misturada em quantidades proporcionais com uma dieta isenta de proteína, que contém os mesmos níveis de energia, vitaminas e minerais que a dieta concentrada. Gous (1980) considera a técnica da diluição da dieta como um método melhorado, pois esta técnica proporciona relações aminoacídicas

constantes entre os níveis avaliados resultando em dados mais confiáveis e precisos. No entanto, D`Mello (1982), realizando a comparação entre as duas técnicas, encontrou semelhantes respostas para ganho de peso e afirma ainda não haver provas de que a técnica da diluição da dieta produza resultados mais confiáveis que a técnica da suplementação.

Uma outra concepção teórica para determinar a exigência de aminoácidos para aves em crescimento, vem sendo desenvolvida pelo grupo de pesquisadores da Universidade de Georg-August, Göttingen na Alemanha. O estudo se baseia na concepção de que cada animal tem um potencial genético para a sua máxima deposição de proteína, e este é referido como $PD_{max}T$ e inclui exigência de nitrogênio para manutenção (NMR). Estes parâmetros podem ser determinados em ensaios de desempenho com uma subsequente análise de carcaça ou em ensaios de balanço de nitrogênio. Com um modelo de utilização de nitrogênio adequado, este máximo teórico para retenção de proteína ($PD_{max}T$) pode ser quantificado e utilizado para vários fins, principalmente em modelos de crescimento, na determinação da eficiência de utilização dos aminoácidos e exigências de aminoácidos. Neste contexto, vários trabalhos de pesquisa vêm sendo realizados a partir de um modelo de utilização de nitrogênio com base nos princípios fisiológicos do crescimento desenvolvido por Gebhardt em 1966 e seu aprimoramento subsequente (SAMADI; LIEBERT, 2006a; SAMADI; LIEBERT, 2006b; SAMADI; LIEBERT, 2007a; SAMADI; LIEBERT, 2007b; SAMADI; LIEBERT, 2008). Um modelo não linear exponencial é usado para avaliar os parâmetros do metabolismo da proteína usando uma descrição matemática fisiologicamente adequada da relação entre a ingestão de nitrogênio e deposição de nitrogênio.

Várias metodologias têm sido utilizadas para estimar a exigência de nitrogênio para manutenção (NMR) em diferentes espécies. O fornecimento de uma dieta isenta em proteína é um dos procedimentos utilizados em estudos anteriores (LEESON; SUMMERS, 2001). Estes autores estimaram os dados de exigência de nitrogênio para manutenção a partir do fornecimento de uma dieta isenta de proteína para aves adultas e concluíram que 200 a 300 mg de $N/PC_{kg}^{0,67}$ ou 180 mgN/ $PC_{kg}^{0,75}$. Entretanto, este método é criticado principalmente por causa de sua natureza não fisiológica, associada com a mobilização das reservas corporais de proteína durante

a privação deste nutriente (HESS; SÈVE, 1999). Dessa forma, os idealizadores do modelo de Göttingen (SAMADI; LIEBERT, 2006a; SAMADI; LIEBERT, 2006b; SAMADI; LIEBERT, 2007a; SAMADI; LIEBERT, 2007b; SAMADI; LIEBERT, 2008), propõe que a exigência de manutenção (NMR) seja determinada através de modelos de regressão que simulam as condições fisiológicas proporcionadas pela alimentação de uma dieta isenta de proteína através de um procedimento matemático aceitável. A relação entre ingestão de nitrogênio e excreção de nitrogênio total é aplicado para simular a alimentação da dieta isenta de nitrogênio (SAMADI; LIEBERT, 2006a; SAMADI; LIEBERT, 2006b; SAMADI; LIEBERT, 2007a; SAMADI; LIEBERT, 2007b; SAMADI; LIEBERT, 2008). A estimativa do NMR é baseada em uma simulação matemática de curvas dose-resposta entre os valores observados de nitrogênio ingerido (NI) e nitrogênio excretado (NEX). O NMR é estimado pelo ponto de intersecção da função ajustada com o eixo y, para NI = 0. O expoente 0,67 é aplicado para calcular o peso corporal metabólico de acordo com os fundamentos do modelo utilizado para animais em crescimento (SAMADI; LIEBERT, 2006a; SAMADI; LIEBERT, 2006b; SAMADI; LIEBERT, 2007a; SAMADI; LIEBERT, 2007b; SAMADI; LIEBERT, 2008), admitindo que a área da superfície corporal aumenta ao quadrado e o volume do peso corporal aumenta ao cubo de forma linear numa proporção de 2/3 (SILVA, 2012).

A exigência de nitrogênio de manutenção determinado com base no balanço de nitrogênio, conforme Longo et al. (2001) para frangos de corte machos foi de 212 mg de $N/PC_{kg}^{0,75}/dia$ e fêmeas de 280 mg de $N/PC_{kg}^{0,75}/dia$. Hurwitz et al. (1978) encontraram valores de 370 mg de $N/PC_{kg}^{0,67}/dia$ e Scott et al. (1982) valores de 420 mg de $N/PC_{kg}^{0,75}/dia$ para aves em crescimento. Já Macleod (1990) determinaram a exigência de nitrogênio para manutenção de fêmeas de frango de corte entre 900 e 1100 mg de $N/PC_{kg}^{0,75}/dia$. Samadi e Liebert (2006a) utilizando modelo exponencial ($y = a.e^x$), estimaram por meio do NI e do NEX, que o requerimento médio de nitrogênio para de frangos de corte Cobb 500 10 a 85 dias, foi de 252 mg/ $PC_{kg}^{0,67}/dia$. As diferenças observadas, em grande parte, se devem aos métodos adotados pelos autores para descrever a resposta das aves.

O método utilizado por Samadi e Liebert (2006a) para determinar a exigência de nitrogênio para manutenção se diferencia das demais por considerar a existência de

uma quantidade considerável de proteína sintetizada mesmo que a ave esteja em estado fisiológico de equilíbrio de nitrogênio. A mínima retenção de nitrogênio descrita desta forma contribui para compreender a resposta das aves associadas à retenção de nitrogênio, pois quanto maior a deposição de nitrogênio ou proteína menor são as taxas de excreção, predominantemente na fase inicial das aves. Da mesma forma ao se aproximar do limite de deposição de nitrogênio ($ND_{max}T$) a taxa de excreção aumenta e este aumento está limitado ao potencial de deposição que cada genótipo apresenta.

O modelo exponencial de crescimento limitado ($y = a(1-e^{-x})$) descreve os pequenos acréscimos na resposta do animal, levando em consideração que as respostas das aves às concentrações de aminoácidos nas dietas obedecem a “lei dos retornos decrescentes” (OVIEDO-RONDÓN; WALDROUP, 2002; PACK et al., 2003; LEMME, 2005; SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007), que segundo (ROBBINS et al., 1979; LARBIER; LECLERCQ, 1992; PACK et al., 2003; SIQUEIRA et al., 2009) não é admitido em modelos lineares. Refletindo a lei dos “mínimos retornos”, a função exponencial utilizada produz valores limiares, que são indicativos do limite superior para a deposição de nitrogênio ($ND_{max}T$) e que são dependentes da espécie, genótipo, idade e sexo (THONG; LIEBERT, 2004; SAMADI; LIEBERT, 2006a).

As funções matemáticas que descrevem o perfil da retenção e deposição de nitrogênio são representadas por $NR = NR_{max}T (1 - e^{-b \cdot NI})$ e $ND = NR_{max}T (1 - e^{-b \cdot NI}) - NMR$. Onde o $NR_{max}T$ é a retenção máxima teórica dependente do genótipo do animal; e, número base do logaritmo natural ($\ln$); b , é a inclinação da curva de retenção do nitrogênio que indica a qualidade protéica do alimento e independe da ingestão de nitrogênio; NMR , é a exigência de nitrogênio para manutenção. Samadi e Liebert (2007a) determinaram a máxima deposição teórica diária de nitrogênio de $3676 \text{ mg/PC}_{kg}^{0,67}$ para os machos e 3582 para as fêmeas $\text{mg/PC}_{kg}^{0,67}$ da linhagem Cobb 500 no período de 10 a 25 dias. Com o avanço da idade, observaram que o potencial de deposição diária de nitrogênio diminuiu para $1864 \text{ mg/PC}_{kg}^{0,67}$ e $1708 \text{ mg/PC}_{kg}^{0,67}$ no período de 50 a 65 dias, para machos e fêmeas, respectivamente.

O valor do $PD_{max}T$ é obtido a partir do $ND_{max}T$ e descreve o potencial teórico da máxima deposição proteica. É importante salientar que o atributo “teórico” indica o

valor limiar estimado ($ND_{max}T$ e $NR_{max}T$, respectivamente), bem como os valores derivados de $PD_{max}T$, e não representam exatamente a faixa de crescimento observada em campo, mas caracterizam a estimativa do potencial genético da linhagem, o qual não é atingido devido a fatores dietéticos. Dessa forma, Samadi e Liebert (2006a) informam que a definição do potencial máximo genético não pode ser totalmente considerado para otimizar estratégias alimentares. Porém, é possível utilizar este potencial como porcentagem do $PD_{max}T$ ou ganho diário de proteína como parâmetros de desempenho.

Outra característica fundamental desta metodologia para estimar das exigências aminoacídicas é o uso da técnica da diluição da dieta (FISHER & MORRIS, 1970), pois ela proporciona relações aminoacídicas constantes entre os tratamentos produzindo resultados mais confiáveis. Dessa forma, os princípios da técnica da diluição têm sido aplicado para melhorar o método (SAMADI; LIEBERT, 2006a; SAMADI; LIEBERT, 2006b; SAMADI; LIEBERT, 2007a; SAMADI; LIEBERT, 2007b; SAMADI; LIEBERT, 2008).

Uma vez que o máximo potencial genético de retenção e deposição de nitrogênio ($NR_{max}T$ e $ND_{max}T$) foram determinados, conforme descrito anteriormente, um ensaio dose resposta, com dietas limitantes no aminoácido teste, deve ser realizado para obter a eficiência de utilização do aminoácido que é representado pelo parâmetro bc^{-1} . O parâmetro bc^{-1} prediz a utilização total do aminoácido limitante na proteína do alimento para os processos metabólicos da síntese proteica que envolvem a absorção e o catabolismo inevitável do primeiro aminoácido limitante.

Pelo princípio da proteína ideal, a resposta da ave para ingestão de nitrogênio depende do primeiro aminoácido limitante da dieta (LAA). A expressão matemática que descreve esta relação é $LAAI = (\ln NR_{max}T - \ln(NR_{max}T - NR)) / 16.bc^{-1}$, em que LAAI é a ingestão do aminoácido limitante; c representa a concentração do aminoácido limitante na proteína do alimento (dada em grama do aminoácido por 100 gramas de proteína bruta); bc^{-1} representa a eficiência de utilização do aminoácido limitante, que é dada pela inclinação entre a concentração do aminoácido limitante (c) e a qualidade protéica do alimentos (b). Um fator de

conversão da ingestão de nitrogênio em aminoácido é dado pela seguinte descrição
 $NI = 16 \text{ LAAl/c.}$

Em comparação com alguns trabalhos (BILGILI et al., 1992; KIDD et al., 1997; CORZO et al., 2002), os resultados obtidos por Samadi e Liebert (2007a) para o genótipo de frangos Cobb 500[®] revelaram níveis semelhantes, o que indica uma equivalência metodológica, com certa simplicidade na execução.

3. Referências

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

BAKER, D.H.; BATAL, A.B.; PARR, T.M. et al. Ideal ratio (relative to lysine) or tryptophan, threonine, isoleucine and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, v.81, p. 485–494, 2002.

BAKER, D.H.; HAN, Y. Ideal amino acid profile for broiler chicks during the first three weeks posthatching. **Poultry Science** v. 73 p. 1441-1447, 1994.

BILGILI, S.F.; MORAN, E.T.; ACAR, N. Strain-cross response of heavy male broilers to dietary lysine in the finisher feed : Live performance and further-processing yields. **Poultry Science**, v.71, p.850-858, 1992.

BOA-AMPONSEM, K.; DUNNINGTON E. A.; SIEGEL P.B. Genotype, feeding regimen, and diet interactions in meat chickens. 1. Growth, organ size, and feed utilization. **Poultry Science**, v.70, p.680-688, 1991.

BOORMAN, K.N.; BURGESS, A.D. Responses to amino acids. In Fisher, C.; Boorman, K.N. (eds) **Nutrient Requirements of Poultry and Nutritional Research**. Butterworths, London. p. 99-123, 1986.

BRITO, C.O. **Avaliação de dietas formuladas com aminoácidos totais e digestíveis e estimativas do crescimento e da deposição de nutrientes em frangos de corte.** 155f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

CORZO, A.; KIDD, M.T. Arginine needs of the chicks and growing broiler. **International Journal of Poultry Science.** v. 2, p. 379-382, 2003.

CORZO, A.; KIDD, M.T.; KOTER, M.D. et al. Assessment of dietary amino acid scarcity on growth and blood plasma proteome status of broiler chickens. **Poultry Science**, v.84, p.419-425, 2002.

D'MELLO, J.P.F. A comparison of two empirical methods of determining amino acid requirements. **World's Poultry Science Journal.** V. 38, p. 114-119, 1982.

D'MELLO, J.P.F. Responses of growing poultry to amino acids. in **Amino Acids in Farm Animal Nutrition.** J.P.F. D'Mello, ed. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, p. 205-243, 1994.

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. **Poultry Science**, v. 78, n. 10, p. 1412-1417, 1999.

EITS, R.M.; KWAKKEL, R.P.; VERSTEGEN, M.W.A. et al. Protein and lipid deposition rates in male broilers chickens: separate responses to amino acids and protein-free energy. **Poultry Science**, Savoy, v. 81, p. 472-480, 2002.

EMMERT, J.L.; BAKER, D.H. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. **Journal of Applied Poultry Research**, V. 6, p. 462-470, 1997.

FATUFE, A.A. et al. Response to lysine intake in composition of body weight gain and efficiency of lysine utilization of growing male chickens from two genotypes. **Poultry Science**, v. 83, n. 8, p. 1314-1324, 2004.

FATUFE, A.; RODEHUTSCORD, M. Growth, body composition, and marginal efficiency of methionine utilization are affected by noessential amino acid nitrogen supplementation in male broiler chicken. **Poultry Science** v.84, p. 1584-1592. 2005

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.

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

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.; MORRIS, T. R. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. **British Poultry Science**, v.26, p.147–161. 1985.

GOUS, R.M. An improved method for measuring the response of broiler chickens to increasing dietary concentrations of an amino acid. In: EUROPEAN POULTRY CONFERENCE. **Proceedings...Hamburg: World's Poultry Science Association**. Hamburg, v.3, p. 32–39, 1980.

GOUS, R.M. Measurement of response in nutritional experiments. In: Fisher C.; Boorman, K.N. (eds) **Nutrient Requirements of Poultry and Nutritional Research**. London, Butterworths, p. 41-57. 1986.

GOUS, R.M.; MORAN JR, E.T., STILBORN, H.R. et al. Modeling energy and amino acid requirements in order to optimise the feeding of commercial broilers. **Anais Simpósio Internacional ACAV-Embrapa sobre Nutrição de Aves**. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, Santa Catarina. p. 2-94. 2002.

HALE, L.L.; BARBER, S.J.; CORZO, A. et al. Isoleucine needs of thirty-to forty-two-day-old female chickens: growth and carcass responses. **Poultry Science**. V. 83, p. 1986-1991, 2004.

HAN, Y.; BAKER, D. H. Digestible lysine requirement of male and female broiler chicks during the period three to six weeks posthatching. **Poultry Science**, v.73, p. 1739-1745. 1994.

HAN, Y.; BAKER, D. H. Effects of sex, heat stress, body weight, and genetic strain on the dietary lysine requirement of broiler chicks. **Poultry Science**, v.72, p. 701-708. 1993.

HAN, Y.; BAKER, D. H. Lysine requirements of fast and slow growing broiler chicks. **Poultry Science**, v.70, p. 2108–2114. 1991.

HESS, V.; SÈVE, B. Effects of body weight and feed intake level on basal ileal endogenous losses in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.77, p. 3281-3288. 1999.

HOLSHEIMER, J. P.; VEERKAMP, C. H. Effect of dietary energy, protein, and lysine content on performance and yields of two strains of male broiler chicks. **Poultry Science**, v.71, p.872-879, 1992.

HURWITZ, S. et al. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. **Poultry Science**, v. 57, n. 1, p. 197-205, 1978.

KERR, B.J.; KIDD, M.T.; HAPLIN, K.M. et al. Lysine level increases live performance and breast yield in male broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, V. 8, p. 381-390, 1999.

KIDD, M.T.; CORZO, A.; HOEHLER, D. et al. Threonine needs of broiler chickens with different growth rates. **Poultry Science**. V. 83, p. 1368-1375, 2004.

KIDD, M.T.; FANCHER, B.I. Lysine needs of starting chicks and subsequent effects during the growth period. **Journal of Applied of Poultry Research**. V. 10, p. 385-393, 2001.

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

LABIER, M.; LECLERCQ, B. **Nutrition and feeding of poultry**. Nottingham: University Press: 1992. 305p.

LECLERCQ, B. Specific effects of lysine on broiler production: Comparison with threonine and valine. **Poultry Science**. v. 77, p. 118-123, 1998.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the Chicken**, Chap. 3, 4th edn, p. 100-175 (Guelph, Canada, University Books). 2001.

LEMME, A. Optimum dietary amino acid level for broiler chicken. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 2., 2005, Viçosa, MG. **Anais**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p.117-144.

LIEBERT, F.; RIMBACH, M.; PEISKER, M. Model for estimation of amino acid utilization and its requirements in growing animals In: BENALVE D, Australian Poultry Science Symposium. Sydney. Poultry Research Foundation 12, p.88-92. 2000

LONGO, F. A.; SAKOMURA, N. K.; FIGUEIREDO, A. N. et al. Equações de predição das exigências protéicas para frango de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1521-1530, 2001.

MACK, S.; BERCOVIC, D.; DE GROOTE, G. et al. Ideal amino acids profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age. **British Poultry Science**, Abington, v. 40, p. 257-265, 1999.

MACLEOD, M.G. Energy and nitrogen intake, expenditure and retention at 20° in growing fowl given diets with range of energy and protein contents. **British Journal of Nutrition**, v.64, p. 625-637, 1990.

MORRIS, T.R. The Interpretation of response data from animal feeding trials. In Haresign, W. (ed) **Recent Advances In Animal Nutrition**. Butterworths, London, p. 13-23, 1983.

MOUGHAN, P. J. Simulating the partitioning of dietary amino acids: New directions. **Journal of Animal Science** v. 81, p.60-67, 2003.

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.; HOEHLER, D.; LEMME, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F. (Eds.) **Amino acids in animal nutrition**. Cambridge: CABI Publishing, p.459-483, 2003.

PARSONS, C.M., BAKER, D.H. The concept and usage of ideal proteins in the feeding of nonruminants. In: **Simpósio internacional de produção de não ruminantes**, Maringá. **Anais...** Maringá: EDUEM. p.119-128. 1994.

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

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos - composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2ed. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2005.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos - composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3ed. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2011.

RODEHUTSCORD, M.; BECKER, A.; PACK, M. et al. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to supplements of individual essential amino acids in a semipurified diet, including an estimation of the maintenance requirement for essential amino acids. **Journal of Nutrition**, v.127, p.1166-1175, 1997.

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

SAMADI; LIEBERT, F. estimation of nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. **Poultry Science**, 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. **Poultry Science**, v. 85, n. 11, p. 1961-1968, 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, n. 1, p. 63-72, 2007a.

SAMADI; LIEBERT, F. Threonine requirement of slow-growing male chickens depends on age and dietary efficiency of threonine utilization. **Poultry Science**, 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.

SCHUTTE, J. B.; PACK, M. Biological efficacy of L-lysine preparations containing biomass compared to L-lysine-HCl. **Archives of Animal Nutrition**, v.46, p. 261–268. 1994.

SCHUTTE, J.B.; DE JONG, J. Ideal amino acid profile for poultry. In: **Proceedings of II Conference of Feed Manufacturers of the Mediterranean**. Reus, Spain, p. 259-263, 1998.

SCOTT, M.L.; NESHEIM, M.C.; YOUNG, R.J. **Nutrition of the chicken**. 3rd ed. Ithaca New York. Scott, M. L. and Associates. 1982.

SILVA, E. P. **Modelos de crescimento e das respostas de frangas de postura submetidas a diferentes ingestões de aminoácidos sulfurados**. 207f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP, 2012.

SIMON, O. Metabolism of proteins and amino acids. In: Bock, H.D.; Eggum, B.O.; Low, A. G.; Simon, O.; Zebrowska, T. (ed.) **Protein Metabolism in Farm Animals**. Oxford University Press, Oxford, p. 273-366. 1989.

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

SIQUEIRA, J.C.; SAKOMURA, N.K.; NASCIMENTO, D.C.N. et al. 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, n. 5-6, p. 196-203, 2004.

CAPÍTULO 2 – MODELAGEM DAS RESPOSTAS DE FRANGOS DE CORTE A DIFERENTES INGESTÕES DE LISINA

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação na Revista **Animal (Cambridge)**

Modeling the responses of broilers to different lysine intakes

J.C.P Dorigam¹, N. K. Sakomura¹, L. Hauschild¹ and E. P. Silva¹

¹ *Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, Jaboticabal, SP 14884-900 Brasil*

Corresponding author: Nilva Kazue Sakomura, e-mail: sakomura@fcav.unesp.br

Abstract

The aim of this study was to model the response of fast-growing broilers (Cobb 500) and estimate the digestible lysine requirements considering the age, sex, daily protein deposition and efficiency of lysine utilization. For this, a nitrogen balance trial was conducted for each period (6 - 21, 22 – 37, and 38 - 53 days). Each broiler was housed in a metabolic cage and each trial lasted 15 days (five for adaptation and two consecutive periods of five days of collection). Each trial had 84 broilers (42 males and 42 females) assigned in a completely randomized design with seven treatments and six replications. Treatments consisted of seven diets with protein levels ranging from 61 to 364 g/kg in the dry matter, with the limiting lysine (4.91 g lysine / 100g de CP) provided by the dilution technique. From the application of nonlinear models were determined the maximum nitrogen deposition (ND_{maxT}) and the nitrogen requirement for maintenance. These data were used to model the lysine requirement. Taking 60% ND_{maxT} and the average utilization efficiency of lysine for calculations, optimal concentrations of lysine estimated were 1.07 and 0.96% (6-21 days), 1.01 and 0.93% (22-37 days), 0.90 and 0.72% (38-53 days) for males and females, respectively (corresponding to 50, 120 and 160 g daily feed intake, respectively). The model applied allowed estimation of digestible lysine requirement consistent with the published data and the flexibility of the model allows to make recommendations for each protein deposition and consumption observed in the field.

Keywords: Nitrogen balance, chicken, lysine, model

Implications

This article sought to describe an approach to estimate the optimal concentration of lysine in the diet by using nonlinear models. Along with the principle of factorial method these models were able to properly represent the physiological response of growing broilers by the intake of different concentrations of lysine. With the responses obtained, the variation in the utilization efficiency of lysine in the diet can influence the optimal level recommended by the model used. Beyond this factor, the feed intake can also affect the concentration of digestible lysine established, especially when considered the sex. Estimates of optimal concentration of digestible lysine in the diet regarding the maximum deposition of protein, dependent on age, sex and genotype, were consistent with literature recommendations for growing broilers. In this context, the use of nonlinear models can contribute with the adjustment of nutritional programs for these broilers during the growing phase. The objective of these programs has been to establish diets that allow broilers to express their maximum genetic potential. In view of this purpose, it is assumed that productive indices during the growing period are optimized. However, before establishing an optimal level it is necessary further studies to evaluate the protein deposition in these broilers and variations in the utilization efficiency of this amino acid in the diet.

Introduction

Broiler strains available in the market are different as for the requirements of amino acids. This aspect is because the growth of broilers is mainly determined by the genotype (Leclerq, 1983; Renden *et al.*, 1992; Smith *et al.*, 1998). Other factors

that also determine differentiated requirements are sex and age (Zuprizal *et al.*, 1992; Rosa *et al.*, 2001). In this way, the determination of amino acids requirements in poultry depends on an adequate description of the potential protein deposition of birds according to genotype, age, and sex. This potential has been determined in nitrogen balance trials or carcass analyses (Liebert *et al.*, 2000).

Besides the maximum potential for protein deposition the utilization efficiency of the amino acid and the nitrogen requirement for maintenance when combined into a factorial equation enable the estimative of amino acid requirements (Liebert *et al.*, 2000). The utilization efficiency of amino acids is usually represented by a model where the bird response to the amino acid intake is constant and linear up to the maximum protein deposition. But several studies have shown the curvilinear nature of the response of a flock to the variation in the maintenance and growth potential (Fisher, 1973; Curnow, 1973; Fatufe, 2005). In this way, nonlinear functions are more appropriate to represent responses of poultry to amino acids intake.

An alternative approach to determine requirements is the use of procedures to model the response of broilers to the amino acid intake (Samadi and Liebert, 2006a, b, 2007a, b). This method is based on nonlinear mathematical models using mathematical relationships between nitrogen intake (NI), nitrogen excretion (NEX) and theoretical maximum retention of nitrogen ($NR_{max}T$). A priori this method combines characteristics of easy implementation, inherent to the dose-response method and allows the fractionation of requirements for maintenance and growth. In addition, it allows considering differences between genotypes, sex and growth dynamics, by considering a short time period.

As mathematical prediction models have focused on the estimate of lysine requirement and other amino acids are incorporated to the diet according to the ideal protein concept (Oviedo-Rondón & Waldroup, 2002), the accurate evaluation of lysine requirements becomes essential (Baker, 1997). In this way, this study aimed to model the maximum potential and nitrogen deposition of broilers, of both sexes according to the age, and to estimate the requirements of digestible lysine for different protein depositions and utilization efficiency of lysine.

Material and methods

Three trials were conducted on the nitrogen balance in the experimental facilities of the Poultry Science Laboratory of the Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences of Unesp Jaboticabal, São Paulo State. Trials were developed in metabolic shed with negative pressure system to control the temperature. In total, 252 Cobb 500 broilers (126 males and 126 females) were used. The chicks were reared in battery cages up to the sixth day and after that period the broilers were used in the nitrogen balance trials. Trials of nitrogen balance were split into five adaptation days and two consecutive periods for collection (five days each). It was undertaken a nitrogen balance trial for each period (6-21 days; 22-37 days, and 38-53 days). The period was extended to 53 days because of the interest of some companies to commercialize cut yields (mainly breast and thigh meat). For each period, 84 birds were used (42 males and 42 females). Broilers were assigned in a completely randomized design, made up by seven treatments and six replications each. The average initial weight in each phase was 143 ± 4 g and 147 ± 5 g (6-21 days), 911 ± 29 g and 891 ± 30 g (22-37 days) and 2596 ± 82 g and 2091 ± 62 g (38-53 days) for

males and females, respectively. Broilers were individually housed in metabolic cages supplied of individual feeders and nipple drinkers.

Experimental diets, management and data collection

Treatments consisted of seven isoenergetic diets with different nitrogen levels prepared by the dilution technique, maintaining constant the ideal ratio proposed by ROSTAGNO *et al.* (2005), except for lysine, which has been deficient and limiting the responses of broilers to experimental diets. Two diets were formulated, one concentrate diet and a nitrogen free diet (Table 1). The nitrogen free diet was used to dilute the concentrate diet to compose the experimental diets with gradual supply of protein (N1=6.1%, N2=12.4%, N3=18.3%, N4=23.9%, N5=29.5% and N6=36.4% in dry matter), maintaining the ideal ratio of amino acids. The proportions of concentrate:Nitrogen free in the experimental diets were N1=15:85; N2=32:68; N3=49:51; N4=66:34; N5=83:17 and N6=100:0.

>>> To insert Table 1

Experimental diets were prepared by the diet dilution technique (Fisher and Morris, 1970) so that the lysine in the experimental diets was the first limiting amino acid with mean concentration of 4.91 g lysine/100 g of Crude protein. In the trials was used a single diet for all phases. Dietary levels of digestible lysine were achieved by the diet dilution technique, with 36% relative deficiency of lysine in relation to other amino acids based on the requirement estimated according to Rostagno *et al.* (2005). The levels of digestible lysine of treatments were: N1=0.276%; N2=0.588%;

N3=0.900%; N4=1.211%; N5=1.523%; N6=1.835%). The seventh treatment consisted in the supplementation of 4 g L-Lysine HCl /kg diet added in the diet of the treatment 1 (N1), corresponding to 312 g lysine/kg diet, as a counter-proof to check if lysine was actually the first limiting amino acids in experimental diets. The relative proportion of amino acids in relation to lysine and the nutritional composition of diets is in Table 2.

>>> To insert Table 2

Each trial lasted for 15 days, divided into adaptation (five days) and the total collection of excreta (two consecutive periods of collection with five days each). In the beginning of the adaptation, diets were supplied *ad libitum* to predict the intake per bird in the collection period. The diet was weighed and provided individually and the amount kept constant up to the beginning of the third day of adaptation, when the feed supply was again adjusted for another two days, based on the intake of previous days. At the start of the collection period the intake was measured again and the amount of feed supply was held constant up to the end of the period. This measure is adopted to control the feed supply based on the intake increase resulting from the accelerated growth of these broilers. Excreta were collected once a day and immediately frozen and stored at -20 ° C for later analysis.

Chemical analyses

Excreta were thawed and manually homogenized, then freeze dried for 72 hours (-80°C; -800mbar; Edwards 501, Thermo®). Samples were weighed to quantify

the pre-dried material and thus ground in a micromill (A11 Basic, IKA®). The total nitrogen content of excreta and diets were quantified following the Kjeldahl method (method # 2001.11), according to AOAC (2002) in nitrogen distiller (kjeltec™ 8400; Foss®). The calculation of crude protein was based on the factor 6.25 from the determined content of nitrogen. The energy content of diets was analyzed by bomb calorimetry (C2000, IKA®-Werke) and calculated in terms of metabolizable energy (Rostagno *et al.*, 2011). The composition of amino acids of diets was estimated using the data of the aminogram accomplished in the Laboratory of Ajinomoto Biolatina and the digestibility coefficients calculated according to Rostagno *et al.* (2011).

Data analysis

Experimental data are presented as mean values $\pm$ standard error. Data were analyzed with the statistical package SAS 9.1, using the PROC NLIN to fit the nonlinear models. Differences between variables were compared by a one-way analysis of variance (anova) including Tukey for significance identification. The nitrogen requirement for maintenance (NMR, mg/BW_{kg}^{0.67}/day) was obtained by the relationship between nitrogen intake (NI, mg/BW_{kg}^{0.67}/day) and nitrogen excreted (NEX, mg/BW_{kg}^{0.67}/day), considering the NMR as the intercept of the exponential function on the axis Y (NEX) for NI=0, according to the equation (1):

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

The theoretical maximum retention of nitrogen ($NR_{max}T$, mg/BW_{kg}^{0.67}/day), as the limit value of the exponential function between NI and nitrogen retention (NR, mg/BW_{kg}^{0.67}/day) (equation 2), was estimated by a statistical process after several iterations by the Levenberg-Marquardt algorithm until the lowest possible sum of squares of the residue. This nonlinear model for growing monogastric animals was applied in accordance with current studies (Samadi and Liebert, 2006a, b, 2007a, b):

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

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

Where:

NR = Nitrogen retention (ND+NMR)

ND = Nitrogen deposition or nitrogen balance (NI-NEX)

NI = Nitrogen intake

NMR = Nitrogen requirement for maintenance

$NR_{max}T$ = Theoretical maximum retention of nitrogen

b = slope of the nitrogen retention curve (indicating the quality of diet protein, regardless of nitrogen intake)

e = base of the natural logarithm (ln)

For the calculation of lysine requirement, the exponential function in the equation (2) was log transformed. The equation (4) generated by the transformation of the equation (2) allows assessing the effectiveness of the protein in the diet (quality of food protein) regardless of amount of nitrogen ingested.

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

$$NI = (\ln NR_{\max}T - \ln(NR_{\max}T - NR)) / b \quad (5)$$

The equation (5) calculates the nitrogen intake (NI) needed for a certain performance (NR) which depends on the protein quality of the provided food (b). Based on the equation (5) the intake necessary of the limiting amino acid (LAA) in the diet is established. The quality of the food protein (b) is linearly dependent on the concentration of the limiting amino acid in the food protein (c) (Samadi and Liebert, 2006a, b, 2007a, b). Dose response studies using the supplementation technique is commonly based on the fundamental principle of the relationship between the content of the limiting amino acid in the diet and the growth response, which is also considered in the equation (6).

$$LAAI = (\ln NR_{\max}T - \ln(NR_{\max}T - NR)) / 16bc^{-1} \quad (6)$$

Where:

LAAI= intake of the limiting amino acid dependent on the bird's performance and utilization efficiency of the limiting amino acid [mg/kg^{0.67}]

bc⁻¹ = slope between the concentration of the limiting amino acid (c) and the quality of dietary protein(b). (Indicating the utilization efficiency of the amino acid).

A conversion factor from nitrogen intake to amino acid is given by the equation (7):

$$NI = 16 \text{ LAAI}/c \text{ (7)}$$

Replacing the NI in the equation (5) by the equation (7) results in the equation (6). The slope of the linear function between the concentration of the limiting amino acid in the diet (c) and the parameter of the model corresponding to the quality of food protein (b) which represents the utilization efficiency of the limiting amino acid (Samadi and Liebert, 2006b).

Results

In Tables 3 and 4 are shown results of nitrogen balance trials, with growing broilers, males and females, respectively. As expected, the ND responded to the gradual supply of protein in the diet. The NEX increased with increased intake of nitrogen, reaching values above the ND in the highest levels. Since it was adopted two consecutive periods for collection in nitrogen balance trials, the standard error of the mean was greater within each treatment.

>>> To insert Table 3

>>> To insert Table 4

The regression between NI and NEX, dependent on age, period and sex, was fitted by an exponential function (Figures 1 and 2). The NMR was estimated by the intercept on the axis Y for NI=0 and represents the amount of nitrogen to be ingested to offset endogenous losses.

>>> To insert Figure 1

>>> To insert Figure 2

The estimative of the threshold value representing the maximum genetic potential for body protein deposition of Cobb 500 strain are illustrated in figures 3 and 4 for males and females, respectively. The results of estimating NDmaxT as the threshold value of the exponential function demonstrate that the genetic potential of growing chickens to deposit protein per $BW_{kg}^{0.67}$ decreases with increasing age.

>>> To insert Figure 3

>>> To insert Figure 4

The values estimated of NMR for different age groups and both sexes are in Table 5.

>>> To insert Table 5

In the Table 6 are presented the model parameters transformed into daily protein deposition for the average body weight in the period, for males and females, using the asymptotic response (threshold value) determined by the model. From this procedure, the data was modeled to determine the amino acid requirement by the equation (6), dependent on the performance (daily protein deposition) and efficiency of the limiting amino acid in the diet.

>>> To insert Table 6

Results of data modeling of digestible lysine requirements are in Tables 7 to 9. In order to fit calculations for performance conditions observed in the field, were adopted 50%, 60% and 70% $ND_{max}T$ as daily protein deposition (Samadi and Liebert, 2006a; Samadi and Liebert, 2007a,b). The criterion to select the percentage was based on the mean value of ND values (observations from field data or experimental values) in relation to $ND_{max}T$ estimated in the period. In this study, the mean value established was 56%, but for simplification of calculations it was used the value of 60% (SAMADI & LIEBERT, 2007a). In the early phase (6-21 days) were estimated levels of 1.07% and 0.96% digestible lysine for males (daily protein deposition of 7.2 g) and females (daily protein deposition of 6.6 g) both consuming on average 50 g feed per day (Table 7). In the growing phase (22-37 days) were estimated levels of 1.01% digestible lysine for males for a daily protein deposition of 15 g, and 0.93% digestible lysine for females for a daily protein deposition of 14 g, both consuming on average 120 g feed per day (Table 8).

>>> To insert Table 7

>>> To insert Table 8

In the final phase (38-53 days) were estimated levels of 0.90% and 0.72% digestible lysine for males (daily protein deposition of 17.7g) and females (daily protein deposition of 14.1 g), both consuming on average 160 g feed per day (Table 9). Despite recommendations more information on the model and performance data

are needed to improve estimates, once the optimal concentration of lysine in the feed could vary according to daily protein deposition and daily feed intake by broilers.

>>> To insert Table 9

Discussion

Amino acids requirements for growing birds can be determined based on a factorial equation that integrates the protein deposition and utilization efficiency of the limiting amino acid in the diet. However in this equation the relationship that allow determining the efficiency (amino acid deposition according to intake) when dealing with poultry is not linear and should be described through a mathematical model that adequately represents the physiological response of these birds (Fatufe, 2005). In the study, the nitrogen deposition presented a curvilinear response as a function of nitrogen intake. This result has been observed in dose-response studies when the additional intake of amino acid in the diet is close to or above the maximum response.

The method used adopts the principles of the diet dilution technique (Fisher and Morris, 1970) to determine the values of NMR and NDmaxT, which depend on the genotype, sex and age (Samadi and Liebert, 2006a, 2007a, b). The NMR estimated represents the amount of nitrogen to be consumed to offset endogenous and metabolic losses. The mean value of NMR obtained in this study was 255 mg/BWkg^{0.67}/day and is consistent with the value proposed by Samadi & Liebert (2006a, 2007a) of 252 mg/BWkg^{0.67}/day. The endogenous nitrogen in the digestive tract comes from the desquamation of epithelial cells of the intestinal mucosa and

mucins produced and secreted by cells throughout the gastrointestinal tract (Scott *et al.*, 1982). These authors mentioned that this daily loss of endogenous nitrogen represents approximately 250 mg nitrogen/BWkg. In the present study, this value was 243 mg/BW_{kg}/day for males and 258 mg/BWkg/day for females, and is consistent with the values proposed by those authors. These values are also within the range of 200-300 mg/BWkg/day for the total loss of endogenous nitrogen for growing birds, proposed by Leeson and Summers (2001). Endogenous losses estimated by Longo *et al.* (2001) were 198 and 258 mg/BW_{kg}^{0.75}/day, for males and females, respectively. Our results of 249 mg/BW_{kg}^{0.75}/day for males were higher, but the value found for females (256 mg/BWkg^{0.75}/day) is in agreement with the results of these authors. The procedure used to determine the NMR enables to estimate the threshold value that represents the maximum response of the bird (NR_{max}T and ND_{max}T), whose theoretical attribute is used to represent a condition without restrictions.

Estimated values of ND_{max}T have reduced with the age, from 3746 mg/BW_{kg}^{0.67}/day (6-21 days) to 2204 mg/BW_{kg}^{0.67}/day (38-53 days for males (Figure 3). Females presented similar trend (Figure 4), with a reduction in the ND_{max}T, from 3620 mg/BW_{kg}^{0.67}/day (6-21 days) to 2048 mg/BW_{kg}^{0.67}/day (38-53 days). This was also observed by Peisker *et al.* (2000), who found a slightly higher value of ND_{max}T with Cobb 500 males (3865, 3034 and 2696 mg/BW_{kg}^{0.67}/day) derived from the different age of broilers during the experimental period (10-15, 15-20 and 30-35 days of age). This decrease is evident with advancing age, because the degradation rate is more pronounced than the synthesis rate and in consequence there is a lower protein deposition in older broilers (Gonzales and Sartori, 2002). Moreover studies

showed that the efficiency of amino acid deposition on the carcass is higher in the first week of life, and is reduced according to the age (Sklan and Noy, 2004). The high capacity for protein deposition during the initial growth can be also associated with the best utilization of nitrogen (Zuprizal *et al.*, 1992). Researches developed by Krogdahl and Sell (1988) support this conclusion, indicating the enhanced protease activity in the intestine of young birds compared with older ones. Owing the morphological changes, the potential for digestion and absorption of nutrients seems to increase during the initial phase (Sklan, 2001).

Also the results pointed to a higher potential for protein deposition in males than in females. In the initial phase, the potential for protein deposition in males was 3.5% higher than in females. In the final phase, males presented a potential 7.6% above the value observed for females, showing that the difference in the potential for protein deposition between males and females increases especially in more advanced ages. Likewise, Han and Baker (1994) concluded that males tend to grow faster (12%) than females owed the higher daily feed intake of males. These observations are in general according to numerous studies that highlight the effects of age and sex on protein deposition are more pronounced in the final phase (Wijten *et al.*, 2004; Kidd *et al.*, 2005).

The appropriate recommendation of lysine is important because the reference amino acid is taken into account in feed formulation, in order to apply the ideal protein concept. The ideal levels of digestible lysine in the diet were estimated based on the percentage of ND_{max}T and for each intake estimate determined for different age intervals. In the initial phase (6-21 days) were estimated levels of 1.07% and 0.96% digestible lysine for males and females, respectively. Our estimative

corroborates Goulart *et al.* (2008) that recommend to male broilers 1.29; 1.06 and 1.01% digestible lysine for the pre-initial (1-7 days), initial (8-21 days) and growth (22-42 days), respectively. Nevertheless, our estimates are below the recommended by NRC (1994). The lysine requirement (1.1%) of broilers with 0-3 weeks of age suggested by NRC (1994) were estimated to allow maximum growth. But a level of 1.07% digestible lysine (1.17% total) was estimated to optimize the feed conversion (Knowles *et al.*, 1997). As the feed intake varies, the ideal concentration of digestible lysine also does. This variation can be influenced by several factors, hindering to structure a single model that allows estimating for different production conditions. In this way, despite determined estimates of lysine concentration in the diet, the main goal of this study was to study the responses of birds to the lysine intake. With these responses it is possible to determine a precise nutritional program for their integration into specific consumption patterns to each condition.

In the growing phase (22-37 days) were estimated levels of 1.01% and 0.93% digestible lysine for males and females, respectively. These estimates are in accordance with results of Han and Baker (1994) who studied the lysine requirement in both sexes during the period of 3 to 6 weeks of age. These authors have estimated lysine requirements of 0.99% for males and 0.91% for females in a diet containing 20% CP to maximize the weight gain. Meanwhile, our estimate is below the result found by Toledo (2006), estimating levels of 1.09% digestible lysine for male broilers from 23 to 36 days of age to maximize the performance. Our estimative is also below the recommendations of the Brazilian Table for poultry and pigs (Rostagno *et al.*, 2011) which present levels of 1.07% digestible lysine for males and 0.99% for females in this period. The assessment performed for the growing phase resulted in a

higher lysine concentration required in relation to the recommendation of 0.95% digestible lysine by the guide of the strain for this phase (Cobb, 2001). The adequate recommendation for this phase is important since lysine is preferentially designed to muscle protein deposition and some parts of the body respond better to the increased intake of this amino acid (Friesen *et al.*, 1995). Animals with high rate of protein deposition require higher concentration of lysine in the diet, owing the higher daily synthesis (Friesen *et al.*, 1995; Lawrence and Fowler, 1997).

In the final phase (38-53 days) were estimated levels of 0.90% and 0.72% digestible lysine for males and females, respectively. Regarding the recommendation of the guide of the strain (Cobb, 2001) the level for males is consistent with proposed (0.90% for broilers older than 42 days). However, for females this recommendation is above the required estimated in our study. Corzo *et al.* (2006) suggested that males of a high yield strain should be fed with at least 0.85% digestible lysine in the period from 42 to 56 days of age. These same authors also have suggested that females require a concentration lower than 0.85% digestible lysine in the diet for an adequate growth. Dozier III *et al.* (2008) determined the requirement of digestible lysine during the period of 49-63 days of age for female broilers at 0.81% to maximize the performance, and for males at 0.87% and 90% of diet for the performance and breast meat yield, respectively. According to Rostagno *et al.* (2011) males in the period of 38-53 days require 0.94% digestible lysine in the diet, while females require 0.79% digestible lysine.

In general, males have high requirement of lysine compared to females, particularly at younger ages (Baker, 2003) and the sex affects the utilization efficiency of the amino acid, leading to different responses between males and

females, especially by the difference in the daily intake (D'mello, 2003). Females tend to present a high utilization efficiency compared to males and this difference can be related to the more efficient absorption or the enhanced utilization efficiency of amino acids after absorption (Li and Nolan, 2002).

Conclusions and perspectives

Exponential models applied to determine the $ND_{max}T$ and the NMR allowed elaborating estimates of digestible lysine requirements consistent with literature data. By assuming 60% maximum protein deposition, optimal lysine concentrations estimated were 1.07 and 0.96% (6-21 days), 1.01 and 0.93% (22-37 days), 0.90 and 0.72% (38-53 days) for males and females provided with a daily feed intake of 120 and 160 g, respectively. This flexibility of the model allowed developing nutritional strategies for growing broilers, which can be adjusted according to the parameters of performance observed in field conditions.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support from the State of São Paulo research foundation (FAPESP).

References

- AOAC 2002. Official methods of analysis. 17th ed. Association of official analytical chemists. Arlington, Virgínia, USA.
- Baker DH 1997. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. Biokyowa Technical Review 9, 1-24.

- Baker K, Firman JD, Blair E, Brown J and Moore D 2003. Digestible lysine requirements of male turkeys during the 6 to 12 week period. *International journal of poultry science* 2, 97-101.
- Cobb 2001. Manual de manejo de frangos Cobb500. Guia de manejo. São Paulo: Cobb-Vantress Brasil, 47p.
- Corzo A, Dozier III WA and Kidd MT 2006. Dietary lysine needs of late developing heavy broilers. *Poultry Science* 85, 457-461.
- Curnow RN 1973. A smooth population response curve based on an abrupt threshold and plateau model for individuals. *Biometrics* 29, 1-10.
- D'mello JPF 2003. Adverse effects of amino acid. In: D'mello JPF *Amino acids in animal nutrition*. 2ed. Edinburgh: CABI Publishing, pp. 187-202.
- Dozier III WA, Corzo A, Kidd MT and Schilling MW 2008. Dietary digestible lysine requirements of male and female broilers from forty-nine to sixty-three days of age. *Poultry Science* 87, 1385-1391.
- Fatufe A and Rodehutscord M 2005. Growth, body composition, and marginal efficiency of methionine utilization are affected by noessential amino acid nitrogen supplementation in male broiler chicken. *Poultry Science* 84, 1584-1592.
- Fisher C, Morris TR and Jennings RC 1973. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. *British Poultry Science* 14, 469-484.
- Fisher C and Morris TR 1970. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. *British Poultry Science* 11, 67-82.

- Friesen KG, Nelssen JL Goodband RD, Tokach MD, Unruh JA, Kropf DH and Kerr BJ 1995. The effect of dietary lysine on growth carcass composition and lipid metabolism in high-lean growth gilts. *Journal of Animal Science* 73, 3392-3401.
- Gonzales E and Sartori JR 2002. Crescimento e metabolismo muscular. In *Fisiologia Aviária aplicada a frangos de corte*. 2ed. (eds. M Macari and E Gonzales), pp. 168-170, FUNEP, Jaboticabal, SP.
- Goulart CC, Costa FGP, Neto RCL, Souza JG, Silva JHV and Givisiez PEN 2008. Exigência de lisina digestível para frangos de corte machos de 1 a 42 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37, 876-882.
- Han Y and Baker DH 1994. Digestible lysine requirement of male and female broiler chicks during the period three to six weeks posthatching. *Poultry Science* 73, 1739-1745.
- Kidd MT, Corzo A, Hoehler D, Miller ER and Dozier III WA 2005. Broiler responsiveness (Ross x 708) to diets varying in amino acid density. *Poultry science* 84, 1389-1396.
- Knowles TA, Southern LL and Robbins KR 1997. The use of serum urea nitrogen concentrations for the determination of lysine requirements of gilts. *Profiles of animal science* 13, 65-69.
- Kroghdahl A and Sell JL 1988. Influence of age on lipase, amylase and protease activities in pancreatic tissue and intestinal content of young turkeys. *Poultry science* 68, 1561-1568.
- Lawrence TLJ and Fowler VR 1997. *Growth of farm animals* pp. 330, CAB International, Wallingford, UK.

- Leclercq B 1983. The influence of dietary protein content on the performance of genetically lean or fat growing chickens. *British poultry science*. 24, 581-587.
- Leeson S and Summers JD 2001. *Nutrition of the chicken*, Chapter 3, 4th edition. Guelph, Canada, University books, p.100-175.
- Li L and Nolan JV 2002. Efficiency of protein utilization in male and female broiler chickens, In: *Proceedings of the Australian poultry science symposium* 14, 175-178.
- Liebert F, Rimbach M and Peisker M 2000. Model for estimation of amino acid utilization and its requirements in growing animals In: BENALVE D, *Australian Poultry Science Symposium*. Sydney. Poultry Research Foundation 12, p.88-92.
- Longo FA, Sakomura NK, Figueiredo AN, Rabello CB and Ferraudo AS 2001. Equações de pedição das exigências proteícas para frango de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30, 1521-1530.
- National Research Council 1994. *Nutrient requirements of poultry*, 9th revised edition. National Academy Press, Washington, DC.
- Oviedo-Rondón EO and Waldrup PW 2002. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: A review. *International journal of poultry science* 5, 106-113.
- Peisker M, Rimbach M and Liebert F 2000. Maximum protein deposition of growing chicken of different genotype and age In: BENALVE D, *Australian Poultry Science Symposium*. Sydney. Poultry Research Foundation 12, p.93-96.
- Renden JA, Bilgili SF and Kincaid SA 1992. Effects of photo schedule and strain cross on broiler performance and carcass yield. *Poultry science* 71, 1417-1426.

- Rosa AP, Pesti GM, Edwards HM and Bakalli RI 2001. Tryptophan requirements of different broiler genotypes. *Poultry science* 80, 1718-1722.
- Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT and Euclides RF 2005. Tabelas brasileiras para aves e suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais, 2 edição. Viçosa, Minas Gerais, UFV.
- Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT and Euclides RF 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais, 3 edição. Viçosa, Minas Gerais, UFV.
- Samadi and Liebert F 2006a. Estimation of nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen deposition in fast-growing chickens depending on age and sex. *Poultry science* 85, 1421-1429.
- Samadi and Liebert F 2006b. Modeling of threonine requirement in fast-growing chickens, depending on age, sex, protein deposition and dietary threonine efficiency. *Poultry science* 85, 1916-1968.
- Samadi and Liebert F 2007a. Lysine requirement of fast-growing chickens – effects of age, sex, level of protein deposition and dietary lysine efficiency. *The Journal of Poultry science* 44, 63-72.
- Samadi and Liebert F 2007b. Threonine requirement of slow-growing male chickens depends on age and dietary efficiency of threonine utilization. *Poultry science* 86, 1140-1148.
- Scott ML, Nesheim MC and Young RJ 1982. Nutrition of the chicken. 3rd edition. Ithaca New York. Scott ML and Associates.

- Sklan D 2001. Development of the digestive tract of poultry. World's poultry science journal 57, 415-428.
- Sklan D and Noy Y 2004. Catabolism and deposition of amino acids in growing chicks : effect of dietary supply. Poultry science 83, 952-961.
- Smith ER and Pesti GM, 1998. Influence of broiler strain cross and dietary protein on the performance of broilers. Poultry science 77, 276-281.
- Toledo AL, 2006. Lisina digestível em dietas de grangos de corte nos períodos de 1 a 11 e 23 aos 36 dias de idade : desempenho e composição corporal 81 f. Dissertação (Mestrado em medicina veterinária) – Faculdade de Medicina veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- Wijtten PJA, Lemme A and Langhout DJ, 2004. Effects of different dietary ideal protein levels on male and female broiler performance during different phases of life: Single phase effects, carryover effects and interactions between phases. Poultry science 83, 2005-2015.
- Zuprizal, Labier M and Chagneau AM 1992. Effect of age and sex on the true digestibility of amino acids of rapessed and soybean meals in growing broilers. Poultry Science 71, 1486-1492.

Table 1 Composition of experimental diets

Table 2 Nutrients and amino acid composition of experimental diets in dry matter basis and relative proportion of amino acids in relation to lysine

Table 3 Mean body weight (BW g), feed intake (FI g/d), nitrogen intake (NI mg/BWkg^{0.67}/d), nitrogen excreted (NEX mg/BWkg^{0.67}/d) and nitrogen deposition (ND mg/BWkg^{0.67}/d) obtained in nitrogen balance trials with males

Table 4 Mean body weight (BW g), feed intake (FI g/d), nitrogen intake (NI mg/BWkg^{0.67}/d), nitrogen excreted (NEX mg/BWkg^{0.67}/d) and nitrogen deposition (ND mg/BWkg^{0.67}/d) obtained in nitrogen balance trials with females

Table 5 Estimation of nitrogen requirement for maintenance (NMR)² and theoretical potential for nitrogen deposition (ND_{maxT})² of Cobb broilers, according to age and sex

Table 6 Daily protein deposition of growing broilers, in terms of the variable percentage of the theoretical potential for daily protein deposition (PD_{maxT}), according to age and sex.

Table 7 Lysine requirements for Cobb 500 males and females in the period of 6-21 days estimated according to the utilization efficiency of lysine, crude protein deposition, and different intakes

Table 8 Lysine requirements for Cobb 500 males and females in the period of 22-37 days estimated according to the utilization efficiency of lysine, crude protein deposition, and different predicted intakes

Table 9 Lysine requirements for Cobb 500 males and females in the period of 38-53 days estimated according to the utilization efficiency of lysine, crude protein deposition, and different predicted intakes

Figure 1 Estimation of nitrogen requirement for maintenance (NMR) by fitting an exponential function between nitrogen intake (NI) and nitrogen excreted (NEX) after the gradual supply of protein for Cobb 500 males. e = base of the natural logarithm ($\ln$).

Figure 2 Estimation of nitrogen requirement for maintenance (NMR) by fitting an exponential function between nitrogen intake (NI) and nitrogen excreted (NEX) after the gradual supply of protein for Cobb 500 females. e = base of the natural logarithm ($\ln$).

Figure 3 Estimation of the theoretical potential for nitrogen deposition (ND_{maxT}) with male growing broilers, based on the ratio between nitrogen intake (NI) and nitrogen balance (ND), in different ages.

Figure 4 Estimation of the theoretical potential for nitrogen deposition (NDmaxT) with female growing broilers, based on the ratio between nitrogen intake (NI) and nitrogen balance (ND), in different ages.

Table 1 - Composition of experimental diets

Ingredients(%)	Diets	
	Concentrate (N6)	Free of protein
Soybean Meal (45%)	54.03	-
Corn grain	17.00	-
Corn gluten (60%)	16.50	-
Soybean oil	8.42	6.50
Dicalcium phosphate	1.90	2.70
Limestone	0.72	0.34
Salt	0.51	0.52
DL-methionine (99%)	0.45	-
L-lysina HCl (78%)	0.35	-
L- threonine (99%)	0.15	-
Vitamin supplement ¹	0.10	0.10
Choline chloride (60%)	0.07	0.07
Mineral supplement ²	0.10	0.10
Coccidiostat ³	0.05	0.05
Potassium chloride	-	1.28
Corn starch	-	59.50
Inert	-	5.96
Rice husk	-	12.88
Sugar	-	10.00
Total	100.00	100.00

¹Content/kg: Folic acid = 800mg, Pantothenic Acid = 13000mg, Nicotinic acid= 35000mg, Vit. A = 7000000 UI, Vit. B1 = 2000mg, Vit. B12 = 12000mg, Vit. B2 = 5000mg, Vit. B6 = 3000mg, Vit. D3 = 2200000 UI, Vit. E = 11000mg, Vit. K3 = 1600mg, antioxidant = 100000mg, Vehicle q.s. 1000g.

²Content/kg: Mn = 70000mg, Fe = 50000mg, Zn = 50000mg, Cu = 8000mg, I = 1200mg, Se = 200mg, Vehicle q.s. 1000g. ³Coxistac 12%.

Table 2 - Nutrients and amino acid composition of experimental diets in dry matter basis and relative proportion of amino acids in relation to lysine

Amino acids (%)	Diets						Ratio with lysine
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	
Lysine	0.276	0.588	0.900	1.211	1.523	1.835	100
Methionine	0.153	0.325	0.498	0.670	0.843	1.015	55
Met+Cys	0.223	0.474	0.726	0.978	1.229	1.481	81
Threonine	0.205	0.436	0.667	0.898	1.129	1.360	74
Tryptophan	0.054	0.114	0.175	0.236	0.297	0.357	19
Gly+Ser	0.482	1.026	1.570	2.115	2.660	2.937	160
Arginine	0.316	0.673	1.030	1.387	1.744	2.100	114
Histidine	0.126	0.269	0.412	0.555	0.697	0.840	46
Leucine	0.539	1.148	1.757	2.366	2.975	3.584	195
Isoleucine	0.222	0.473	0.724	0.975	1.227	1.478	81
Valine	0.233	0.497	0.761	1.025	1.289	1.553	85

Nutrients	Diets					
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Crude protein (%) ²	6.10	12.40	18.30	23.90	29.50	36.40
Crude Lipid (%) ²	7.21	8.91	8.32	8.87	9.43	9.98
Crude Fiber (%) ²	4.84	4.55	4.26	3.97	3.68	3.39
Calcium (%) ³	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Sodium (%) ³	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Potassium (%) ³	0.66	0.74	0.82	0.90	0.98	1.06
Available phosphorus (%) ³	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
AME _n (Mcal/kg) ¹	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15

¹ Apparent Metabolizable energy corrected for nitrogen balance, calculated based on ROSTAGNO *et al.* (2011)

² Analised

³ Calculated from ROSTAGNO *et al.* (2011)

Table 3 - Mean body weight (BW g), feed intake (FI g/d), nitrogen intake (NI mg/BW_{kg}^{0.67}/d), nitrogen excreted (NEX mg/BW_{kg}^{0.67}/d) and nitrogen deposition (ND mg/BW_{kg}^{0.67}/d) obtained in nitrogen balance trials with males¹

Period I (6 - 21 days)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
BW	261 ± 42	348 ± 62	381 ± 63	405 ± 63	402 ± 60	417 ± 65
FI	32 ± 3	48 ± 6	45 ± 6	49 ± 5	48 ± 5	47 ± 5
NI	787 ± 26	1941 ± 18	2518 ± 49	3493 ± 30	4238 ± 65	5043 ± 73
NEX	225 ± 15	475 ± 46	741 ± 67	1163 ± 22	1622 ± 67	2294 ± 42
ND	562 ± 28	1466 ± 37	1777 ± 31	2330 ± 32	2616 ± 61	2750 ± 47
Period II (22 - 37 days)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
BW	1211 ± 98	1381 ± 106	1490 ± 98	1579 ± 119	1420 ± 119	1533 ± 164
FI	105 ± 2	113 ± 6	111 ± 3	113 ± 5	106 ± 2	106 ± 7
NI	918 ± 58	1826 ± 73	2503 ± 84	3193 ± 28	4006 ± 150	4652 ± 48
NEX	324 ± 30	669 ± 77	812 ± 18	1229 ± 20	1834 ± 144	2303 ± 54
ND	594 ± 36	1157 ± 19	1691 ± 68	1964 ± 28	2172 ± 11	2349 ± 20
Period III (38 - 53 days)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
BW	2902 ± 97	3039 ± 147	3166 ± 117	3249 ± 84	3198 ± 95	3103 ± 94
FI	131 ± 4	156 ± 5	155 ± 3	150 ± 4	155 ± 4	147 ± 5
NI	625 ± 20	1474 ± 30	2102 ± 56	2607 ± 50	3363 ± 99	4024 ± 116
NEX	261 ± 18	575 ± 35	789 ± 39	1139 ± 49	1647 ± 73	2232 ± 117
ND	364 ± 14	898 ± 26	1312 ± 40	1468 ± 19	1716 ± 43	1792 ± 32

¹Mean value of two collection periods ± standard error.

Table 4 - Mean body weight (BW g), feed intake (FI g/d), nitrogen intake (NI mg/BW_{kg}^{0.67}/d), nitrogen excreted (NEX mg/BW_{kg}^{0.67}/d) and nitrogen deposition (ND mg/BW_{kg}^{0.67}/d) obtained in nitrogen balance trials with females¹.

Period I (6 - 21 days)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
BW	254 ± 38	312 ± 53	342 ± 56	373 ± 52	383 ± 62	363 ± 45
FI	36 ± 4	46 ± 6	47 ± 5	45 ± 4	49 ± 5	47 ± 4
NI	895 ± 12	2025 ± 29	2876 ± 36	3379 ± 31	4461 ± 45	5409 ± 43
NEX	241 ± 17	573 ± 33	763 ± 28	1092 ± 41	1801 ± 48	2591 ± 37
ND	654 ± 19	1452 ± 27	2113 ± 40	2286 ± 34	2660 ± 35	2818 ± 55
Period II (22 - 37 days)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
BW	1192 ± 83	1314 ± 78	1398 ± 87	1491 ± 79	1381 ± 81	1437 ± 119
FI	103 ± 2	109 ± 3	109 ± 2	112 ± 2	108 ± 6	112 ± 5
NI	903 ± 50	1806 ± 39	2573 ± 57	3282 ± 64	4129 ± 107	5121 ± 81
NEX	304 ± 18	574 ± 23	871 ± 15	1261 ± 33	1903 ± 99	2661 ± 53
ND	599 ± 33	1232 ± 24	1703 ± 50	2021 ± 33	2225 ± 35	2460 ± 44
Period III (38 - 53 days)						
	N1	N2	N3	N4	N5	N6
BW	2270 ± 108	2427 ± 104	2589 ± 96	2530 ± 79	2530 ± 78	2600 ± 117
FI	123 ± 4	138 ± 5	139 ± 3	137 ± 4	138 ± 3	133 ± 6
NI	693 ± 19	1517 ± 29	2153 ± 61	2819 ± 86	3510 ± 83	4080 ± 110
NEX	292 ± 15	554 ± 32	897 ± 59	1264 ± 77	1890 ± 86	2319 ± 118
ND	402 ± 15	963 ± 26	1255 ± 28	1555 ± 33	1620 ± 35	1761 ± 43

¹Mean value of two collection periods ± standard error.

Table 5 - Estimation of nitrogen requirement for maintenance (NMR)² and theoretical potential for nitrogen deposition (ND_{max}T)² of Cobb broilers, according to age and sex.

	Period ¹								
	I (6-21d)			II (22-37d)			III (38-53d)		
	NMR	ND _{max} T	R ²	NMR	ND _{max} T	R ²	NMR	ND _{max} T	R ²
	mg N/BW _{kg} ^{0.67} /d								
Males	219	3746	0.98	264	3137	0.98	276	2204	0.98
Females	225	3620	0.98	277	3038	0.98	271	2048	0.98

¹ (I) Initial, (II) Growing and (III) Final.

² mgN/BW_{kg}^{0.67}/d

Table 6 - Daily protein deposition of growing broilers, in terms of the variable percentage of the theoretical potential for daily protein deposition ($PD_{max}T$), according to age and sex.

	Experimental period ¹					
	I(6 - 21 d)		II (22 - 37 d)		III (38 - 53d)	
	male	female	male	female	male	female
$ND_{max}T$ (mg/ $BW_{kg}^{0.67}$ /d)	3746	3620	3137	3089	2204	2048
Mean weight (g)	370	338	1438	1362	3106	2485
Protein deposition (g/d) ²						
50% $ND_{max}T$	6.0	5.5	12.5	11.9	14.7	11.8
60% $ND_{max}T$	7.2	6.6	15.0	14.2	17.7	14.1
70% $ND_{max}T$	8.4	7.7	17.5	16.6	20.6	16.5
80% $ND_{max}T$	9.6	8.8	20.0	19.0	23.5	18.8

¹ (I) Initial, (II) Growing and (III) Final.

²Calculation based on the mean weight

Table 7 - Lysine requirements for Cobb 500 males and females in the period of 6-21 days estimated according to the utilization efficiency of lysine, crude protein deposition, and different intakes

Sex	Male				Female			
ND _{max} T (%)	50	60	70	80	50	60	70	80
Protein deposition (g/d)	6.0	7.2	8.4	9.6	5.5	6.6	7.7	8.8
Lysine utilization efficiency (bc ⁻¹)	58x10 ⁻⁶				62x10 ⁻⁶			
Lysine requirement (mg/kg ^{0.67} /d)	804	1042	1350	1781	769	998	1294	1714
Lysine requirement (mg/d)	413	536	693	915	372	482	625	829
Optimum level of lysine in the diet (%)								
Daily intake (g) ¹								
40	1.03	1.34	1.73	2.29	0.93	1.21	1.56	2.07
50	0.83	1.07	1.39	1.83	0.74	0.96	1.25	1.66
60	0.69	0.89	1.16	1.52	0.62	0.80	1.04	1.38

⁽¹⁾ Predicted daily feed intake based on the intake observed during the experimental period

Table 8 - Lysine requirements for Cobb 500 males and females in the period of 22-37 days estimated according to the utilization efficiency of lysine, crude protein deposition, and different predicted intakes.

Sex	Male				Female			
ND _{max} T (%)	50	60	70	80	50	60	70	80
Protein deposition (g/d)	12.5	15	17.5	20	11.9	14.2	16.6	19
Lysine utilization efficiency (bc ⁻¹)	66 x10 ⁻⁶				71 x10 ⁻⁶			
Lysine requirement (mg/BW _{kg} ^{0.67} /d)	735	947	1221	1606	707	905	1173	1561
Lysine requirement (mg/d)	938	1209	1557	2048	869	1113	1443	1919
Optimum level of lysine in the diet (%)								
Daily intake (g) ¹								
110	0.85	1.10	1.42	1.86	0.79	1.01	1.31	1.74
120	0.78	1.01	1.30	1.71	0.72	0.93	1.20	1.60
130	0.72	0.93	1.20	1.58	0.67	0.86	1.11	1.48

⁽¹⁾ Predicted daily feed intake based on the intake observed during the experimental period

Table 9 - Lysine requirements for Cobb 500 males and females in the period of 38-53 days estimated according to the utilization efficiency of lysine, crude protein deposition, and different predicted intakes.

Sexo	Male				Female			
ND _{max} T (%)	50	60	70	80	50	60	70	80
Protein deposition (g/d)	14.7	17.7	20.6	23.5	11.8	14.1	16.5	18
Lysine utilization efficiency (bc ⁻¹) ²	96 x10 ⁻⁶				104 x10 ⁻⁶			
Lysine requirement (mg/BW _{kg} ^{0.67} /d)	529	677	863	1123	492	623	798	942
Lysine requirement (mg/d)	1130	1447	1843	2399	905	1146	1469	1733
Optimum level of lysine in the diet (%)								
Daily intake (g) ¹								
150	0.75	0.96	1.23	1.60	0.60	0.76	0.98	1.16
160	0.71	0.90	1.15	1.50	0.57	0.72	0.92	1.08
170	0.66	0.85	1.08	1.41	0.53	0.67	0.86	1.02

⁽¹⁾ Predicted daily feed intake based on the intake observed during the experimental period

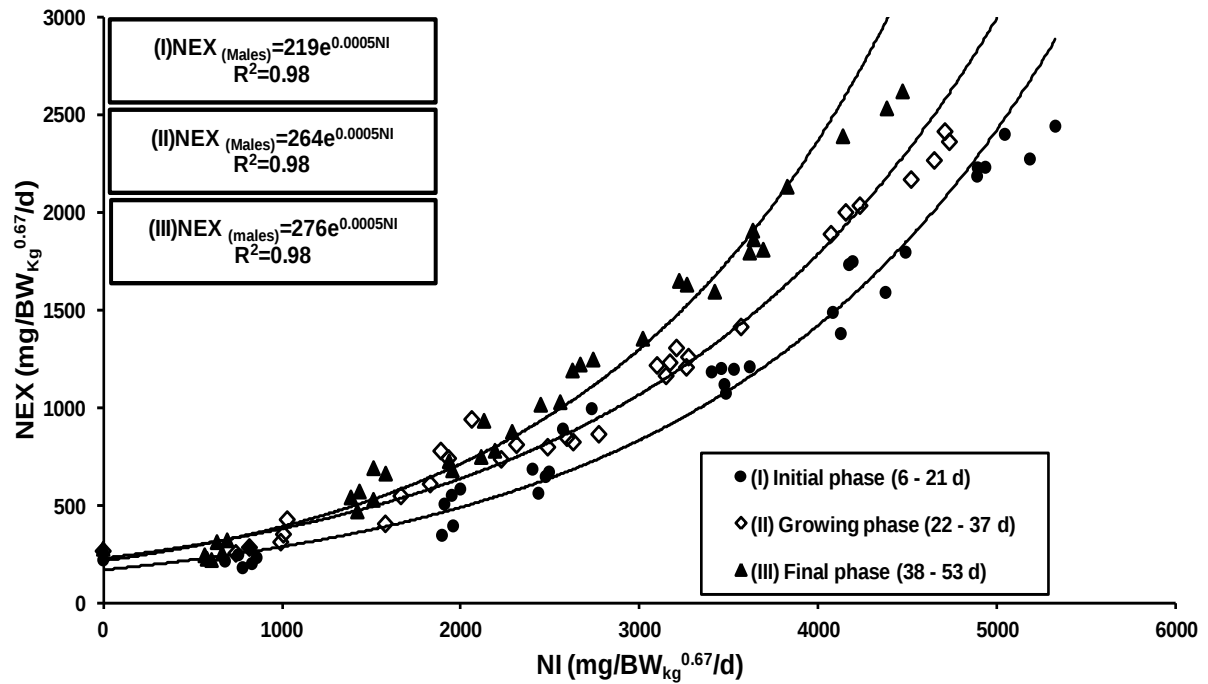


Figure 1 - Estimation of nitrogen requirement for maintenance (NMR) by fitting an exponential function between nitrogen intake (NI) and nitrogen excreted (NEX) after the gradual supply of protein for Cobb 500 males. e = base of the natural logarithm (ln).

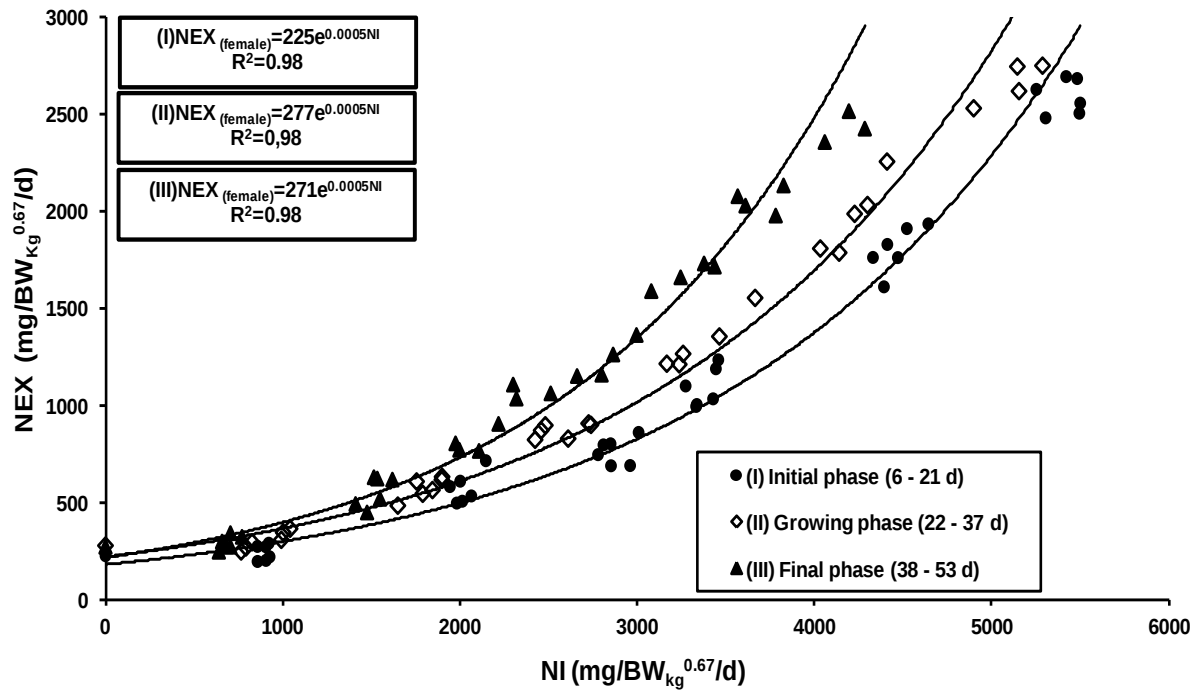


Figure 2 - Estimation of nitrogen requirement for maintenance (NMR) by fitting an exponential function between nitrogen intake (NI) and nitrogen excreted (NEX) after the gradual supply of protein for Cobb 500 females. e = base of the natural logarithm (ln).

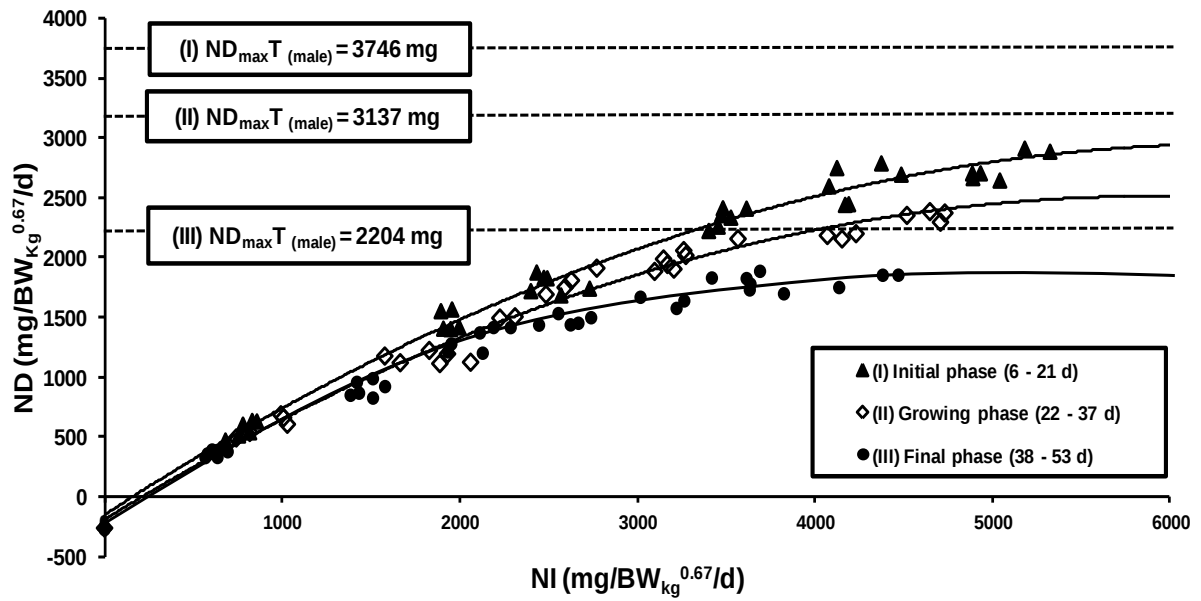


Figure 3 - Estimation of the theoretical potential for nitrogen deposition ($ND_{\max}T$) with male growing broilers, based on the ratio between nitrogen intake (NI) and nitrogen balance (ND), in different ages.

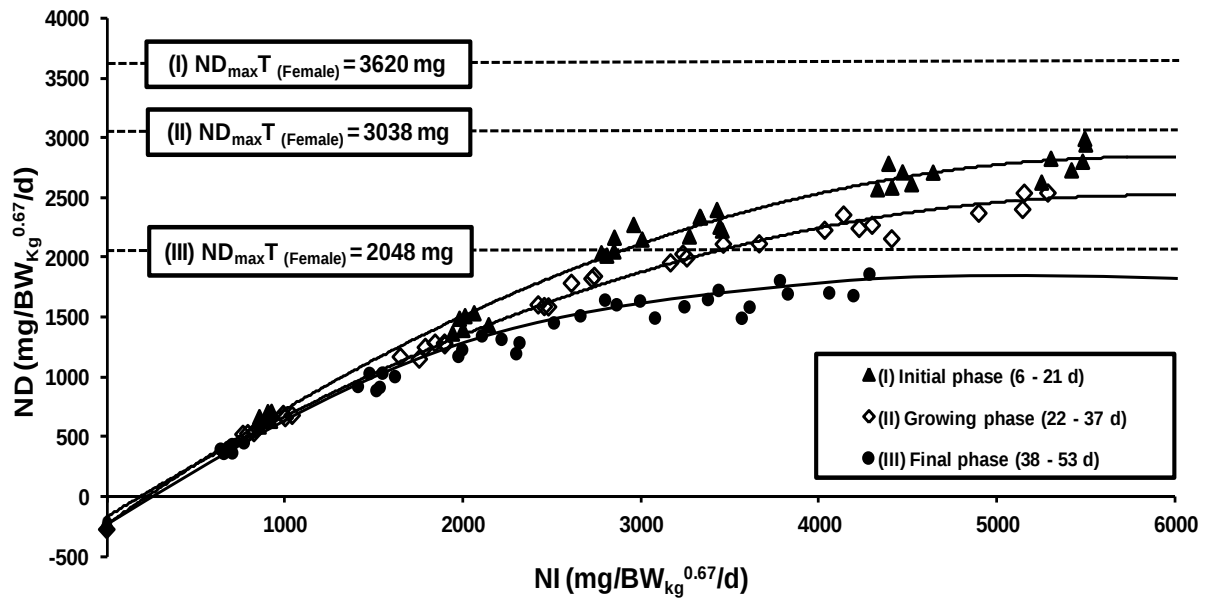


Figure 4 - Estimation of the theoretical potential for nitrogen deposition (ND_{max}T) with female growing broilers, based on the ratio between nitrogen intake (NI) and nitrogen balance (ND), in different ages.