

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

**ESTIMATIVAS DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS
DE CORTE PELOS MÉTODOS DOSE RESPOSTA E FATORIAL**

Jefferson Costa de Siqueira

Zootecnista

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2009

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

**ESTIMATIVAS DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS
DE CORTE PELOS MÉTODOS DOSE RESPOSTA E FATORIAL**

Jefferson Costa de Siqueira

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

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Agosto de 2009

S618e Siqueira, Jefferson Costa de
Estimativas das exigências de lisina de frangos de corte pelos
métodos dose resposta e fatorial / Jefferson Costa de Siqueira. –
Jaboticabal, 2009
xiv, 154 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009
Orientador: Nilva Kazue Sakomura
Banca examinadora: Horacio Santiago Rostagno, Alice Eiko
Murakami, Kleber Tomás de Resende, Marcos Macari
Bibliografia

1. Aminoácidos. 2. Balanço de nitrogênio. 3. Composição
corporal. 4. Manutenção. 5. Modelagem. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.5:636.085

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



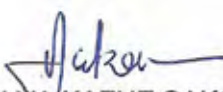
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESTIMATIVAS DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS DE CORTE PELOS MÉTODOS DOSE RESPOSTA E FATORIAL.

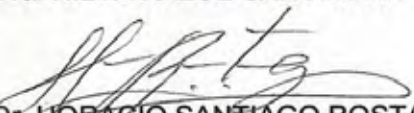
AUTOR: JEFFERSON COSTA DE SIQUEIRA

ORIENTADORA: Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA

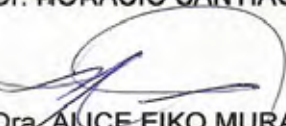
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em ZOOTECNIA pela Comissão Examinadora:



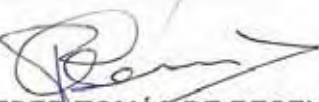
Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA



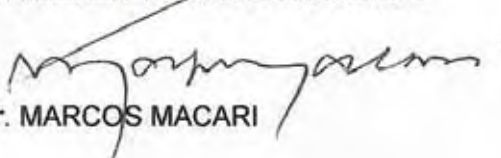
Dr. HORACIO SANTIAGO ROSTAGNO



Dra. ALICE EIKO MURAKAMI

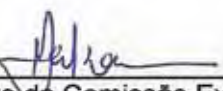


Dr. KLEBER TOMÁS DE RESENDE



Dr. MARCOS MACARI

Data da realização: 18 de agosto de 2009.



Presidente da Comissão Examinadora
Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JEFFERSON COSTA DE SIQUEIRA – filho de Wanildo Garcia de Siqueira e Wânia M^a Sales Costa Siqueira, nasceu no dia 28 de novembro de 1977, em Juiz de Fora, Minas Gerais. É Zootecnista, formado com “Votos de Louvor” pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, em janeiro de 2004. Em março de 2004 ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia na mesma instituição, concentrando seus estudos na área de bioclimatologia animal, adquirindo o título de “Magister Scientiae” em 22 de fevereiro de 2006. Em março de 2006, ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, em Jaboticabal, São Paulo, submetendo-se à defesa de tese no dia 18 de agosto de 2009.

“O diálogo é um primo à vida. É tentativa de interferência. É esforço de entendimento. É compreensão e coexistência. É participação e convívio. O monólogo é o idioma do tédio. É a tentação da fuga. É o culto a insensibilidade. É a abolia da rotina. É a fossilização na egolatria e na auto-suficiência”.

Aos meus pais Wanildo Garcia de Siqueira e Wânia M^a Sales Costa Siqueira
Aos meus avós José Teixeira de Siqueira (in memorian), Ary Garcia de Siqueira, José
Gomes da Costa (in memorian) e Isabel Sales de Almeida Costa (in memorian)
À minha tia Iracy Garcia
Aos meus irmãos Ewerson e Wanildo Jr.
Aos meus sobrinhos João Pedro, Maria Clara e Luiza Regina

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

À minha Família, pelo apoio incondicional e por possibilitar a construção de um caráter alicerçado em preceitos éticos e morais.

À professora Nilva Kazue Sakomura, pela confiança e credibilidade, pelos valiosos ensinamentos e oportunidades de adquirir conhecimento, pela amizade e pelo inestimável exemplo de dedicação e conduta profissional.

Ao professor Horacio Santiago Rostagno, pelos valiosos ensinamentos e sugestões, pela participação na banca examinadora e pelo exemplo de dedicação à nutrição de aves e suínos.

Ao professor Robert Mervyn Gous, pela fundamental contribuição para a idealização deste trabalho, pelos valiosos ensinamentos e pela participação em minha banca de qualificação.

Aos professores Kleber Tomás de Resende, Alice Eiko Muracami e Marcos Macari pela participação na banca examinadora, e pelos valiosos conselhos e sugestões manifestados no transcorrer da defesa.

Aos membros da banca do exame de qualificação, professores Euclydes Braga Malheiros, Izabelle A. M. A. Teixeira e em especial a professora Jane M. Bertocco Ezequiel, por viabilizar a realização de parte das análises laboratoriais.

Ao professor Luiz Fernando Teixeira Albino, pela amizade e pela construção da minha “ponte” entre UFV e UNESP.

Aos professores Rita Flávia Miranda de Oliveira e Juarez Lopes Donzele, pelos valiosos ensinamentos e por terem me iniciado nas atividades científicas.

Aos dirigentes do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista (UNESP – Jaboticabal, SP), em especial ao professor Renato Luiz Furlan, pelos valiosos conselhos.

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

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

À Empresa Ajinomoto Biolatina Indústria e Comércio Ltda., em especial ao Dr. Eduardo Terra Nogueira pela doação de aminoácidos cristalinos e pela realização de aminogramas, fatores fundamentais para a realização deste trabalho.

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

Aos amigos e companheiros de pós-graduação Leilane, Ellen, Simara, Nei, Íris, Melina, Dáphinne, Dito e Sandra, que me acolheram em sua equipe de braços abertos, tornando o ambiente de trabalho um ambiente extremamente agradável. Obrigado pela inestimável ajuda, pelos valiosos ensinamentos e principalmente pelo exemplo de companheirismo. Valeu parceiros!!!

Aos amigos do Setor de Avicultura da UNESP, Robson, Isildo, Vicente e Sr. João (in memorian), pelo imprescindível apoio logístico, pelos valiosos ensinamentos e pela agradável convivência.

Aos bolsistas de iniciação científica e estagiários: Randy, Carlos Gabriel, Michelle Alessandra, André, Danilo, Cássia, em especial ao Stink, Kakareco, Gabi e Ana Luiza, que participaram ativamente da condução, coleta de dados ou análises laboratoriais.

Aos recentes integrantes da equipe, Edney, Anchieta, Nayara e Rodrigo, que de uma forma ou de outra, contribuíram para este trabalho.

À Secretária do Departamento de Zootecnia, Adriana, pela atenção, paciência e presteza.

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

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal (LANA), Ana Paula e Sr. Orlando, pela colaboração na realização das liofilizações.

Aos amigos da República Cana Brava, em especial ao Abutre, Bizorro, Barrata, Pakato, Cabeção e Kurralo, que me receberam como integrante da “Família Cana Brava” e pelos agradáveis momentos de descontração.

Aos atuais e ex-companheiros da república, Marcos, Wilton, Urbano, Alessandro, e em especial ao Guido e ao Soslaio pela amizade e agradáveis momentos de descontração.

À “Neidinha”, pelo o agradável convívio e por compartilhar momentos de alegria e tristeza. Jamais te esquecerei...ou melhor, sempre lembrarei de você!!!

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO.....	xiii
SUMMARY	xiv
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
Métodos para estimar as exigências de lisina de frangos de corte	3
Exigências de lisina para manutenção	5
Exigência de lisina para crescimento e eficiência de utilização	9
Modelos para estimas as exigências de aminoácidos das aves.....	12
Referências	14
CAPÍTULO 2 – EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA A MANUTENÇÃO DAS AVES:	
PADRONIZAÇÃO DE UM MÉTODO	20
Introdução.....	22
Material e Métodos	24
Resultados e Discussão	35
Conclusões.....	47
Referências	48
CAPÍTULO 3 – TÉCNICAS DE FORMULAÇÃO DAS DIETAS E EXIGÊNCIAS DE	
LISINA DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO	
DOSE RESPOSTA.....	51
Introdução.....	53
Material e Métodos	54
Resultados e Discussão	70
Técnica de formulação das dietas e exigências de lisina digestível para frangos	
de corte na fase pré-inicial (1 a 8 dias).....	70

Técnica de formulação das dietas e exigências de lisina digestível para frangos de corte na fase pré-inicial (8 a 22 dias)	79
Técnica de formulação das dietas e exigências de lisina digestível para frangos de corte na fase pré-inicial (22 a 35 dias)	87
Técnica de formulação das dietas e exigências de lisina digestível para frangos de corte na fase pré-inicial (35 a 42 dias)	94
Exigências de lisina digestível para frangos de corte em diferentes fases de criação	108
Técnica de formulação e eficiência de utilização da lisina para crescimento	109
Conclusões	114
Referências	115
CAPÍTULO 4 – MODELOS PARA ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO FATORIAL	122
Introdução.....	124
Material e Métodos	126
Resultados e Discussão	132
Conclusões.....	148
Referências	148
CAPÍTULO 5 – IMPLICAÇÕES	152

LISTA DE ABREVIATURAS

BN – Balanço de nitrogênio
CA – Conversão alimentar
CLys – Consumo de lisina digestível
CLys_c – Consumo de lisina digestível para crescimento
CR – Consumo de ração
DGC – Deposição de gordura no corpo empenado
DLysC – Deposição de lisina no corpo empenado
DPBC – Deposição de proteína no corpo empenado
DPB_C – Deposição diária de proteína no corpo depenado
DPB_P – Deposição diária de proteína nas penas
EULys – Eficiência de utilização da lisina para deposição corporal
GP – Ganho de peso
k_{Lys} - Eficiência de utilização da lisina para deposição corporal
Lys – Lisina
Lys_m – Exigência de lisina digestível para manutenção
M-1 – Modelo 1
M-2 – Modelo 2
MTB – Modelo Tabelas Brasileiras
P – Peso corporal
PB – Proteína bruta
P_m – Peso à maturidade
PPB_C – Peso de proteína bruta no corpo depenado
PPB_P – Peso de proteína bruta das penas
PRP – Peso relativo das penas
RC – Rendimento de carcaça
RCX – Rendimento de coxa
RP – Rendimento de peito
RSCX – rendimento de sobrecoxa

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 2 – EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA A MANTENÇA DAS AVES:	
PADRONIZAÇÃO DE UM MÉTODO.....	20
Tabela 1. Composição centesimal das dietas utilizadas para compor os tratamentos no ensaio 1.	26
Tabela 2. Composição nutricional dos tratamentos utilizados no ensaio 1	27
Tabela 3. Composição centesimal das dietas utilizadas para compor os tratamentos no ensaio 2.	28
Tabela 4. Composição nutricional dos tratamentos utilizados no ensaio 2.	29
Tabela 5. Composição da dieta isenta de nitrogênio ofertada “ad libitum” no ensaio 3.	30
Tabela 6. Composição da mistura de aminoácidos utilizado no ensaio 3..	31
Tabela 7. Composição nutricional dos tratamentos utilizados no ensaio 3..	32
Tabela 8. Concentrações de proteína bruta (%) analisadas nas dietas experimentais utilizadas nos ensaios 4 e 5... ..	33
Tabela 9. Pesos médios ($\pm$ erros padrão) inicial, final e variação de peso dos galos durante os ensaios de metabolismo	37
Tabela 10. Médias ($\pm$ erros padrão) de consumo das dietas (CD), de lisina digestível (CLys) e de nitrogênio (CN), excreção de nitrogênio (EN) e balanço de nitrogênio (BN) das aves durante os ensaios de metabolismo	38
Tabela 11. Exigências de lisina para manutenção (Lysm), expressas por diferentes unidades, obtidas em diferentes estudos com galos sexualmente maduros.....	46
CAPÍTULO 3 – TÉCNICAS DE FORMULAÇÃO DAS DIETAS E EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO DOSE RESPOSTA.....	51

Tabela 1. Médias ($\pm$ erros padrão) das temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas registradas diariamente no galpão experimental, de acordo com a fase de criação.....	55
Tabela 2. Teores de aminoácidos totais e digestíveis do milho e do farelo de soja utilizados nas dietas experimentais.	57
Tabela 3. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 1 a 8 dias de idade	58
Tabela 4. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 1 a 8 dias de idade	59
Tabela 5. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 1 a 8 dias	59
Tabela 6. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 8 a 22 dias de idade	60
Tabela 7. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 8 a 22 dias de idade	61
Tabela 8. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 8 a 22 dias	61
Tabela 9. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 22 a 35 dias de idade	62
Tabela 10. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 22 a 35 dias de idade	63
Tabela 11. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 22 a 35 dias	63
Tabela 12. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 35 a 42 dias de idade	64
Tabela 13. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 35 a 42 dias de idade	65
Tabela 14. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 35 a 42 dias	65

Tabela 15. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 1 a 8 dias de idade	72
Tabela 16. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 1 a 8 dias de idade.....	73
Tabela 17. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 8 a 22 dias de idade	80
Tabela 18. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 8 a 22 dias de idade.....	81
Tabela 19. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 22 a 35 dias de idade	88
Tabela 20. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 22 a 35 dias de idade.....	89
Tabela 21. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 35 a 42 dias de idade	95
Tabela 22. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 35 a 42 dias de idade.....	96
Tabela 23. Rendimentos de carcaça (RC), peito (RP), coxa (RCX) e sobrecoxa (RSCX) de frangos de corte Cobb 500 aos 42 dias de idade	104

Tabela 24. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) com base nos rendimentos de carcaça e cortes de frangos Cobb 500 aos 42 dias de idade.....	105
Tabela 25. Exigências de lisina digestível para frangos de corte em diferentes fases de criação, com base no método dose-resposta.....	109
CAPÍTULO 4 – MODELOS PARA ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE LISINA DIGESTÍVEL DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO FATORIAL.....	122
Tabela 1. Parâmetros do modelo de Gompertz, ajustados para os dados de peso corporal, peso de proteína do corpo depenado e das penas de frangos de corte Cobb 500.....	135
Tabela 2. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Cobb 500 estimadas com base nos modelos de predição..	137
Tabela 3. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo depenado e nas penas de seis linhagens comerciais de frangos de corte (HANCOCK et al., 1995).....	140
Tabela 4. Exigências de lisina digestível de frangos de corte de seis linhagens comerciais estimadas por diferentes modelos de predição..	142
Tabela 5. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo depenado e peso das penas de frangos de corte Ross 308 (SAKOMURA et al., 2005).....	144
Tabela 6. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Ross 308 estimadas por diferentes modelos de predição ..	144
Tabela 7. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo depenado e nas penas de duas linhagens comerciais de frangos de corte (MARCATO, 2007) ..	146
Tabela 8. Exigências de lisina digestível de frangos de corte de duas linhagens comerciais estimadas por diferentes modelos de predição ..	146

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 2 – EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA A MANUTENÇÃO DAS AVES:	
PADRONIZAÇÃO DE UM MÉTODO.....	20
Figura 1. Representação gráfica da exigência de lisina para a manutenção (Lysm) determinada com galos Leghorn no ensaio 1.....	39
Figura 2. Balanço de nitrogênio de galos Leghorn determinado no ensaio 2.....	39
Figura 3. Balanço de nitrogênio de galos ISA Label determinado no ensaio 3..	40
Figura 4. Representação gráfica da exigência de lisina para a manutenção (Lysm) determinada com galos ISA Label no ensaio 4.	42
Figura 5. Representação gráfica da exigência de lisina para a manutenção (Lysm) determinada com galos Cobb 500 no ensaio 5	43
Figura 6. Representação gráfica da exigência de lisina para a manutenção (Lysm) de aves de diferentes genótipos.....	44
CAPÍTULO 3 – TÉCNICAS DE FORMULAÇÃO DAS DIETAS E EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO DOSE RESPOSTA.....	
	51
Figura 1. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão) e dos modelos ajustados para o ganho de peso de frangos de corte de 1 a 8 dias.....	74
Figura 2. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelo ajustado e estimativa do nível de lisina com base na conversão alimentar de frangos de corte de 1 a 8 dias.....	75
Figura 3. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de proteína de frangos de corte de 1 a 8 dias, recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação... ..	76
Figura 4. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de lisina de frangos de corte	

de 1 a 8 dias, recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação...	77
Figura 5. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no ganho de peso de frangos de corte de 8 a 22 dias	82
Figura 6. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelo ajustado e estimativa dos níveis de lisina com base na conversão alimentar de frangos de corte de 8 a 22 dias.....	83
Figura 7. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelos ajustados, e estimativa do nível de lisina com base na deposição de proteína corporal de frangos de corte de 8 a 22 dias.....	85
Figura 8. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelos ajustados e estimativa do nível de lisina com base na deposição de lisina corporal de frangos dos corte de 8 a 22 dias.....	85
Figura 9. Representação gráfica dos modelos ajustados e do nível de lisina digestível estimado com base na deposição de gordura corporal de frangos de corte de 8 a 22 dias, recebendo dietas formuladas pela técnica da diluição	86
Figura 10. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no ganho de peso de frangos de corte de 22 a 35 dias.	90
Figura 11. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na conversão alimentar de frangos de corte de 22 a 35 dias	91
Figura 12. Níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de proteína corporal de frangos de corte de 22 a 35 dias recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação	92
Figura 13. Níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de lisina corporal de frangos de corte de 22 a 35 dias recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação.	93

Figura 14. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelo ajustado e estimativa dos níveis de lisina com base no consumo de ração de frangos de corte de 35 a 42 dias..	97
Figura 15. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão) e modelo ajustado para o consumo de lisina digestível de frangos de corte de 35 a 42 dias	98
Figura 16. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no ganho de peso de frangos de corte de 35 a 42 dias	99
Figura 17. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão) e do modelo ajustado para a conversão alimentar de frangos de corte de 35 a 42 dias.	100
Figura 18. Representação gráfica da interação entre técnica de formulação e nível de lisina digestível para a deposição de proteína corporal de frangos de corte de 35 a 42 dias.	101
Figura 19. Representação gráfica da interação entre técnica de formulação e nível de lisina digestível para a deposição de gordura corporal de frangos de corte de 35 a 42 dias.	101
Figura 20. Representação gráfica da interação entre técnica de formulação e nível de lisina digestível para a deposição de lisina corporal de frangos de corte de 35 a 42 dias	102
Figura 21. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelo ajustado e estimativa do nível de lisina com base no rendimento de carcaça de frangos de corte aos 42 dias de idade.....	105
Figura 22. Níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no rendimento de coxas de frangos de corte que receberam dietas formuladas pela técnica da suplementação.....	106
Figura 23. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelos ajustados e estimativa do nível de lisina com base no rendimento de sobrecoxa de frangos de corte aos 42 dias de idade.....	107

Figura 24. Representação gráfica dos efeitos da técnica de formulação das dietas e da fase de criação sobre a eficiência de utilização da lisina para crescimento (EULys).....	112
Figura 25. Representação gráfica da regressão linear da deposição de lisina corporal (DLysC) pelo consumo de lisina para crescimento (CLysc), de frangos de corte Cobb 500 de 1 a 42 dias de idade.	113
CAPÍTULO 4 – MODELOS PARA ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE LISINA DIGESTÍVEL DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO FATORIAL	122
Figura 1. Diagrama esquemático do Modelo 1.....	127
Figura 2. Diagrama esquemático do Modelo 2.....	129
Figura 3. Regressão linear da deposição de lisina corporal (DLysC) pelo ganho de peso (GP) de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.	133
Figura 4. Representação gráfica do peso corporal (PCt; A) e do ganho de peso (GP; B) de frangos de corte Cobb 500, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1.....	136
Figura 5. Representação gráfica do peso de proteína do corpo depenado (PPBct) e peso de proteína das penas (PPBct) (A), e deposição de proteína no corpo depenado (DPBc) e nas penas (DPBp) (B) de frangos de corte Cobb 500, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1.....	136
Figura 6. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Cobb 500 obtidas com o uso dos modelos de predição.....	137
Figura 7. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Cobb 500 em diferentes fases de criação, estimadas com base no método dose-resposta e nos modelos de predição... ..	138
Figura 8. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangos de corte de seis linhagens comerciais estimadas por diferentes modelos de predição com base nos dados de HANCOCK et al. (1995).....	143

- Figura 9. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangos de corte Ross 308, estimadas por diferentes modelos de predição com base nos dados de SAKOMURA et al. (2005)..... 145
- Figura 10. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangos de corte de duas linhagens comerciais, estimadas por diferentes modelos de predição com base nos dados de MARCATO (2007)..... 147

ESTIMATIVAS DAS EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS DE CORTE PELOS MÉTODOS DOSE RESPOSTA E FATORIAL

RESUMO – As exigências de lisina de frangos de corte vêm sendo estudadas por décadas pelo método dose resposta, contudo, as recomendações são amplamente contrastantes. Assim, cresce o interesse pela elaboração de modelos capazes de prever as exigências de aves de diferentes genótipos e idades mantidas sob diferentes condições de criação. Os objetivos deste trabalho foram: (1) padronizar um método para estimar as exigências de lisina digestível para manutenção; (2) comparar as respostas de frangos de corte alimentados com dietas formuladas pelas técnicas da suplementação dos aminoácidos e da diluição das dietas; (3) estimar as exigências de lisina digestível de frangos de corte nas fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias) pelo método dose resposta; (4) elaborar modelos para estimar as exigências de lisina digestível de frangos de corte com base no método fatorial. Concluiu-se que: (1) ensaios de metabolismo com alimentação controlada pelo peso metabólico são satisfatórios para determinar as exigências de lisina para manutenção; (2) a técnica da diluição das dietas favoreceu o desempenho das aves, exceto na fase de crescimento, sendo recomendada para a formulação de dietas experimentais; (3) frangos de corte Cobb 500 exigem níveis de lisina digestível de 1,361; 1,187; 1,073 e 0,916% nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e terminação, com base no método dose resposta; (4) os modelos foram capazes de prever as exigências de lisina de frangos de corte de diferentes linhagens e idades, sugerindo a redução dos níveis de lisina digestível após a segunda metade do ciclo de produção.

Palavras-Chave: aminoácidos, balanço de nitrogênio, composição corporal, manutenção, modelagem

ESTIMATES OF LYSINE REQUIREMENTS OF BROILER CHICKENS BY THE DOSE RESPONSE AND FACTORIAL APPROACHS

SUMMARY – The lysine requirements of broiler chickens have been studied for decades by the dose response method, however, the results of different studies are widely contrasting. In this sense, the growing interest in the development of models capable of predicting the requirements of birds of different genotypes reared under different conditions. This work aimed: (1) standardize a method to estimate the lysine requirements for maintenance, (2) compare the responses of broilers fed diets formulated based on the supplementation technique and the dilution technique, (3) estimate the lysine requirements of broilers during pre-starter (1 to 8 days), starter (8 to 22 days), growth (22 to 35 days) and finishing (35 to 42 days) phases, by dose response method, (4) develop models to estimate the digestible lysine requirements for broiler chickens based on the factorial approach. It was concluded that: (1) metabolism assay with diets controlled by metabolic weight are satisfactory to determine the lysine requirements for maintenance, (2) the dilution technique was superior to the supplementation, except in the growth phase and is recommended to evaluate lysine requirements of broilers, (3) Cobb 500 broiler chickens require levels of lysine to 1.361, 1.187, 1.073 and 0.916% during the pre-starter, starter, growth and finishing phases, estimated by dose response method; (4) the models developed were able to predict the digestible lysine requirements of broilers of different strains and ages, suggesting the reduction in digestible lysine levels after the half of the production cycle.

Keywords: amino acids, nitrogen balance, body composition, maintenance, modeling

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Introdução

Os métodos utilizados para estudar as respostas das aves aos aminoácidos essenciais empregam duas abordagens principais: empírica e fatorial (D'MELLO, 2003).

Métodos empíricos são fundamentados na descrição quantitativa de variáveis produtivas ou indicadores metabólicos, em resposta ao aumento da concentração de um aminoácido limitante na dieta, correspondendo aos tradicionais estudos dose resposta. Nestes estudos as exigências equivalem à quantidade de aminoácido fornecida a partir da qual as respostas das aves se estabilizam (ROBBINS, 1979; OWENS & PETTIGREW, 1989; LARBIER & LECLERCQ, 1992; GOUS, 1998; MOUGHAN & FULLER, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

É amplamente aceito que as concentrações ótimas de aminoácidos nas dietas para as aves podem variar em função de fatores como potencial genético, idade, sexo, temperatura ambiente, níveis nutricionais, fontes de energia e proteína, condições sanitárias e de manejo (BAKER & HAN, 1994; ROSTAGNO et al., 1999; LEMME, 2005; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), além de sofrerem influência direta do modelo matemático utilizado na descrição das respostas (PESTI et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2009). Com base nisso, as estimativas das exigências de aminoácidos obtidas a partir de estudos empíricos de dose resposta serão apropriadas somente para condições semelhantes àsquelas em que os experimentos foram realizados (OVIDO-RONDÓN & WALDROUP, 2002; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

O método fatorial baseia-se no princípio que as aves necessitam dos aminoácidos para a manutenção dos processos vitais e atividades, crescimento e/ou produção de ovos, fracionando a exigência total em proporções adequadas para cada uma dessas finalidades (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Por contemplar diferenças

de peso e composição corporal, potencial de crescimento e produção das aves, a abordagem fatorial possibilita a elaboração de modelos capazes de prever as exigências nutricionais de aves de diferentes linhagens e idades, criadas sob diferentes condições.

Contudo, a aplicação do método fatorial depende da determinação dos parâmetros ou coeficientes que expressam as exigências de manutenção, e das eficiências de utilização dos aminoácidos da dieta, podendo-se obter estas informações a partir de estudos de dose resposta. Em virtude disso, D'MELLO (2003) salienta que estes estudos favorecem a percepção dos fatores que realmente afetam as respostas das aves aos aminoácidos da dieta, além de auxiliarem na compreensão dos processos envolvidos no metabolismo protéico (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

As exigências de lisina para a manutenção das aves foram estudadas por diversos autores (LEVEILLE & FISHER, 1959; HRUBY, 1998; EDWARD et al., 1999; SAKOMURA & COON, 2003; BROWN et al., 2006; NONIS & GOUS, 2008), entretanto, os resultados obtidos divergem amplamente, variando de zero (HRUBY, 1998) a 114 mg/kg^{0,75}/dia (EDWARD et al., 1999). Essa discordância pode ser atribuída às variações metodológicas, evidenciando a necessidade de novos estudos que permitam obter estimativas condizentes com as necessidades das aves.

Outro aspecto de grande relevância a ser considerado nos estudos nutricionais é a técnica empregada na formulação das dietas experimentais. A “técnica de suplementação gradativa de aminoácidos” (D'MELLO, 1982) tem sido utilizada para formular dietas experimentais na grande maioria dos estudos, entretanto, recebe críticas de diversos pesquisadores (FISHER & MORRIS, 1970; GOUS, 1980; MOUGHAN & FULLER, 2003; GOUS, 2007; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007) principalmente pelo fato do aumento sucessivo do aminoácido limitante promover alteração no balanço dos demais aminoácidos, afetando a resposta das aves. Uma técnica alternativa de formulação de dietas para avaliar as respostas aos níveis de aminoácidos foi proposta por FISHER & MORRIS (1970), denominada “técnica da diluição das dietas”. Para GOUS (1980) essa técnica é um “método melhorado” baseando-se no princípio que ela proporciona relações aminoacídicas constantes entre

os níveis avaliados, produzindo resultados mais confiáveis que a técnica da suplementação.

De acordo com HEGER & FRYDRYCH (1989) as eficiências de utilização dos aminoácidos são afetadas por diversos fatores, dentre eles, o tipo de aminoácido suplementar, concentração e relação entre os aminoácidos essenciais e não essenciais, além da presença de alguns aminoácidos não essenciais nas dietas, podendo diferir mesmo sob condições dietéticas comparáveis. Considerando que as técnicas da suplementação e da diluição proporcionam diferentes relações aminoacídicas entre os tratamentos avaliados, é possível que as respostas das aves sejam afetadas pelo método de formulação das dietas, tendo impacto direto sobre as estimativas das exigências e sobre a eficiência de utilização da lisina.

O presente estudo objetivou (1) avaliar diferentes métodos para estimar as exigências de lisina digestível para manutenção; (2) comparar as respostas de frangos de corte alimentados com dietas contendo níveis crescentes de lisina digestível, formuladas com base nas técnicas da suplementação dos aminoácidos e da diluição das dietas; (3) estimar as exigências de lisina digestível e suas eficiências de utilização para frangos de corte nas fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias) pelo método dose resposta; (4) elaborar modelos para estimar as exigências de lisina digestível para frangos de corte com base no método fatorial.

Métodos para estimar as exigências de lisina de frangos de corte

O método dose resposta é tradicionalmente utilizado em estudos para estimar as exigências de lisina de frangos de corte. Este método baseia-se na descrição quantitativa de variáveis produtivas ou indicadores metabólicos em resposta ao aumento da concentração de lisina nas dietas, sendo a exigência, correspondente à concentração de lisina capaz de maximizar ou otimizar determinada resposta (OWENS & PETTIGREW, 1989; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). As respostas normalmente monitoradas compreendem o ganho de peso, conversão alimentar, deposição de

proteína corporal, balanço de nitrogênio, concentrações plasmáticas de aminoácidos, além de suas taxas de oxidação (OWENS & PETTIGREW, 1989).

Por ser prático e de fácil execução, o método dose resposta tem sido utilizado na grande maioria dos estudos para definir as exigências de aminoácidos das aves, constituindo a base para a elaboração de tabelas como o “Nutrient Requirements of Poultry” (NRC, 1994) e as Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2000; ROSTAGNO et al., 2005), nas quais são informadas concentrações fixas dos aminoácidos que devem estar presentes nas dietas, de acordo com a fase de criação.

Entretanto, sabe-se que as concentrações ótimas de aminoácidos nas dietas podem variar em função de fatores como potencial genético, idade, sexo, temperatura ambiente, níveis nutricionais, fontes de energia e proteína, condições sanitárias e de manejo (BAKER & HAN, 1994; ROSTAGNO et al., 1999; LEMME, 2005; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), além de sofrerem influência direta do modelo matemático utilizado para interpretar as respostas (PESTI et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2009). Com base nisso, as estimativas fixas das exigências, obtidas a partir de estudos dose resposta serão apropriadas somente para condições semelhantes às aquelas em que os experimentos foram realizados (OVIEDO-RONDÓN & WALDROUP, 2002; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

De acordo com OWENS & PETTIGREW (1989), sob condições experimentais ou práticas, não existem garantias de que as aves alcançarão o máximo potencial produtivo, uma vez que, além do consumo de nutrientes, fatores ambientais, genéticos, fisiológicos, entre outros, podem limitar o desempenho. Por isso os autores criticam o estabelecimento de concentrações fixas de aminoácidos nas dietas, sugerindo que as exigências sejam definidas de acordo com o objetivo da criação, pelo suprimento das necessidades de manutenção somada às quantidades adicionais necessárias para atingir determinado nível de produção. Nesse contexto, as exigências totais de aminoácidos serão diferenciadas dependendo do nível de produção das aves.

O método fatorial de determinação das exigências fundamenta-se no princípio que as aves necessitam dos aminoácidos para a manutenção dos processos vitais e atividades, crescimento e/ou produção de ovos, obtendo-se as exigências totais pela

soma das quantidades necessárias para cada uma dessas finalidades (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Em animais jovens as necessidades de aminoácidos para manutenção correspondem a uma pequena fração das exigências totais, sendo a maior proporção destinada ao crescimento, entretanto, em animais adultos as necessidades de aminoácidos para a manutenção assumem maior importância, tendo em vista a ausência de crescimento (OWENS & PETTIGREW, 1989).

Para frangos de corte, a aplicação do método fatorial depende do conhecimento dos parâmetros que expressam as exigências dos aminoácidos para manutenção, das exigências líquidas de aminoácidos para crescimento e da eficiência de utilização do aminoácido em questão. Nos estudos com aves, as exigências de aminoácidos para a manutenção têm sido determinadas por meio da técnica do balanço de nitrogênio (LEVEILLE & FISHER, 1959; LEVEILLE & FISHER, 1960; BURNHAN & GOUS, 1992; NONIS & GOUS, 2008), ou pela técnica do abate comparativo (HRUBY, 1998; EDWARD et al., 1999; SAKOMURA & COON, 2003; BROWN et al., 2006). As exigências para o crescimento são calculadas a partir das concentrações de aminoácidos presentes no corpo das aves, computando-se suas eficiências de utilização (EMMANS & FISHER, 1986; HEGER & FRYDRYCH, 1989; OWENS & PETTIGREW, 1989; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

Por contemplar diferenças de peso e composição corporal, potencial de crescimento e produção das aves, a abordagem fatorial possibilita a elaboração de modelos matemáticos capazes de prever as exigências nutricionais de aves de diferentes potenciais genéticos e idades, criadas sob diferentes condições, o que permite a simulação das conseqüências decorrentes de modificações nos programas nutricionais, favorecendo a obtenção de benefícios econômicos e ambientais para a atividade, além de auxiliar a compreensão dos mecanismos envolvidos no metabolismo de proteína das aves.

A manutenção pode ser definida como o estado de equilíbrio no qual a ingestão de nitrogênio é exatamente igual ao somatório das perdas, resultando na constância do conteúdo de nitrogênio corporal (OWENS & PETTIGREW, 1989; SAKOMURA & COON, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Assim, as exigências de aminoácidos para manutenção podem ser obtidas em ensaios de metabolismo, a partir da relação existente entre a retenção ou balanço de nitrogênio e/ou aminoácido e a ingestão do aminoácido teste, sendo estimadas pela intersecção da reta com o eixo das abscissas (BURNHAM & GOUS, 1992; SAKOMURA & COON, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007; NONIS & GOUS, 2008).

De acordo com OWENS & PETTIGREW (1989), os estudos para estimar as exigências de aminoácidos para manutenção podem utilizar animais em crescimento ou adultos, relacionando a ingestão do aminoácido teste com a retenção ou balanço de nitrogênio corporal. Contudo, BURNHAM & GOUS (1992) advertem que a interpretação dos resultados de experimentos com animais em crescimento deve ser cautelosa em razão das modificações na taxa de crescimento, e conseqüentemente na proporção do aminoácido consumido que será utilizada para manutenção, durante o período experimental. Com base nisso, a utilização de aves adultas improdutivas mostra-se mais adequada, pelo fato das exigências totais de aminoácidos dessas aves estarem associadas apenas às perdas inevitáveis (manutenção), não incluindo necessidades específicas de aminoácidos para o crescimento e/ou produção (OWENS & PETTIGREW, 1989).

As exigências de lisina para a manutenção das aves foram estudadas por diversos autores, entretanto, as recomendações divergem amplamente. LEVEILLE & FISHER (1959) estudaram as exigências de lisina para a manutenção por meio de ensaio de metabolismo com galos Leghorn, utilizando dietas à base de aminoácidos cristalinos conforme método desenvolvido por LEVEILLE & FISHER (1958). A exigência de lisina para a manutenção, estimada com base na técnica do balanço de nitrogênio, foi de 29 mg/kg/dia, equivalendo a 36 mg/kg^{0,75}/dia.

Para estudar as exigências de lisina de manutenção de frangos de corte Ross 308 dos 10 aos 21 dias, HRUBY (1998) utilizou a técnica do abate comparativo fornecendo

dietas purificadas com ingestões de lisina variando entre 0 e 35 mg/dia (15% das recomendações do NRC, 1994). A deposição de proteína corporal das aves assumiu comportamento quadrático em resposta ao consumo de lisina, o que impossibilitou a determinação das exigências, motivo pelo qual o autor atribuiu pouca importância à lisina para os processos de manutenção, negligenciando sua exigência para a manutenção.

Resultados divergentes foram obtidos por EDWARDS et al. (1999), que conduziram ensaios de metabolismos com frangos de corte de crescimento lento (New Hampshire x Columbian) e acelerado (Avian x Avian) dos 10 aos 20 dias de idade para estimar as exigências de lisina para a manutenção com base na mesma técnica utilizada por HRUBY (1998). As dietas experimentais foram à base de aminoácidos cristalinos com concentrações de lisina variando entre 5 e 95% das recomendações para máximo desempenho. Considerando-se o relacionamento linear entre a deposição de proteína corporal e o consumo de lisina, as exigências de lisina digestível para a manutenção foram estimadas em 12 mg/dia ($45,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) para frangos de crescimento lento e 2,5 mg/dia ($6,9 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) para frangos de crescimento acelerado. Entretanto, quando consideraram a deposição de lisina corporal, as exigências foram estimadas em 30,3 mg/dia ($114 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) para frangos de crescimento lento e 32,3 mg/dia ($89,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) para frangos de crescimento acelerado, evidenciando que os critérios de resposta exercem influência direta sobre as estimativas das exigências de lisina para a manutenção.

As exigências de lisina para a manutenção de matrizes pesadas da linhagem Cobb foram estudadas por SAKOMURA & COON (2003). Os autores utilizaram dietas experimentais purificadas contendo 40% das recomendações de todos os aminoácidos (NRC, 1994), com exceção da lisina, cujas concentrações variaram de 0 a 40% das recomendações. A exigência estimada com base na relação linear entre o consumo de lisina e a deposição de lisina corporal foi de 167,9 mg/dia equivalendo a $94,4 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$.

BROWN et al. (2006) também utilizaram a técnica do abate comparativo para estudar as exigências de lisina para a manutenção de perus dos 7 aos 14 dias de idade.

Foram utilizadas dietas semi-purificadas formuladas para suprir as exigências das aves (NRC, 1994), exceto em lisina, que foi suplementada gradativamente em substituição ao amido para compor os tratamentos. A exigência de lisina para a manutenção, estimada com base na deposição de nitrogênio corporal, foi de 28,18 mg/dia, equivalendo à $59,01 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$.

Recentemente NONIS & GOUS (2008) estudaram as exigências de lisina para a manutenção de galos de linhagem de postura por meio de ensaios de metabolismo com fornecimento preciso das dietas experimentais associado à oferta “ad libitum” de uma dieta isenta de nitrogênio, segundo método proposto por GOUS et al. (1984). Foi formulada uma dieta deficiente em lisina, composta por glúten de milho e DL-triptofano, que foi intubada em diferentes quantidades de forma a proporcionar ingestões crescentes de lisina. A exigência de lisina para a manutenção, estimada com base no balanço de nitrogênio, foi de 37 mg/kg/dia, equivalendo à $47,2 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$.

A maior parte dos estudos relaciona as exigências diárias de aminoácidos para manutenção com o peso da ave em jejum (mg/kg/dia) ou com o peso metabólico ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$). EMMANS & OLDHAM (1988) relataram a determinação adequada das exigências de manutenção se depara com três problemas principais: o primeiro é como comparar a manutenção entre genótipos de diferentes tamanhos à maturidade, o segundo é como comparar a manutenção entre animais de um mesmo genótipo em diferentes estágios de crescimento, e o terceiro é como lidar com a variação no conteúdo de gordura corporal, uma vez que não existe demanda de aminoácidos para a manutenção das reservas lipídicas (EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAN & GOUS 1992; GOUS 2007).

Uma solução geral para estes problemas foi proposta por EMMANS & FISHER (1986) por meio da equação: $MP = 0,008 \cdot P_m^{0,73} \cdot u$; onde MP é a exigência de proteína para a manutenção (g/dia), 0,008 é uma constante (kg de proteína ideal/ unidade de manutenção; $P_m^{0,73} \cdot u$) definida com base na pressuposição que as aves exigem 8 g de uma proteína com composição adequada (ideal) para suprir as necessidades de manutenção, P_m é o peso de proteína à maturidade (kg) e u é o grau de maturidade da proteína no tempo t ($u = P_t / P_m = 1$ para aves adultas, nas quais $P_t = P_m$). Este princípio

foi utilizado por BURNHAM & GOUS (1992), para estimar as exigências de isoleucina para a manutenção de galos Leghorn, estimando em 60 mg/kg/dia ou 300 mg/ $P_m^{0,73}$.u/dia equivalendo a 38 g de isoleucina / kg de proteína de manutenção. Estes autores afirmaram que as exigências de manutenção relacionam-se mais intimamente com o conteúdo de proteína corporal, sendo uma forma mais apropriada para expressar as exigências, uma vez que o conteúdo de lipídios pode variar mesmo entre aves com pesos corporais semelhantes. NONIS & GOUS (2008) também utilizaram os princípios de EMMANS & FISHER (1986) e estimaram a exigência de lisina para a manutenção em 182 mg/ $P_m^{0,73}$.u/dia, equivalendo a uma concentração de 23 g de lisina / kg de proteína de manutenção.

Devido ao fato de existir uma grande variação na proporção da proteína total depositada como proteína nas penas durante o crescimento e devido à composição em aminoácidos das penas diferir substancialmente em relação à proteína do corpo depenado, as necessidades de manutenção e crescimento destes componentes deveriam ser consideradas separadamente (EMMANS & FISHER, 1986; MARTIN et al., 1994). As exigências de proteína para a manutenção das penas podem ser consideradas como sendo proporcionais às perdas de pena (MARTIN et al., 1994), e de acordo com EMMANS (1989) estas perdas equivalem a 0,01g/g de pena por dia. Assim, as exigências de lisina para a manutenção das penas (Lys_{mp}) podem ser obtidas pela expressão: Lys_{mp} (mg/dia) = 0,01 . PP . Lys_p , sendo PP (g) o peso de proteína das penas na idade t e Lys_p é o conteúdo de lisina na proteína das penas (EMMANS, 1989).

A discrepância entre os níveis recomendados para suprir as exigências de lisina para a manutenção, e a escassez de publicações que correlacionam as exigências de manutenção com o conteúdo de proteína corporal, podem se consideradas diretrizes para a realização de novos estudos, visando à obtenção de estimativas condizentes com as necessidades das aves.

A exigência dos aminoácidos para o crescimento pode ser definida com base na composição de aminoácidos da proteína e na deposição diária de proteína corporal, também interpretada como exigência líquida. Outras informações relevantes são as eficiências de utilização dos aminoácidos da dieta para a deposição corporal. As eficiências de utilização dos aminoácidos podem ser obtidas em ensaios dose resposta pela regressão linear da deposição corporal dos aminoácidos em função da ingestão dos mesmos. O coeficiente de inclinação da reta representa a eficiência de utilização do aminoácido, ou seja, a proporção do aminoácido ingerido que foi depositado no corpo da ave (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

EDWARDS et al. (1999), estimaram as eficiências de utilização da lisina para aves de 10 a 20 dias, por meio da inclinação da regressão linear da deposição de lisina corporal pelo consumo de lisina, obtendo valores correspondentes à 76 e 79% para frangos New Hampshire x Columbian e Avian, respectivamente. Utilizando o mesmo procedimento, FATUFE et al. (2004) estimaram eficiências de utilização da lisina de 71 e 61%, para frangos machos das linhagens Ross e Lohmann White, respectivamente, durante o período de 8 a 22 dias.

Outros métodos podem ser utilizados para estimar as eficiências de utilização da lisina para crescimento e deposição. À partir de valores de deposição corporal e consumo de lisina, estimados pela equação de GOMPERTZ (1825), 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. As eficiências variaram de 49,6 (7 dias) a 78,5% (22 dias) para machos, e de 55,0 (7 dias) a 81,0% (20 dias) para fêmeas. As eficiências de utilização dos aminoácidos ainda podem ser obtidas pela relação entre os aminoácidos depositados e ingeridos apenas para crescimento (aminoácido depositado / aminoácido ingerido – aminoácido para manutenção). HRUBY (1998) também mencionou que as exigências de aminoácidos para crescimento podem ser calculadas pela diferença entre as exigências totais e as exigências para manutenção. Entretanto este método não considera os efeitos sobre a composição corporal das aves, o que pode comprometer a validade dos resultados.

Os fatores que afetam a eficiência de utilização dos aminoácidos foram detalhadamente revisados por HEGER & FRYDRYCH (1989), que apontaram a concentração relativa do aminoácido na dieta como o principal determinante da sua eficiência de utilização. Com níveis subótimos de ingestão, a utilização dos aminoácidos é mais eficiente e somente uma pequena fração é degradada. Com o aumento da concentração do aminoácido limitante na dieta, sua eficiência de utilização decresce em virtude da maior proporção deste aminoácido ser direcionada para processos metabólicos alternativos, não relacionados com a deposição protéica (HEGER & FRYDRYCH, 1989). Além disso, evidências experimentais sugerem que a eficiência com que um aminoácido é utilizado para a deposição corporal sofre influência de fatores como: relação entre os aminoácidos essenciais e não essenciais nas dietas (HEGER & FRYDRYCH, 1989), idade, sexo, (D'MELLO, 2003; BRITO, 2007), além do genótipo das aves (EDWARDS et al. 1999; FATUFE et al.; 2004).

Nesse sentido, a técnica empregada na formulação das dietas experimentais torna-se um aspecto de grande relevância, uma vez que as diferentes técnicas proporcionam diferentes relações entre os aminoácidos essenciais e não essenciais das dietas. A técnica da suplementação de aminoácidos é utilizada na grande maioria dos estudos, consistindo na formulação de uma ração basal, para atender as exigências nutricionais de energia, minerais, vitaminas e aminoácidos essenciais, com exceção do aminoácido a ser estudado. Este é suplementado na dieta basal em níveis crescentes pela adição de uma fonte cristalina. Entretanto, esta técnica tem sido criticada por vários pesquisadores (FISHER & MORRIS, 1970, GOUS, 1980, MOUGHAN & FULLER, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007) principalmente pelo fato do aumento sucessivo do aminoácido limitante promover alteração no balanceamento dos demais aminoácidos, afetando a resposta do animal.

Uma técnica alternativa de formulação de dietas para avaliar níveis de aminoácidos foi proposta por FISHER & MORRIS (1970), denominada "técnica da diluição das dietas". Este método consiste em diluir sequencialmente uma dieta alta em proteína e deficiente no aminoácido teste, com uma dieta isoenergética livre de proteína, obtendo-se os níveis intermediários do aminoácido. GOUS (1980) relata que

essa técnica é um “método melhorado”, baseando-se no princípio que ela proporciona relações aminoacídicas constantes entre os níveis avaliados, produzindo resultados mais confiáveis que a técnica da suplementação, apesar da proteína bruta variar. Considerando que as técnicas da suplementação e da diluição proporcionam diferenças nas relações aminoacídicas dos tratamentos avaliados, as eficiências de utilização dos aminoácidos podem ser afetadas pelo método de formulação, tendo impacto direto sobre a determinação das exigências para crescimento.

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

Tendo em vista a variabilidade dos resultados obtidos nos estudos que determinaram as exigências de manutenção e a escassez de publicações acerca das eficiências de utilização dos aminoácidos, é imprescindível a realização de novos estudos, possibilitando a obtenção de padrões nutricionais cada vez mais acurados e precisos.

Modelos para estimar as exigências de aminoácidos das aves

Na pesquisa avícola, um modelo pode ser considerado como a descrição matemática de um dado fenômeno biológico (crescimento, produção, etc.), obtida por meio do arranjo coordenado de equações, em que variáveis quantitativas são tomadas para representar os fatores que influenciam os fenômenos (OVIÉDO-RONDON et al., 2002). De acordo com ZOONS et al. (1991), a elaboração dos modelos envolve três etapas distintas. A primeira refere-se à identificação das variáveis de “entrada” (independentes) e “saída” (dependentes), levando em consideração os objetivos do modelo. A segunda etapa envolve o estabelecimento da estrutura das diferentes relações matemáticas que irão compor os modelos, não direcionando atenção para os valores dos parâmetros. Estes valores podem ser determinados posteriormente, à partir

de estudos dose resposta. A terceira e última etapa envolve a avaliação do modelo que, segundo SAKOMURA & ROSTAGNO (2007), pode ser realizada por meio de ensaios de desempenho, por simulação ou por comparação de valores preditos com valores observados em situações reais, constituindo uma etapa determinante para verificar a aplicabilidade do modelo.

Os primeiros modelos de predição das exigências de aminoácidos para aves foram desenvolvidos por HURWITZ et al. (1973), para aves de postura. As exigências totais de aminoácidos foram obtidas à partir da soma das necessidades para manutenção, crescimento e produção de ovos, sendo os coeficientes que expressam cada uma destas frações determinados de maneira independente. Os autores concluíram que os modelos proporcionaram estimativas menores que os valores recomendados na literatura, e atribuíram este resultado ao fato dos modelos considerarem a ineficiência de conversão dos aminoácidos dietéticos em proteínas do ovo.

Posteriormente, HURWITZ et al. (1983), baseando-se na composição da carcaça e penas de perus na fase de crescimento e em experimentos com balanço de nitrogênio, elaboraram um modelo para estimar as necessidades de aminoácidos baseado no somatório das exigências de manutenção, ganho de peso da carcaça sem penas e ganho em penas. De acordo com estes autores, as estimativas das exigências de aminoácidos foram muito similares às recomendações do NRC (1977).

MARTIN et al. (1994), basearam-se no modelo de crescimento proposto por EMMANS (1981), e elaboraram um modelo que fraciona os componentes de manutenção e crescimento do corpo em proporções específicas para o corpo depenado e para as penas, partindo-se do pressuposto que a composição em aminoácidos das penas difere acentuadamente da composição do corpo depenado (EMMANS & FISHER, 1986), e, além disso, considerando que as características de crescimento das penas diferem em relação ao crescimento do resto do corpo, sendo afetadas por fatores como: potencial genético, sexo e idade da ave. Com base neste princípio os autores concluíram que as exigências de aminoácidos sulfurosos não foram proporções constantes das exigências de lisina com o avançar da idade, sendo explicado pela alta demanda destes aminoácidos para a formação das penas.

No Brasil, a utilização de modelos de predição das exigências de aminoácidos para as aves ainda é bastante limitada. Na última edição das “Tabelas Brasileira para Aves e Suínos”, ROSTAGNO et al. (2005) agruparam dados de 30 estudos dose-resposta realizados com frangos de corte e elaboraram uma equação para estimar quantidade de lisina necessária (g) por kg de ganho de peso, considerando o peso corporal médio (kg) como variável independente. Assim, a exigência de lisina para ganho (g/dia) é obtida multiplicando-se o valor predito pela equação (g/kg), pelo ganho de peso esperado (kg/dia). À partir das publicações de FISHER (1998) e EDWARDS et al. (1999), foram estabelecidas as exigências de lisina para manutenção (100 mg/kg^{0,75}/dia). As exigências de lisina digestível (g/dia) foram estimadas à partir da soma das necessidade de lisina para manutenção e para ganho de peso.

Não resta dúvida que o modelo proposto por ROSTAGNO et al. (2005) tem contribuído sobremaneira para o estabelecimento das exigências de aminoácidos de frangos de corte no Brasil. Entretanto, este modelo é fundamentado no ganho de peso das aves e sabe-se que a proporção entre proteína e gordura, principais componentes do ganho de peso, varia com o crescimento e é afetada por diversos fatores, além disso, não há demanda de lisina para deposição de tecido gorduroso (EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAN & GOUS 1992; GOUS 2007). Assim, o desenvolvimento de modelos de predição das exigências de lisina, fundamentados na deposição de proteína ou aminoácidos corporais, poderá contribuir para o aperfeiçoamento dos programas nutricionais recomendados para frangos de corte, possibilitando a obtenção de benefícios econômicos e ambientais para a avicultura nacional.

Referências

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

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.

BROWN, J.; FIRMAN, J.D.; SUN, S.S.; KAMYAB, A. Digestible lysine requirements for maintenance in the starting turkey. **International Journal of Poultry Science**, v.5, p.740-743, 2006.

BURNHAM, D., GOUS, R. M. Isoleucine requirements of the chicken: requirement for maintenance. **British Poultry Science**, Abington, v.33, p.59-69, 1992.

D'MELLO, J.P.F. A comparison of two empirical methods of determining amino acid requirements. **World's Poultry Science Journal**, v. 38, p114–119, 1982.

D'MELLO, J.P.F. Responses of growing poultry to amino acids. In: D'MELLO, J.P.F. **Amino acid in animal nutrition**. 2nd ed. Wallingford: CABI Publishing, 2003. p.237-264.

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**, Savoy, v.78, p.1412-1417, 1999.

EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: HILLYER, G.M.; WHITTEMORE, C.T.; GUNN, R.G. **Computers Animal Production**. Edinburgh. British Society of Animal Production, 1981. p. 106-110.

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

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

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

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

FISHER, C. Amino Acid Requirements of Broiler Breeders. **Poultry Science**, Savoy, v.77, p.124-133, 1998.

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

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

GOUS, R. M. Methodologies for modeling energy and amino acid responses in poultry. **Brazilian Journal of Animal Science**, v36: 263-274. 2007.

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, 6.**, 1980, Hamburg. Proceedings...Hamburg: World's Poultry Science Association, 1980. v.3, p.32–39.

GOUS, R.M.; FISHER, C.; BROADBENT, L.A. Measurement of the amino acid requirement for maintenance of adult cockerels. In: **WORLD'S POULTRY CONGRESS, 17.**, 1984, Helsinki, Proceedings...

HEGER, J.; FRYDRYCH, Z. Efficiency of utilization of amino acids. In: FRIEDMAN, M **Absorption and utilization of amino acids**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.1, p.31-56.

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

HURWITZ, S.; BORNSTEIN, S. The protein and amino acid requirement of laying hens: suggest models for calculations. **Poultry Science**, Savoy, v.52, p.1124-1134, 1973.

HURWITZ, S.; FRISCH, Y.; BAR, A.; EISNER, U.; BENGAL, I.; PINES, M. The amino acid requirement of growing turkeys: model construction and parameter estimation. **Poultry Science**, Savoy, v.62, p.2208-2217, 1983.

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

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

LEVEILLE, G.A.; FISHER, H. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster II. The requirements for glutamic acid, histidine, lysine and arginine. **The Journal of Nutrition**, Bethesdo, v.69, p.289-294, 1959.

LEVEILLE, G.A.; FISHER, H. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster III. The requirements for leucine, isoleucine, valine and threonine, with reference also to the utilization of the d-isomers of valine, threonine and isoleucine. **The Journal of Nutrition**, Bethesdo, v.70, p.135-140, 1960.

LEVEILLE, G.A.; FISHER, H. The amino acid requirements for maintenance in the adult rooster. **The Journal of Nutrition**, Bethesdo, v.66, p.441-452, 1958.

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

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 7th ed. Washington.: National Academy of Science, 1977.

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

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

OVIEDO-RONDÓN, E.O.; MURAKAMI, A.E.; SAKAGUTI, E.S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.4, p.199-207, 2002.

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

OWENS, F.N.; PETTIGREW, J.E. Subdividing amino acid requirements into portions for maintenance and growth. In: FRIEDMAN, M. **Absorption and utilization of amino acids**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.1, p.15-30.

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

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

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

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

ROSTAGNO, H.S.; NASCIMENTO, A.H.; ALBINO, L.F.T. Aminoácidos totais e digestíveis para aves. In: CONFERÊNCIA APINCO, 1999, Campinas. Anais... Campinas: APINCO, 1999. p. 66.

SAKOMURA, N. K, COON, C. Amino acid requirements for maintenance of broiler breeder pullets. In: **EUROPEAN SYMPOSIUM ON POULTRY NUTRITION, 14.**, 2003, Lillehammer. Proceedings ... p. 280-281.

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

SIQUEIRA, J.C.; SAKOMURA, N.K.; NASCIMENTO, D.C.N.; FERNANDES, J.B.K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina para aves de corte ISA Label. **Revista Brasileira de Zootecnia/ Brazilian Journal of Animal Science**. No prelo.

ZOONS, J.; BUYSE, J.; DECUYPERE, E. Mathematical models in broiler raising. **World's Poultry Science Journal**, v. 47, p243–255. 1991.

CAPÍTULO 2 – EXIGÊNCIAS DE LISINA PARA A MANTENÇA DAS AVES: PADRONIZAÇÃO DE UM MÉTODO

RESUMO – Para padronizar um método experimental e estimar as exigências de lisina digestível para a manutenção (Lys_m) de galos adultos de diferentes genótipos e pesos corporais (Leghorn, ISA Label e Cobb 500) foram conduzidos cinco ensaios de metabolismo empregando-se a técnica do balanço de nitrogênio (BN). As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (níveis de lisina digestível) e seis repetições, sendo as unidades experimentais compostas por uma (ensaios 1, 2 e 3) ou duas aves (ensaios 4 e 5). Os ensaios 1 (Leghorn), 2 (Leghorn) e 3 (ISA Label) empregaram diferentes métodos: alimentação “ad libitum”, alimentação precisa e alimentação precisa com fornecimento “ad libitum” de dieta isenta de proteína. A Lys_m foi obtida por meio da regressão linear do BN ($mg/kg^{0,75}/dia$) pelo consumo de lisina digestível ($mg/kg^{0,75}/dia$), sendo definida pelo consumo de lisina digestível necessário para manter o BN igual a zero. O método da alimentação “ad libitum” mostrou-se mais adequado, sendo utilizado nos ensaios 4 (ISA Label) e 5 (Cobb 500). Concluiu-se que ensaios de metabolismo com fornecimento de alimentação controlada pelo peso metabólico são satisfatórios para estimar a Lys_m das aves. A Lys_m não variou entre aves de diferentes genótipos e composições corporais, quando foi estabelecida com base no peso metabólico, sendo estimada em $45,1 mg/kg^{0,75}/dia$ ($32,3 mg/kg/dia$). Quando foram estabelecidas com base no conteúdo de proteína corporal à maturidade, as recomendações variaram, sendo estimadas em 173,6; 164,0 e 140,9 $mg/PBm^{0,73}.u/dia$, para galos Leghorn, ISA Label e Cobb 500, respectivamente.

Palavras Chave: aminoácidos, balanço de nitrogênio, método fatorial, frangos de corte

LYSINE REQUIREMENTS FOR MAINTENANCE OF BIRDS: STANDARDIZE A METHOD

SUMMARY - In order to standardize an experimental method and to estimate the digestible lysine requirements for maintenance (Lys_m) of roosters of different genotype and body weights (Leghorn, ISA Label and Cobb 500) were conducted five metabolism trials using the nitrogen balance (BN) technique. In all trials the birds were distributed in a completely randomized design with five treatments (digestible lysine levels) and six replications with the experimental units consisting of one (tests 1, 2 and 3) or two birds (tests 4 and 5). Trials 1 (Leghorn), 2 (Leghorn) and 3 (ISA Label) used different methods: food "ad libitum", intubated food and intubated food with supplies "ad libitum" of protein free diet. The Lys_m was obtained by linear regression of BN ($mg/kg^{0.75}/day$) by lysine intake ($mg/kg^{0.75}/day$), defined by the lysine intake needed to keep the BN at zero. The method of "ad libitum" feeding was more appropriate, being used in trials 4 (ISA Label) and 5 (Cobb 500). It was concluded that metabolism trials with diets controlled by metabolic weight are suitable for estimating the Lys_m of the birds. The Lys_m did not vary between birds of different genotypes and body composition, when it was established on the basis of metabolic weight, estimated at $45.1 mg/kg^{0.75}/day$ ($32.3 mg/kg/day$). However, when they were established on the basis of body protein content at maturity, the recommendations varied, being estimated at 173.6, 164.0 and 140.9 $mg/PBm^{0.73}.u/day$ for Leghorn, ISA Label and Cobb 500 roosters, respectively.

Keywords: amino acids, nitrogen balance, factorial method, broilers

INTRODUÇÃO

A manutenção pode ser definida como o estado de equilíbrio no qual a ingestão de nitrogênio é exatamente igual ao somatório das perdas, mantendo o conteúdo de nitrogênio corporal constante (OWENS & PETTIGREW, 1989; FISHER, 1998; SAKOMURA & COON, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

As exigências de lisina para a manutenção foram estudadas com aves em crescimento (HRUBY, 1998; EDWARD et al., 1999; BROWN et al., 2006) e adultas (LEVILLE & FISHER, 1959a; SAKOMURA & COON, 2003; NONIS & GOUS, 2008), entretanto, os resultados das pesquisas divergem amplamente, sendo esse cenário parcialmente atribuído à utilização de diferentes métodos experimentais (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), motivando permanentes discussões na esfera científica.

Um dos principais embates refere-se à categoria das aves experimentais. De acordo com OWENS & PETTIGREW (1989), os estudos para estimar as exigências de aminoácidos para manutenção podem utilizar animais em crescimento ou adultos, relacionando a ingestão do aminoácido teste com a retenção de nitrogênio corporal. Contudo, BURNHAM & GOUS (1992) advertem que a interpretação dos resultados de experimentos com animais em crescimento deve ser cautelosa em razão das modificações na taxa de crescimento, e consequentemente na proporção do aminoácido consumido que será utilizada para manutenção, durante o período experimental. Assim, a determinação com aves adultas improdutivas mostra-se mais adequada, pelo fato das exigências totais de aminoácidos dessas aves estarem associadas apenas às perdas inevitáveis (manutenção), não incluindo necessidades específicas de aminoácidos para o crescimento e/ou produção (OWENS & PETTIGREW, 1989).

Outra divergência metodológica envolve a forma de alimentação das aves (“ad libitum” vs alimentação precisa). Pelo fato dos estudos de manutenção exigirem a formulação de dietas extremamente deficientes no aminoácido teste, o desbalanço natural dessas dietas pode ocasionar recusa do alimento, conforme constatado nos estudos de LEVEILLE & FISHER (1960) e LEVEILLE et al. (1960).

Visando contornar esse problema, GOUS et al. (1984) propuseram uma técnica alternativa, utilizando alimentação precisa associada à oferta “ad libitum” de uma dieta isenta de nitrogênio para assegurar balanço positivo de energia. Essa técnica foi utilizada com sucesso por BURNHAM & GOUS (1992) para estimar as exigências de isoleucina para manutenção. Recentemente NONIS & GOUS (2008) empregaram a mesma técnica para estimar as exigências de treonina e de lisina e também obtiveram resultados satisfatórios. De acordo com BURNHAM & GOUS (1992) esse método apresenta vantagens, dentre elas, o fornecimento de quantidades adequadas das dietas teste, por meio de funil sonda, evita a recusa e o desperdício do alimento, aumentando a acurácia e a precisão dos resultados.

Outro aspecto de relevância concerne à unidade para se expressar as exigências de manutenção. A maioria dos estudos relaciona as exigências diárias de aminoácidos para manutenção com o peso da ave em jejum (mg/kg/dia) ou com o peso metabólico (mg/kg^{0,75}/dia). Entretanto, EMMANS & FISHER (1986), baseando-se nos estudos de BRODY (1945) e TAYLOR & YOUNG (1968), demonstraram que as exigências de aminoácidos para a manutenção se relacionam mais intimamente com o conteúdo de proteína corporal, em virtude de não existir demanda de aminoácidos para a manutenção das reservas lipídicas (EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; GOUS, 2007), sendo uma forma mais apropriada para expressar as exigências, uma vez que o conteúdo de lipídios pode variar até mesmo entre aves com pesos corporais semelhantes (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; SAKOMURA & COON, 2003; NONIS & GOUS, 2008).

Com base nessas informações, o presente estudo objetivou: (1) padronizar um método para determinar as exigências de lisina para a manutenção e (2) estimar as exigências de lisina digestível para a manutenção de galos de diferentes tamanhos à maturidade (Leghorn, ISA Label e Cobb 500), com base nos pesos corporal, metabólico e protéico.

MATERIAL E MÉTODOS

Cinco ensaios de metabolismo foram realizados no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV / UNESP, Jaboticabal – SP, entre março de 2008 e janeiro de 2009.

Foram conduzidos três ensaios para quantificar o balanço de nitrogênio de galos sexualmente maduros (idade igual ou superior a 27 semanas), visando padronizar um método para a determinação das exigências de manutenção.

Adicionalmente, foram conduzidos dois ensaios utilizando o método definido nos estudos anteriores, para determinar as exigências de lisina digestível para a manutenção de aves de diferentes pesos e composição corporal à maturidade. Os estudos foram realizados de forma independente e em ordem cronológica.

Instalações, Animais e Delineamento Experimental

As aves foram distribuídas em gaiolas metabólicas de arame galvanizado (0,20m²), equipadas com bebedouro tipo “nipple” e comedouro tipo calha, em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos (dietas contendo níveis crescentes de lisina) e seis repetições.

Nos ensaios 1, 2 e 3 as unidades experimentais foram compostas por uma ave, utilizando-se 30 galos Leghorn (ensaios 1 e 2) ou ISA Label (ensaio 3). Nos ensaios 4 e 5 as unidades experimentais foram compostas por duas aves, utilizando-se 60 galos ISA Label (ensaio 4) ou Cobb 500 (ensaio 5). No início de cada ensaio as aves foram pesadas individualmente possibilitando a constituição de parcelas homogêneas.

Descrição dos Ensaios de Metabolismo

Os ensaios 1, 2 e 3 foram conduzidos para quantificar o balanço de nitrogênio de galos alimentados com níveis crescentes de lisina nas dietas por meio de diferentes

métodos: (1) alimentação “ad libitum”, (2) alimentação precisa e (3) alimentação precisa com oferta “ad libitum” de uma dieta isenta de nitrogênio.

Ensaio 1: Alimentação “ad libitum”

Os galos Leghorn tiveram livre acesso às dietas experimentais durante todo o período experimental, cuja duração foi 9 dias, sendo 5 dias de adaptação às dietas experimentais e 4 dias para a coleta total das excretas.

As dietas experimentais foram obtidas à partir da diluição de uma dieta concentrada contendo 0,179 % de lisina digestível, à base de milho e amido de milho, com outra isenta de lisina, à base de amido de milho (Tabela 1), resultando em dietas isoenergéticas e isonitrogênicas contendo 0,036; 0,071; 0,107; 0,143 e 0,179% de lisina digestível (Tabela 2). As concentrações dos nutrientes nas dietas foram estabelecidas considerando um consumo médio diário de 120g de ração, assumindo o atendimento de pelo menos 50% das exigências de energia e aminoácidos essenciais (exceto lisina), 100% das exigências de minerais e vitaminas, tomando-se como referência as recomendações de ROSTAGNO et al. (2005), para galos. No final do período experimental as sobras de ração foram quantificadas.

Para delimitar o início e o final do período de coleta das excretas utilizou-se óxido de ferro como marcador, adicionado nas dietas experimentais na concentração de 1%. As excretas não marcadas na primeira coleta e as marcadas na última coleta foram descartadas. As excretas foram coletadas duas vezes por dia (às 8 e às 16h), após remoção de contaminantes (penas e descamações), utilizando-se bandejas revestidas por lona plástica dispostas sob as gaiolas metabólicas. As excretas produzidas por cada ave durante o período de coleta foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e congeladas (-20°C) para análises posteriores.

Tabela 1. Composição centesimal das dietas utilizadas para compor os tratamentos no ensaio 1.

Ingredientes (%)	Dietas	
	Isenta de Lys	Concentrada
Milho	-----	49,863
Amido de milho	80,376	39,490
Casca de arroz	9,987	7,406
Fosfato bicálcico	1,226	1,016
Calcário calcítico	0,285	0,441
Cloreto de sódio	0,418	0,400
Óleo de soja	0,600	0,800
DL- metionina (99%)	0,192	0,024
L-lisina HCl (78,5%)	-----	0,095
L-treonina (99%)	0,178	0,040
L-triptofano (99%)	0,053	0,022
L- arginina (99%)	0,254	0,072
L- valina (99%)	0,228	0,052
L-isoleucina (99%)	0,140	0,009
L-leucina (99%)	0,491	-----
L-fenilalanina (99%)	0,190	-----
Suplemento vitamínico ⁽¹⁾	0,100	0,100
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,100	0,100
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Ácido L-glutâmico (99%)	5,112	-----
Total	100,000	100,000

⁽¹⁾ Conteúdo/kg - vit. A = 12.000.000UI, vit. D3 = 22.000.000UI, vit. E = 30.000mg, vit. B1 = 2.200mg, vit. B2 = 6.000mg, vit. B6 = 3.300mg, vit. B12 = 16.000mg, Niacina = 53.000mg, ácido pantotênico = 13.000mg, vit. K = 2.500mg, ácido fólico = 1.000mg, selênio = 250mg, antioxidante = 100.000mg, veículo qsp 1000g.

⁽²⁾ Conteúdo/kg – manganês = 75.000mg, ferro = 50.000mg, zinco = 70.000mg, cobre = 6.500mg, cobalto = 200 mg, iodo = 1.500mg, veículo qsp 1000g.

Tabela 2. Composição nutricional dos tratamentos utilizados no ensaio 1.

Dieta (%)	Nível de lisina digestível (%)				
	0,036	0,071	0,107	0,143	0,179
Concentrada	20,11	39,67	59,78	79,89	100,000
Iseta de Lys	79,89	60,33	40,22	20,11	-----
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição nutricional					
Proteína bruta (%)	4,60 (5,22) ⁽¹⁾	4,60 (5,28)	4,60 (5,27)	4,60 (5,31)	4,60 (5,42)
Energia metabolizável (kca/kg)	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200
Cálcio (%)	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Fósforo disponível (%)	0,231	0,231	0,231	0,231	0,231
Sódio (%)	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177
Fibra Bruta (%)	3,683	3,666	3,649	3,631	3,614
Lisina dig. (%)	0,036	0,071	0,107	0,143	0,179
Metionina+cistina dig. (%)	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188
Metionina dig. (%)	0,173	0,158	0,143	0,128	0,113
Triptofano dig. (%)	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052
Treonina dig. (%)	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
Arginina dig. (%)	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251
Valina dig. (%)	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226
Fenilalanina dig. (%)	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185
Isoleucina dig. (%)	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139
Leucina dig. (%)	0,484	0,484	0,484	0,484	0,484

⁽¹⁾ Os números entre parênteses referem-se à composição analisada (N*6,25).

Ensaio 2: Alimentação precisa

Foi utilizado o método da alimentação precisa (SIBBALD, 1976) descrito por SAKOMURA & ROSTAGNO (2007). Inicialmente os galos Leghorn foram submetidos a um período de jejum alimentar de 48h para esvaziamento completo do trato digestório. Em seguida, cada ave recebeu aproximadamente 50g de alimento ($27\text{g/kg}^{0,75}$), dividido em duas vezes ($13,5\text{g/kg}^{0,75}$ às 8h e $13,5\text{g/kg}^{0,75}$ às 16h), por meio de funil sonda introduzido até o papo. A coleta total de excretas estendeu-se por 48h após a segunda alimentação, totalizando 56h.

As dietas experimentais foram obtidas misturando-se uma dieta contendo 0,093% de lisina digestível (diluyente) com outra contendo 0,464% (concentrada) (Tabela 3), em diferentes proporções, resultando em dietas isonutritivas contendo

0,093; 0,186; 0,278; 0,371 e 0,464% de lisina digestível (Tabela 4). As concentrações dos nutrientes nas dietas foram estabelecidas com base nas recomendações de ROSTAGNO et al. (2005), considerando um consumo de aproximadamente 50g/ave (27g/kg^{0,75}).

Tabela 3. Composição centesimal das dietas utilizadas para compor os tratamentos no ensaio 2.

Ingredientes (%)	Dietas	
	Basal	Concentrada
Milho	44,286	74,124
Amido de milho	22,134	10,650
Casca de arroz	9,396	-----
Fosfato bicálcico	3,030	2,923
Calcário calcítico	1,197	1,463
Óleo de soja	12,296	7,004
Cloreto de sódio	1,110	1,121
DL- metionina (99%)	0,348	0,247
L-lisina HCl (78,5%)	-----	0,393
L-treonina (99%)	0,340	0,257
L-triptofano (99%)	0,110	0,092
L- arginina (99%)	0,496	0,387
L- valina (99%)	0,438	0,333
L-isoleucina (99%)	0,395	0,316
L-leucina (99%)	0,294	-----
L-fenilalanina (99%)	0,224	0,110
Suplemento vitamínico ⁽¹⁾	0,200	0,200
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,200	0,200
Cloreto de colina (70%)	0,180	0,180
Ácido L-glutâmico (99%)	3,326	-----
Total	100,000	100,000

⁽¹⁾ Conteúdo/kg - vit. A = 12.000.000UI, vit. D3 = 22.000.000UI, vit. E = 30.000mg, vit. B1 = 2.200mg, vit. B2 = 6.000mg, vit. B6 = 3.300mg, vit. B12 = 16.000mg, Niacina = 53.000mg, ácido pantotênico = 13.000mg, vit. K = 2.500mg, ácido fólico = 1.000mg, selênio = 250mg, antioxidante = 100.000mg, veículo qsp 1000g.

⁽²⁾ Conteúdo/kg – manganês = 75.000mg, ferro = 50.000mg, zinco = 70.000mg, cobre = 6.500mg, cobalto = 200 mg, iodo = 1.500mg, veículo qsp 1000g.

Para evitar contaminação das excretas as aves foram deplumadas na região pélvica, realizando-se a coleta por meio de sacolas plásticas fixadas com o auxílio de argolas, conforme descrito por SAKOMURA & ROSTAGNO (2007).

Tabela 4. Composição nutricional dos tratamentos utilizados no ensaio 2.

Dieta (%)	Nível de lisina digestível (%)				
	0,093	0,186	0,278	0,371	0,464
Concentrada	-----	25,00	50,00	75,00	100,00
Basal	100,00	75,00	50,00	25,00	-----
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição nutricional					
Proteína bruta (%)	8,12 (8,32) ⁽¹⁾	8,12 (8,12)	8,12 (8,46)	8,12 (8,50)	8,12 (8,16)
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600
Cálcio (%)	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300
Fósforo disponível (%)	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
Sódio (%)	0,460	0,460	0,460	0,460	0,460
Fibra Bruta (%)	4,354	3,584	2,822	2,052	1,282
Lisina dig. (%)	0,093	0,186	0,278	0,371	0,464
Metionina+cistina dig. (%)	0,487	0,487	0,487	0,487	0,487
Metionina dig. (%)	0,412	0,399	0,387	0,374	0,361
Triptofano dig. (%)	0,135	0,135	0,135	0,135	0,135
Treonina dig. (%)	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450
Arginina dig. (%)	0,650	0,650	0,650	0,650	0,650
Valina dig. (%)	0,589	0,589	0,589	0,589	0,589
Fenilalanina dig. (%)	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381
Isoleucina dig. (%)	0,506	0,506	0,506	0,506	0,506
Leucina dig. (%)	0,719	0,719	0,719	0,719	0,719

⁽¹⁾ Os números entre parênteses referem-se à composição analisada (N*6,25).

As sacolas plásticas foram substituídas a cada intervalo de 12h durante o período de coleta (56h), obtendo-se cinco sacolas por parcela experimental no final do ensaio. O total de excretas produzido por cada ave durante o período de coleta foi identificado e congelado (-20°C) para análises posteriores.

Ensaio 3: Alimentação precisa com oferta “ad libitum” de dieta isenta de nitrogênio

O método utilizado foi adaptado de GOUS et al. (1984). Os galos ISA Label passaram por um período de adaptação de três dias (72h), no qual receberam uma dieta isenta de nitrogênio, formulada para atender suas exigências de energia, minerais e vitaminas (Tabela 5), garantindo o balanço positivo desses nutrientes. Às

8h do quarto dia cada ave recebeu aproximadamente 20g ($6,5\text{g/kg}^{0,75}$) das dietas experimentais por meio de funil sonda introduzido até o papo. Esse procedimento foi repetido no mesmo horário por três dias consecutivos. O período de coleta das excretas teve início às 8h do quinto dia e estendeu-se por 24h após a última alimentação, totalizando 72h.

Tabela 5 – Composição da dieta isenta de nitrogênio ofertada “ad libitum” no ensaio 3.

Ingredientes	(%)
Amido de milho	83,913
Casca de arroz	10,766
Calcário calcítico	0,467
Fosfato bicálcico	2,138
Óleo de soja	1,800
Cloreto de sódio	0,416
Cloreto de colina (70%)	0,300
Suplemento mineral ⁽¹⁾	0,100
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,100
Total	100,000
Composição nutricional	
Proteína bruta (%)	0,188 (1,250) ⁽³⁾
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.200
Cálcio (%)	0,800
Fósforo disponível (%)	0,400
Sódio (%)	0,177
Fibra Bruta (%)	4,111
Lisina dig. (%)	0,000

⁽¹⁾Conteúdo/kg - vit. A = 12.000.000UI, vit. D3 = 22.000.000UI, vit. E = 30.000mg, vit. B1 = 2.200mg, vit. B2 = 6.000mg, vit. B6 = 3.300mg, vit. B12 = 16.000mg, Niacina = 53.000mg, ácido pantotênico = 13.000mg, vit. K = 2.500mg, ácido fólico = 1.000mg, selênio = 250mg, antioxidante = 100.000mg, veículo qsp 1000g.

⁽²⁾Conteúdo/kg – manganês = 75.000mg, ferro = 50.000mg, zinco = 70.000mg, cobre = 6.500mg, cobalto = 200 mg, iodo = 1.500mg, veículo qsp 1000g.

⁽³⁾O número entre parênteses refere-se à composição analisada (N*6,25).

As dietas experimentais foram compostas de aminoácidos cristalinos e sacarose. Inicialmente formulou-se uma mistura de aminoácidos, composta por 12 fontes cristalinas (Tabela 6), para fornecer quantidades diárias de aminoácidos (mg/ave/dia) equivalentes a 50% das recomendações de ROSTAGNO et al. (2005), exceto lisina.

Tabela 6 – Composição da mistura de aminoácidos utilizado no ensaio 3.

Aminoácido cristalino	(mg)
DL- metionina (99%)	135,9
L-cistina (99%)	110,2
L-treonina (99%)	227,4
L-triptofano (99%)	68,0
L- arginina (99%)	328,2
L- valina (99%)	297,7
L-isoleucina (99%)	255,5
L-leucina (99%)	363,3
L-fenilalanina (99%)	192,2
L-histidina (99%)	72,7
L-tirosina (99%)	166,4
L-glicina (99%)	351,6
Total	2.569,1

Para compor as dietas, essa mistura foi suplementada com L-Lisina HCl (78,5%) (0; 58; 118; 177 e 236mg), sendo posteriormente adicionado sacarose em quantidades suficientes para completar 20g de alimento, que foi fornecido diariamente por quatro dias (Tabela 7).

A digestibilidade verdadeira dos aminoácidos cristalinos foi considerada 100%, de acordo com HAN & BAKER (1994). As aves tiveram livre acesso à dieta isenta de nitrogênio durante todo período experimental, sendo quantificado seu consumo. A coleta de excreta foi realizada por meio de sacolas plásticas fixadas na região pélvica das aves, conforme descrito por SAKOMURA & ROSTAGNO (2007). As sacolas foram substituídas a cada intervalo de 12h durante o período de coleta (72h), obtendo-se seis sacolas por parcela experimental no final do ensaio. As excretas produzidas por cada ave durante o período de coleta foram identificadas e congeladas (-20°C) para análises posteriores.

Tabela 7. Composição nutricional dos tratamentos utilizados no ensaio 3.

Composição (g)	Nível de lisina digestível (%)				
	0,000	0,232	0,464	0,696	0,928
Mistura de aminoácidos	2,569	2,569	2,569	2,569	2,569
L-Lisina HCl (78,5%)	0,0	0,058	0,118	0,177	0,236
Sacarose	17,431	17,373	17,313	17,254	17,195
Total	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Composição nutricional					
Proteína bruta (%)	11,88 (11,05) ⁽¹⁾	12,13 (11,84)	12,39 (12,17)	12,64 (12,36)	12,89 (12,52)
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.859	3.859	3.859	3.859	3.859
Lisina dig. (%)	0,000	0,232	0,464	0,696	0,928
Metionina+cistina dig. (%)	1,218	1,218	1,218	1,218	1,218
Metionina dig. (%)	0,673	0,673	0,673	0,673	0,673
Triptofano dig. (%)	0,336	0,336	0,336	0,336	0,336
Treonina dig. (%)	1,125	1,125	1,125	1,125	1,125
Arginina dig. (%)	1,624	1,624	1,624	1,624	1,624
Valina dig. (%)	1,474	1,474	1,474	1,474	1,474
Fenilalanina dig. (%)	0,951	0,951	0,951	0,951	0,951
Isoleucina dig. (%)	1,265	1,265	1,265	1,265	1,265
Leucina dig. (%)	1,798	1,798	1,798	1,798	1,798
Histidina dig. (%)	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360
Tirosina dig. (%)	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824
Glicina dig. (%)	1,740	1,740	1,740	1,740	1,740

⁽¹⁾ Os números entre parênteses referem-se à composição analisada (N*6,25).

Ensaio 4 e 5

Os períodos de adaptação às dietas e de coleta de excretas foram conforme descrição para o ensaio 1. Tendo em vista a variação no consumo das dietas experimentais durante o ensaio 1, os ensaios 4 e 5 foram realizados utilizando-se as mesmas dietas do ensaio 2 (Tabelas 3 e 4), fornecidas diretamente no comedouro em quantidades equivalentes a 20g/kg^{0,75}/dia. Esse procedimento possibilitou que os galos ISA Label (ensaio 4) e Cobb 500 (ensaio 5) consumissem todo o alimento ofertado, contribuindo para a redução do erro experimental. As concentrações de proteína bruta analisadas nas dietas experimentais utilizadas nos ensaios 4 e 5 estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Concentrações de proteína bruta⁽¹⁾ (%) analisadas nas dietas experimentais utilizadas nos ensaios 4 e 5.

Lisina digestível (%)	Ensaio de metabolismo	
	4	5
0,093	8,09	8,34
0,186	8,49	8,45
0,278	8,23	8,28
0,371	8,66	8,36
0,464	8,36	8,48

⁽¹⁾N*6,25.

Visando reduzir as variações individuais, o número de animais experimentais foi duplicado, utilizando-se duas aves com pesos semelhantes para compor cada parcela.

A coleta das excretas foi realizada por meio de bandejas revestidas por lona plástica, utilizando-se os mesmos procedimentos descritos no ensaio 1. As excretas produzidas por cada unidade experimental durante o período de coleta foram acondicionadas em sacolas plásticas devidamente identificadas e congeladas (-20°C) para análises posteriores.

Preparo das Amostras e Análises Laboratoriais

As excretas produzidas por cada unidade experimental, em cada ensaio de metabolismo, foram descongeladas em temperatura ambiente, pesadas e homogeneizadas com o uso de um liquidificador doméstico (RI2008, Walita®) adicionando-se um volume conhecido de água destilada para obter uma consistência adequada, quando necessário, conforme descrito por BURNHAM & GOUS (1992). Nesse caso, o peso correspondente ao volume de água destilada adicionado foi somado ao total de excretas produzidas pela parcela.

Do total de excretas referente a cada parcela, retiraram-se alíquotas, que foram acondicionadas em placas de Petri descartáveis, pesadas e congeladas novamente (-20°C), até a pré-secagem. Para a obtenção da matéria pré-seca as amostras foram liofilizadas por 72h (-50°C; -80kPa) (VLP20, Thermo®) e pesadas novamente, sendo na sequência, processadas em moinho de bola (MA-350, Marconi®) por 2min. As dietas

experimentais foram processadas da mesma forma, sendo encaminhadas ao laboratório, juntamente com as excretas, para determinação dos teores de matéria seca e nitrogênio total.

A secagem definitiva das dietas e das excretas foi realizada em estufa (Químis®) a 105°C durante 4h. Para a determinação do teor de nitrogênio total das amostras utilizou-se o método de Kjeldahl (AOAC, 1995).

Determinação do Balanço de Nitrogênio e Exigências de Manutenção

Em todos os ensaios o balanço de nitrogênio foi determinado pela diferença entre a ingestão ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) e a excreção de nitrogênio ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) das aves submetidas à ingestões crescentes de lisina digestível. A exigência de lisina para a manutenção das aves foi considerada como sendo a quantidade de lisina digestível ingerida ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) capaz de proporcionar balanço de nitrogênio igual a zero, conforme descrito por SAKOMURA & ROSTAGNO (2007).

Para determinar as exigências de manutenção em função do peso de proteína corporal, no final de cada ensaio foram abatidos 2 galos, que foram processados, e posteriormente quantificados os teores de proteína bruta corporal (AOAC, 1995). Utilizou-se a equação proposta por EMMANS & FISHER (1986): $PM = 0,008.PB_m^{0,73}.u$; onde PM é a exigência de proteína para a manutenção (g/dia), 0,008 é uma constante (kg de proteína ideal/ unidade de manutenção; $P_m^{0,73}.u$) definida com base na pressuposição que as aves exigem 8 g de uma proteína com composição adequada para suprir as necessidades de manutenção, PB_m é o peso de proteína à maturidade (kg) e u é o grau de maturidade da proteína corporal no tempo t ($u = PB_t / PB_m$), em que $u = 1$ para aves adultas ou $u < 1$ para aves em crescimento. Desse modo, as exigências diárias de lisina para manutenção também foram expressas como $\text{mg}/ PB_m^{0,73}.u)/\text{dia}$.

Análises Estatísticas

Os dados de cada ensaio foram submetidos à análises de regressão, considerando-se o consumo de lisina digestível ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) como variável independente (CLys) e o balanço de nitrogênio ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) como dependente (BN), segundo o modelo: $\text{BN} = \beta_0 + \beta_1 \text{CLys} + \varepsilon$; onde, β_0 e β_1 são os parâmetros da regressão e ε é o erro aleatório. Para verificar o ajuste das equações considerou-se o nível de significância do teste “F” sob as hipóteses $H_0: \beta_1 = 0$ e $H_1: \beta_1 \neq 0$. As exigências de lisina para a manutenção foram obtidas utilizando-se a expressão: $\text{CLys} = \beta_0 / \beta_1$.

Para comparar as respostas dos diferentes genótipos, os dados de balanço de nitrogênio obtidos nos ensaios 1 (Leghorn), 4 (ISA Label) e 5 (Cobb 500) foram analisados por teste de paralelismo, utilizando-se como variável classificatória o genótipo (G) e como co-variável o consumo de lisina digestível (CLys), segundo o modelo descrito por KAPS & LAMBERSON (2004): $\text{BN}_{ij} = \beta_0 + G_i + \beta_1 \text{CLys}_{ij} + \sum_i \beta_{2i} (G * \text{CLys})_{ij} + \varepsilon_{ij}$; onde, BN_{ij} é o balanço de nitrogênio correspondente à observação j do genótipo i; G_i é o efeito do genótipo; β_0 , β_1 e β_{2i} são os parâmetros da regressão; $(G * \text{CLys})_{ij}$ é o efeito da interação entre a variável classificatória e a co-variável e ε_{ij} é o erro aleatório associado a observação j do genótipo i. Nesse caso, as hipóteses testadas foram:

- a) $H_0: G_i = 0$ para todo i, não existe efeito de genótipo.
 $H_1: G_i \neq 0$ para pelo menos um i; existe efeito de genótipo.
- b) $H_0: \beta_1 = 0$, a inclinação geral é igual à zero, não existe regressão.
 $H_1: \beta_1 \neq 0$, a inclinação geral difere de zero, existe uma regressão.
- c) $H_0: \beta_{2i} = 0$, a inclinação do genótipo i não difere da inclinação média.
 $H_1: \beta_{2i} \neq 0$, a inclinação do genótipo i difere da inclinação média.

As análises estatísticas foram realizadas considerando-se um nível de significância de até 5% por meio do procedimento GLM do *software* SAS 9.0 (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As exigências de lisina para a manutenção (Lys_m) de aves sexualmente maduras vêm sendo estudadas há décadas (LEVILLE & FISHER, 1959 a,b; LEVEILLE &

FISHER, 1960; LEVEILLE, et al., 1960; SAKOMURA & COON, 2003; NONIS & GOUS, 2008), entretanto, os resultados são conflitantes, sendo esse cenário atribuído à utilização de diferentes métodos experimentais e à diferentes formas de interpretação dos resultados. Nesse contexto, os três primeiros ensaios de metabolismo (1, 2 e 3) foram conduzidos utilizando-se diferentes métodos, visando identificar aquele mais apropriado para estimar a Lys_m de galos sexualmente maduros. Posteriormente, foram conduzidos os ensaios 4 e 5 utilizando-se o método definido anteriormente, fazendo-se adaptações que objetivaram reduzir as variações experimentais.

Os pesos médios iniciais, finais e a variação de peso dos galos durante os períodos de coleta estão apresentados na Tabela 9. A variação no peso corporal das aves durante os períodos de coleta foi semelhante às aquelas observadas nos estudos de LEVEILLE & FISHER (1959a) e LEVEILLE & FISHER (1959b), cujas magnitudes não excederam -4 e -7%, respectivamente. Os estudos de manutenção exigem utilização de dietas extremamente deficientes, sendo previsível que as aves percam peso. Contudo, o peso corporal não é considerado um bom indicativo de adequação das dietas experimentais, tendo em vista que essas pequenas modificações de peso podem ser facilmente atribuídas às diferenças na ingestão de água e perda de penas (LEVEILLE & FISHER, 1959a).

As médias de consumo das dietas experimentais (CD), lisina digestível (CLys) e nitrogênio (CN), excreção de nitrogênio (EN) e balanço de nitrogênio (BN) das aves durante os ensaios de metabolismo estão apresentadas na Tabela 10.

Pelo método da alimentação “ad libitum” (ensaio 1), o BN ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) aumentou de forma linear com o CLys ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) de acordo com a equação: $BN = -107,425 + 2,392 \text{ CLys}$ ($P < 0,001$; $r^2 = 0,60$). Com base nesta equação, estimou-se a Lys_m de galos Leghorn em $44,9 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$ ($107,425/2,392 = 44,9$; Figura 1), correspondendo a $37,8 \text{ mg/kg}/\text{dia}$, considerando-se o peso corporal médio de $1,99 \text{ kg}$.

Tabela 9. Pesos médios ($\pm$ erros padrão) inicial, final e variação de peso dos galos durante os ensaios de metabolismo.⁽¹⁾

Ensaio	Nível de lisina digestível (%)	Peso Corporal (kg)		Variação ⁽²⁾ (%)
		Inicial	Final	
1	0,036	1,94 $\pm$ 0,06	1,91 $\pm$ 0,06	-1,90 $\pm$ 0,59
	0,071	2,02 $\pm$ 0,16	2,00 $\pm$ 0,15	-1,23 $\pm$ 0,73
	0,107	1,91 $\pm$ 0,06	1,88 $\pm$ 0,06	-1,54 $\pm$ 0,28
	0,143	2,03 $\pm$ 0,06	2,01 $\pm$ 0,06	-1,03 $\pm$ 0,44
	0,179	2,06 $\pm$ 0,09	2,05 $\pm$ 0,09	0,48 $\pm$ 0,46
2	0,093	2,03 $\pm$ 0,06	-----	-----
	0,186	2,10 $\pm$ 0,07	-----	-----
	0,278	1,95 $\pm$ 0,06	-----	-----
	0,371	2,05 $\pm$ 0,06	-----	-----
	0,464	2,04 $\pm$ 0,05	-----	-----
3	0,000	4,34 $\pm$ 0,05	4,26 $\pm$ 0,05	-1,88 $\pm$ 0,25
	0,232	4,50 $\pm$ 0,07	4,40 $\pm$ 0,08	-2,27 $\pm$ 0,45
	0,464	4,25 $\pm$ 0,16	4,17 $\pm$ 0,15	-1,94 $\pm$ 0,21
	0,696	4,44 $\pm$ 0,11	4,31 $\pm$ 0,10	-2,94 $\pm$ 0,43
	0,928	4,49 $\pm$ 0,13	4,39 $\pm$ 0,13	-2,12 $\pm$ 0,13
4	0,093	4,28 $\pm$ 0,06	4,19 $\pm$ 0,06	-1,95 $\pm$ 0,48
	0,186	4,31 $\pm$ 0,07	4,21 $\pm$ 0,08	-2,34 $\pm$ 0,42
	0,278	4,32 $\pm$ 0,07	4,27 $\pm$ 0,05	-1,15 $\pm$ 0,16
	0,371	4,35 $\pm$ 0,07	4,32 $\pm$ 0,07	-0,69 $\pm$ 0,34
	0,464	4,40 $\pm$ 0,06	4,36 $\pm$ 0,07	-1,06 $\pm$ 0,40
5	0,093	5,40 $\pm$ 0,31	5,16 $\pm$ 0,31	-4,53 $\pm$ 0,58
	0,186	5,12 $\pm$ 0,07	4,92 $\pm$ 0,08	-3,82 $\pm$ 0,89
	0,278	4,94 $\pm$ 0,08	4,75 $\pm$ 0,09	-3,97 $\pm$ 0,20
	0,371	5,16 $\pm$ 0,12	4,97 $\pm$ 0,11	-3,54 $\pm$ 0,44
	0,464	4,93 $\pm$ 0,19	4,74 $\pm$ 0,18	-3,65 $\pm$ 0,27

⁽¹⁾ Os valores apresentados nos ensaios 1, 2 e 3 correspondem à médias ($\pm$ erros padrão) de seis aves, enquanto os apresentados nos ensaios 4 e 5 correspondem à médias ($\pm$ erros padrão) de 12 aves. ⁽²⁾ (Peso final – Peso inicial) / Peso inicial * 100.

Tabela 10. Médias ($\pm$ erros padrão) de consumo das dietas (CD), de lisina digestível (CLys) e de nitrogênio (CN), excreção de nitrogênio (EN) e balanço de nitrogênio (BN) das aves durante os ensaios de metabolismo.

Ensaio	Lisina	CD		CLys	CN	EN	BN
	digestível (%)	(g/ave/dia)	(g/kg ^{0,75} /dia)		(mg/kg ^{0,75} /dia)		
1	0,036	46,5 $\pm$ 2,0	28,6 $\pm$ 1,8	10,3 $\pm$ 0,6	239,0 $\pm$ 15,1	323,4 $\pm$ 14,1	-84,3 $\pm$ 12,2
	0,071	56,4 $\pm$ 7,6	32,7 $\pm$ 3,9	23,2 $\pm$ 2,8	276,1 $\pm$ 32,8	306,2 $\pm$ 53,3	-30,1 $\pm$ 24,3
	0,107	61,6 $\pm$ 3,4	39,0 $\pm$ 2,3	41,7 $\pm$ 2,5	311,8 $\pm$ 7,1	352,3 $\pm$ 36,4	-40,6 $\pm$ 35,9
	0,143	75,3 $\pm$ 3,4	44,5 $\pm$ 1,5	63,6 $\pm$ 2,2	378,0 $\pm$ 12,9	328,7 $\pm$ 27,0	49,3 $\pm$ 22,0
	0,179	76,8 $\pm$ 1,8	44,8 $\pm$ 1,3	80,3 $\pm$ 2,4	388,5 $\pm$ 11,7	298,4 $\pm$ 18,0	90,1 $\pm$ 21,5
2 ⁽¹⁾	0,093	45,9 $\pm$ 1,0	27,0 $\pm$ 0,0	25,11 $\pm$ 0,0	359,3 $\pm$ 0,0	1193,4 $\pm$ 111,6	-834,1 $\pm$ 111
	0,186	47,1 $\pm$ 1,2	27,0 $\pm$ 0,0	50,22 $\pm$ 0,0	351,0 $\pm$ 0,0	1099,6 $\pm$ 164,3	-748,6 $\pm$ 164
	0,278	44,5 $\pm$ 1,0	27,0 $\pm$ 0,0	75,06 $\pm$ 0,0	365,5 $\pm$ 0,0	1149,7 $\pm$ 62,5	-784,2 $\pm$ 62
	0,371	46,3 $\pm$ 1,0	27,0 $\pm$ 0,0	100,17 $\pm$ 0,0	367,1 $\pm$ 0,0	888,8 $\pm$ 57,2	-521,7 $\pm$ 57
	0,464	46,0 $\pm$ 0,8	27,0 $\pm$ 0,0	125,28 $\pm$ 0,0	352,4 $\pm$ 0,0	1239,3 $\pm$ 208,4	-886,9 $\pm$ 208
3 ⁽²⁾	0,000	66,3 $\pm$ 7,5	6,5 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0	146,1 $\pm$ 4,9	127,9 $\pm$ 34,9	18,1 $\pm$ 31,5
	0,232	70,8 $\pm$ 8,8	6,5 $\pm$ 0,0	15,1 $\pm$ 0,0	155,9 $\pm$ 4,8	136,5 $\pm$ 16,0	19,4 $\pm$ 16,6
	0,464	72,4 $\pm$ 4,9	6,5 $\pm$ 0,0	30,2 $\pm$ 0,0	162,4 $\pm$ 2,7	180,8 $\pm$ 26,7	-18,4 $\pm$ 24,8
	0,696	57,7 $\pm$ 6,8	6,5 $\pm$ 0,0	45,3 $\pm$ 0,0	153,5 $\pm$ 4,9	183,5 $\pm$ 10,0	-30,0 $\pm$ 13,5
	0,928	58,4 $\pm$ 4,0	6,5 $\pm$ 0,0	60,3 $\pm$ 0,0	155,0 $\pm$ 2,0	142,1 $\pm$ 14,7	12,9 $\pm$ 12,9
4	0,093	59,9 $\pm$ 0,6	20,1 $\pm$ 0,0	18,7 $\pm$ 0,0	260,8 $\pm$ 0,6	330,6 $\pm$ 14,5	-69,9 $\pm$ 14,7
	0,186	60,3 $\pm$ 0,7	20,2 $\pm$ 0,0	37,5 $\pm$ 0,0	273,9 $\pm$ 0,2	288,9 $\pm$ 29,4	-15,1 $\pm$ 29,4
	0,278	60,3 $\pm$ 0,6	20,1 $\pm$ 0,0	55,9 $\pm$ 0,1	265,0 $\pm$ 0,3	244,8 $\pm$ 18,8	20,2 $\pm$ 18,7
	0,371	60,5 $\pm$ 0,7	20,1 $\pm$ 0,0	74,5 $\pm$ 0,1	278,3 $\pm$ 0,2	185,1 $\pm$ 20,3	93,2 $\pm$ 20,1
	0,464	61,1 $\pm$ 0,6	20,1 $\pm$ 0,0	93,2 $\pm$ 0,1	268,7 $\pm$ 0,2	139,1 $\pm$ 4,5	129,5 $\pm$ 4,4
5	0,093	70,4 $\pm$ 3,1	19,9 $\pm$ 0,0	18,5 $\pm$ 0,0	262,8 $\pm$ 0,5	387,9 $\pm$ 20,1	-125,1 $\pm$ 20,1
	0,186	67,4 $\pm$ 0,7	19,8 $\pm$ 0,1	36,9 $\pm$ 0,2	267,6 $\pm$ 1,4	294,6 $\pm$ 20,5	-27,1 $\pm$ 19,9
	0,278	65,9 $\pm$ 0,8	19,9 $\pm$ 0,0	55,3 $\pm$ 0,1	264,6 $\pm$ 0,3	182,8 $\pm$ 14,8	81,8 $\pm$ 14,7
	0,371	68,3 $\pm$ 1,2	20,0 $\pm$ 0,0	74,1 $\pm$ 0,1	267,5 $\pm$ 0,4	152,7 $\pm$ 16,4	114,8 $\pm$ 16,8
	0,464	65,9 $\pm$ 1,9	19,9 $\pm$ 0,0	92,6 $\pm$ 0,1	271,3 $\pm$ 0,3	190,1 $\pm$ 11,1	81,2 $\pm$ 10,9

⁽¹⁾Dados referentes ao período de 56h.

⁽²⁾Dados de CD (g/ave/dia) e CN (mg/kg^{0,75}/dia) referentes às dietas teste + dieta isenta de nitrogênio.

No ensaio 2, o BN não foi influenciado ($P>0,05$) pelo CLys, o que impossibilitou o ajuste da equação, inviabilizando a estimacão da Lys_m . Desse modo, o método de SIBBALD (1976) mostrou-se inadequado uma vez que as aves permaneceram em BN negativo independente do CLys (Figura 2).

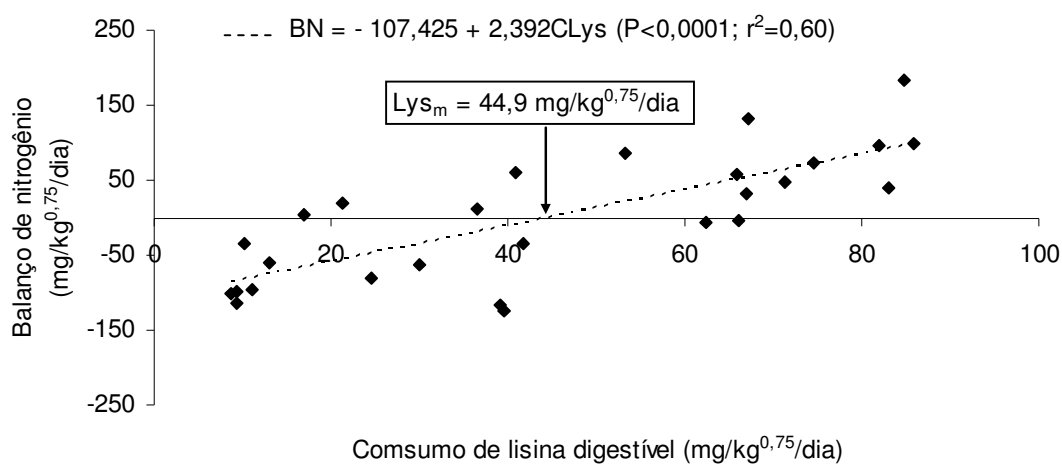


Figura 1. Representação gráfica da exigência de lisina digestível para a manutenção (Lys_m) determinada com galos Leghorn no ensaio 1.

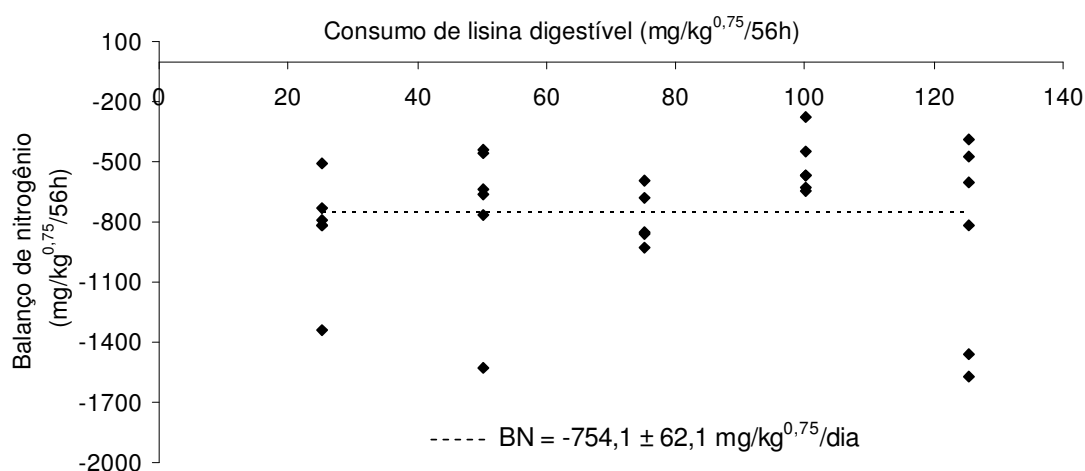


Figura 2. Balanço de nitrogênio de galos Leghorn determinado no ensaio 2.

Esse resultado pode ser explicado partindo-se do pressuposto que o método foi originalmente desenvolvido para determinar o conteúdo de energia dos alimentos, preconizando que as excretas produzidas sejam coletadas por 48h após a última

alimentação. Tendo em vista que as aves permaneceram em jejum alimentar durante o período de coleta, é possível inferir que a mobilização de reservas corporais para suprir as necessidades de energia para a manutenção, seja responsável pela grande exceção de nitrogênio, resultando em BN negativo ($-754,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$).

Apesar de ter sido utilizado com sucesso por BURNHAM & GOUS (1992), e recentemente por NONIS & GOUS (2008), o método da alimentação precisa associado ao fornecimento “ad libitum” de dieta isenta de nitrogênio (ensaio 3) não produziu resultados satisfatórios nas condições do presente estudo. O BN das aves não foi influenciado ($P>0,05$) pelo CLys, o que também inviabilizou a estimação da Lys_m (Figura 3).

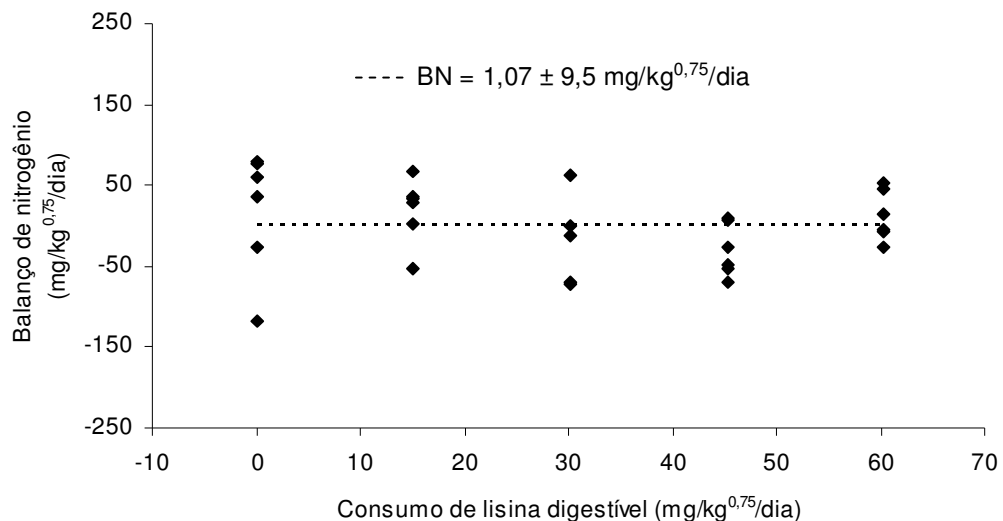


Figura 3. Balanço de nitrogênio de galos ISA Label determinado no ensaio 3.

É necessário enfatizar que em seus estudos, NONIS & GOUS (2008) utilizaram dietas experimentais compostas por glúten de milho 60 e DL-triptofano. Tendo em vista as deficiências relativas de lisina e triptofano no glúten 60, sua utilização torna-se compressível, uma vez que a deficiência de triptofano foi corrigida com a suplementação de uma fonte cristalina. De acordo com LEVEILLE & FISHER (1959a), na presença de número reduzido de aminoácidos, é possível que àqueles considerados não essenciais, como no caso do ácido glutâmico, tenham exigências definidas. Nesse

contexto, é possível que as dietas experimentais, à base de apenas 12 aminoácidos cristalinos, não tenham fornecido quantidades suficientes de aminoácidos não essenciais, comprometendo a viabilidade do método utilizado no ensaio 3.

O método da alimentação “ad libitum” (ensaio 1) mostrou-se mais adequado em relação ao método de SIBBALD (1976) (ensaio 2) e ao método adaptado de GOUS et al. (1984) (ensaio 3), uma vez que as respostas de BN assumiram valores negativos, próximos à zero, e positivos, permitindo a estimação da Lys_m , o que não foi possível nos ensaios 2 e 3. Em virtude disso, optou-se pelo método da alimentação “ad libitum” para a condução dos ensaios 4 e 5, realizando-se entretanto, adaptações metodológicas que objetivaram reduzir as variações aleatórias.

Observou-se no ensaio 1, que as aves alimentadas com as dietas contendo 0,036; 0,071 e 0,107% de lisina digestível apresentaram reduções de CD (g/ave/dia) equivalentes à 38,2; 25,1 e 18,2%, respectivamente, em relação à dieta contendo 0,143% de lisina. Resultados semelhantes foram encontrados por LEVEILLE & FISHER (1960) e LEVEILLE et al. (1960), que atribuíram a redução do consumo ao desbalanço natural das dietas mais deficientes. De acordo com a “teoria aminostática de regulação do consumo”, relatada por GONZALES (2002), dietas com grave desbalanço de aminoácidos resultam em acentuada redução no consumo de ração. Com base nisso, é provável que o desbalanço ocasionado pela severa deficiência de lisina nessas dietas seja o principal responsável pelo menor consumo.

Outro fator de ordem prática que pode ter contribuído para a redução do CD refere-se à técnica de formulação das dietas experimentais. Para a obtenção de níveis suficientemente reduzidos de lisina digestível, utilizou-se como diluente uma dieta isenta de lisina à base de amido de milho. Considerando que as proporções de diluição da dieta concentrada variaram de 79,89 a 0%, as dietas mais deficientes apresentaram maior pulverulência, o que possivelmente afetou o consumo.

As dietas experimentais utilizadas no ensaio 2, foram formuladas para serem intubadas em quantidades diárias de aproximadamente 50g/ave/dia ($27g/kg^{0,75}/dia$), sendo portanto mais concentradas, e conseqüentemente menos pulverulentas, em relação as dietas utilizadas no ensaio 1. Com base nisso, formulou-se a hipótese que

as dietas utilizadas no ensaio 2, fornecidas de maneira controlada pelo peso corporal ($20\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$), poderia possibilitar a ingestão de todo alimento ofertado, contribuindo para reduzir as variações de consumo observadas entre tratamentos e repetições de um mesmo tratamento. Assim, as composições das dietas experimentais utilizadas nos ensaios 4 e 5 foram idênticas àsquelas utilizadas no ensaio 2, sendo fornecidas nos comedouros. Outra medida adotada nos ensaios 4 e 5 foi a duplicação do número de animais experimentais, utilizando-se dois galos com pesos semelhantes (variação máxima de 5%) para compor cada parcela.

No ensaio 4, realizado com galos ISA Label, o BN ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) aumentou de forma linear com o CLys ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) de acordo com a equação: $\text{BN} = -120,947 + 2,725 \text{ CLys}$ ($P < 0,001$; $r^2 = 0,74$), estimando-se a Lys_m em $44,4 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$ ($120,947/2,725 = 44,4$; Figura 4).

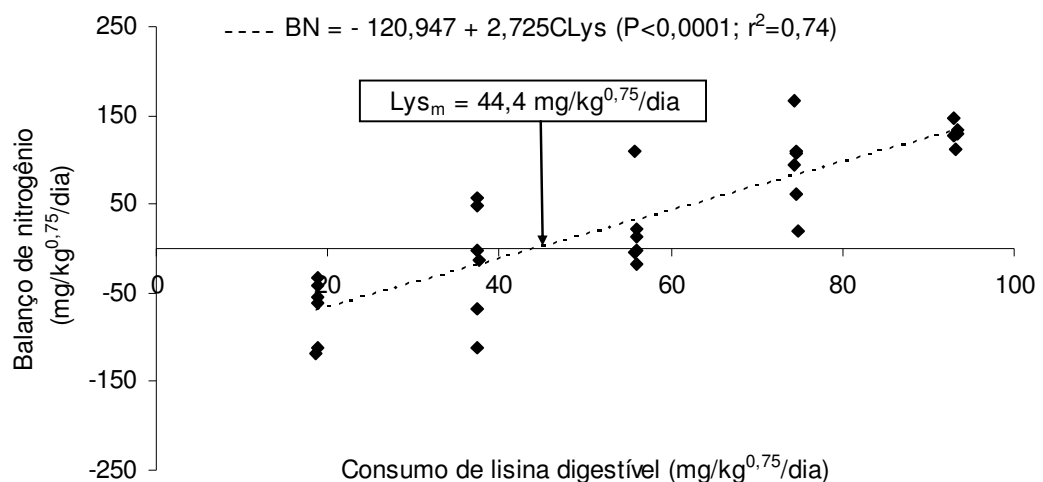


Figura 4. Representação gráfica da exigência de lisina digestível para a manutenção (Lys_m) determinada com galos ISA Label no ensaio 4.

De forma semelhante, o BN ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) dos galos Cobb 500, utilizados no ensaio 5, aumentou linearmente com o CLys ($\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$), segundo a equação: $\text{BN} = -140,547 + 2,987 \text{ CLys}$ ($P < 0,001$; $r^2 = 0,66$), estimando-se a Lys_m em $47,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$ ($140,547/2,987 = 47,1$; Figura 5). Considerando o peso corporal médio dos galos ISA

Label de 4,33 kg (ensaio 4), e 5,11 kg para os galos Cobb 500 (ensaio 5), as estimativas de Lys_m foram equivalentes a 30,8 e 31,3 mg/kg/dia, respectivamente.

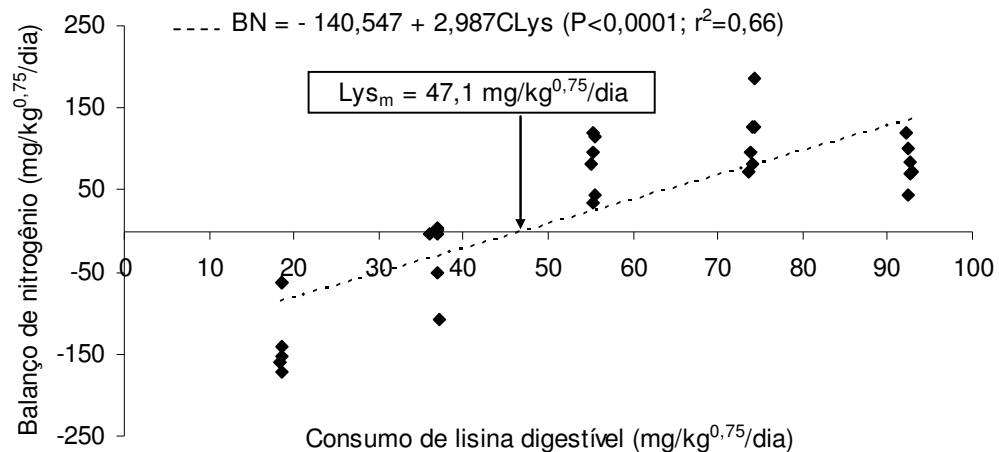


Figura 5. Representação gráfica da exigência de lisina digestível para a manutenção (Lys_m) determinada com galos Cobb 500 no ensaio 5.

Os resultados dos ensaios 4 e 5 confirmaram a viabilidade do método e evidenciaram que as medidas adotadas para reduzir o erro experimental foram eficazes, o que pode ser confirmado pelos menores erros padrão (Tabela 10) e pelos maiores coeficientes de determinação (r^2), em relação ao ensaio 1 (Figuras 1, 4 e 5).

A similaridade das respostas de BN e das estimativas das exigências, obtidas para os galos Leghorn (ensaio 1), ISA Label (ensaio 4) e Cobb 500 (ensaio 5), sugeriu a possibilidade de apenas uma equação para descrever as respostas de BN, sendo realizado um teste de paralelismo para comparar os parâmetros (β_0 e β_1) das equações de cada genótipo (KAPS & LAMBERSON, 2004). A ausência de diferenças ($P > 0,05$) entre os parâmetros comprovou que apenas uma equação foi suficiente para descrever as respostas de BN das aves, independente do genótipo, sendo definida como: $BN = -122,163 + 2,706 CLys$ ($P < 0,001$; $r^2 = 0,67$). Com base nessa equação estimou-se a Lys_m de 45,1 mg/kg^{0,75}/dia (Figura 6), equivalendo à 32,3 mg/kg/dia, para galos Leghorn, ISA Label ou Cobb 500. Estes valores foram superiores àqueles obtidos por

LEVEILLE & FISHER (1959) com galos Leghorn (36mg/kg^{0,75}/dia; 29mg/kg/dia), sendo semelhantes aos obtidos por NONIS & GOUS (2008) (46,5 mg/kg^{0,75}/dia; 37 mg/kg/dia), com galos de linhagens de postura.

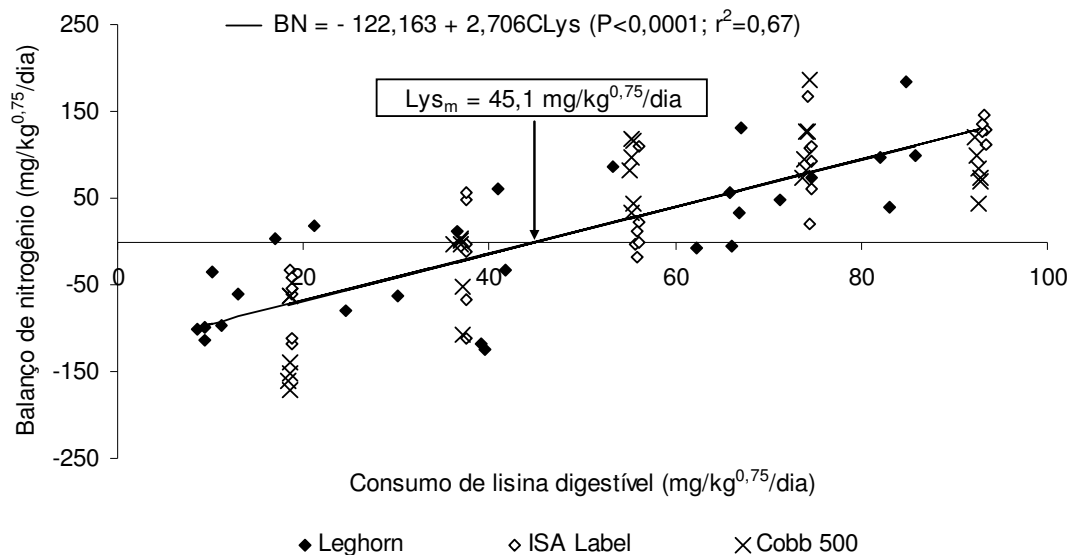


Figura 6. Representação gráfica da exigência de lisina digestível para a manutenção (Lys_m) de aves de diferentes genótipos.

Sob o ponto de vista metodológico, constatou-se que o fornecimento de alimentação controlada pelo peso metabólico das aves possibilitou a ingestão de todo alimento ofertado, mostrando-se um método apropriado para determinar a Lys_m em ensaios de metabolismo com galos adultos, não existindo evidências para sustentar que o método proposto por GOUS et al. (1984) apresenta vantagens, conforme relatado por BURNHAM & GOUS (1992). De um modo geral, os resultados do presente estudo concordaram com àqueles obtidos por NONIS & GOUS (2008) o que sugere a equivalência entre os métodos.

Evidenciou-se que a Lys_m não variou entre as aves de diferentes genótipos e pesos corporais quando foi estabelecida com base no peso corporal das aves. Contudo, o grau de associação entre a Lys_m e o peso corporal pode ser questionado, em virtude de não existir demanda de aminoácidos para a manutenção das reservas lipídicas (EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; GOUS, 2007), que podem

variar consideravelmente, mesmo entre indivíduos com pesos corporais semelhantes (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; NONIS & GOUS, 2008). Nesse sentido, para que comparações mais refinadas entre indivíduos de diferentes pesos e composições corporais seja possível, é necessário que as exigências de aminoácidos para a manutenção sejam estabelecidas de modo que as diferenças no conteúdo de lipídios corporal sejam isoladas.

Com esse propósito, EMMANS & FISHER (1986), baseando-se nos estudos de BRODY (1945) e TAYLOR & YOUNG (1968), relacionaram as exigências de proteína para a manutenção (PM; g/dia) com o peso de proteína corporal à maturidade (PB_m ; kg), e com o grau de maturidade da proteína corporal ($u = PB_t / PB_m$), por meio da equação: $PM = 0,008 \cdot PB_m^{0,73} \cdot u$; sendo $u = 1$ no presente estudo, por se tratarem de galos sexualmente maduros ($PB_t = PB_m$). Desse modo, as estimativas das exigências de aminoácidos para a manutenção foram expressas como $mg / PB_m^{0,73} \cdot u / dia$, evitando os problemas inerentes às diferenças de composição corporal.

Para demonstrar a aplicação da equação proposta por EMMANS & FISHER (1986), foram utilizados os dados obtidos no ensaio 1 (Leghorn), sendo os cálculos para os demais ensaios realizados da mesma forma. Considerando a estimativa da Lys_m de 44,9 mg/kg^{0,75}/dia, e o peso corporal médio de 1,99 kg, os galos Leghorn exigiram para a manutenção, em média, 75,2 mg de lisina digestível por dia ($44,9 \cdot 1,99^{0,75} = 75,2$). A concentração de proteína corporal foi determinada em 16% (MN), resultando em um PB_m de 0,318 kg ($1,99 \cdot 16 / 100 = 0,318$). Por se tratarem de aves adultas ($u = PB_t / PB_m = 1$), a Lys_m correspondeu à 173,6 mg/ $PB_m^{0,73} \cdot u / dia$ ($75,2 / 0,318^{0,73} \cdot 1 = 173,6$). EMMANS & FISHER (1986) assumem que as aves necessitam de 8g de proteína cuja composição é ideal para manutenção / unidade ($PB_m^{0,73} \cdot u$)/dia. Com base nisso, a concentração de lisina na proteína ideal de manutenção de galos Leghorn foi estimada em aproximadamente 22g/kg ($173,6 / 8 = 21,6$), concordando com a estimativa de 23g/kg obtida por NONIS & GOUS (2008). Estes resultados sugerem que a proporção de lisina presente na proteína para a manutenção difere acentuadamente daquela presente na proteína para deposição, estimada em 75 g/kg (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; SKLAN & NOY, 2004).

As estimativas da Lys_m obtidas nos ensaios 1, 4 e 5, expressas por diferentes unidades, estão apresentadas na Tabela 11, juntamente com àquelas obtidas por LEVEILLE & FISHER (1959) e NONIS & GOUS (2008).

Tabela 11. Exigências de lisina digestível para manutenção (Lys_m), expressas por diferentes unidades, obtidas em diferentes estudos com galos sexualmente maduros.

Estudo	P_m (kg)	PB_m (kg)	Lys_m (mg/unidade/dia)				PIM (g/kg)
			Ave	kg	$Kg^{0,75}$	$PB_m^{0,73}.u$	
Ensaio 1 (Leghorn) ⁽¹⁾	1,99	0,318	75,2	37,8	44,9	173,6	22
Ensaio 4 (ISA Label) ⁽²⁾	4,33	0,753	133,3	30,8	44,4	164,0	21
Ensaio 5 (Cobb 500) ⁽³⁾	5,11	1,191	160,1	31,3	47,1	140,9	18
Ensaio 1, 4 e 5 ⁽⁴⁾	3,81	0,754	123,0	32,3	45,1	151,2	19
LEVEILLE & FISHER (1959) ⁽¹⁾	2,38	0,381	69,0	29,0	36,0	139,6	18
NONIS & GOUS (2008) ⁽¹⁾	2,50	0,400	92,5	37,0	46,5	182,0	23

P_m = peso corporal à maturidade; PB_m = peso de proteína corporal à maturidade; $u = PB_i/PB_m = 1$; PIM = concentração de lisina na proteína ideal para a manutenção; ^(1, 2, 3, 4) Assumindo concentrações de proteína bruta (MN) de 16,0; 17,4; 23,3 e 19,8%, respectivamente.

Apesar de não terem diferido ($P > 0,05$) entre as linhagens, quando estabelecidas com base no peso metabólico ($mg/kg^{0,75}/dia$), foi possível observar que as estimativas de Lys_m divergiram quando foram expressas em relação ao conteúdo de proteína corporal, equivalendo à 173,6; 164,0 e 140,9 $mg/PB_m^{0,73}.u/dia$, respectivamente, para galos Leghorn, ISA Label e Cobb 500.

Vale salientar que a Lys_m ($mg/PB_m^{0,73}.u/dia$) estimada para galos Cobb 500 foi 14% inferior em relação aos galos ISA Label e 19% inferior em relação aos galos Leghorn, enquanto as recomendações para galos Leghorn e ISA Label variaram apenas 5%, entre si. Partindo-se do pressuposto que não existe demanda de aminoácidos para a manutenção das reservas lipídicas (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; GOUS, 2007; NONIS & GOUS, 2008), e considerando que em aves de corte adultas (Cobb 500) essas reservas podem representar grandes proporções do peso corporal em relação às aves de crescimento lento (Leghorn e ISA Label), os resultados apresentaram-se coerentes,

evidenciando que a expressão da Lys_m com base no conteúdo de proteína corporal pode isolar diferenças que não são detectadas quando as recomendações são estabelecidas com base no peso corporal das aves.

A expressão das exigências de lisina para a manutenção com base no conteúdo de proteína corporal ($mg/PB_m^{0,73} \cdot u/dia$), conforme proposto por EMMANS & FISHER (1986), possibilitou comparações mais refinadas entre aves de diferentes genótipos e pesos corporais utilizadas nos diferentes estudos. No que se refere à proporção de lisina presente na proteína ideal para a manutenção (PIM), os resultados dos diferentes estudos são concordantes, variando de 18 a 23 g/kg, confirmando que a composição da PIM difere acentuadamente da composição da proteína presente no corpo, estimada em 75 g/kg de lisina (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; SKLAN & NOY, 2004).

É importante realçar que o estabelecimento das exigências em termos de unidades de manutenção ($PB_m^{0,73} \cdot u$) possibilita que as recomendações sejam extrapoladas com maior segurança para aves de diferentes idades, por levar em consideração o grau de maturidade da proteína corporal ($u = PB_i/PB_m$), que varia sistematicamente com o avançar da idade.

CONCLUSÕES

Ensaio de metabolismo com fornecimento de alimentação controlada pelo peso metabólico podem ser utilizados satisfatoriamente para determinar as exigências de lisina para a manutenção.

A exigência de lisina para a manutenção não variou entre aves de diferentes genótipos e composições corporais, quando foi estabelecida com base no peso metabólico, sendo estimada em $45,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/dia$ ($32,3 \text{ mg/kg}/dia$). Entretanto, quando foram estabelecidas com base no conteúdo de proteína corporal à maturidade e no grau de maturidade da proteína corporal, as recomendações variaram, especialmente entre as aves de crescimento lento e acelerado, sendo estimadas em 173,6; 164,0 e $140,9 \text{ mg/PB}_m^{0,73} \cdot u/dia$, para galos Leghorn, ISA Label e Cobb 500, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. 16th.ed. Washington, DC, AOAC, 1995. 2000p.
- BROWN, J.; FIRMAN, J.D.; SUN, S.S.; KAMYAB, A. Digestible lysine requirements for maintenance in the starting turkey. **International Journal of Poultry Science**, v.5, p.740-743, 2006.
- BURNHAM, D.; GOUS, R. M. Isoleucine requirements of the chicken: requirement for maintenance. **British Poultry Science**, Abington, v.33, p.59-69, 1992.
- EDWARDS, H.M.; FERNANDEZ, S.R.; BAKER, D.H. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and protein in young chicks. **Poultry Science**, Savoy, v.78, p.1412-1417, 1999.
- EMMANS, G. C.; FISHER, C. Problems in nutritional theory. In: FISHER, C.; BOORMAN, K. N. **Nutrient requirements of poultry and nutritional research**. London: Ed. Butterwordths, 1986. 9-39.
- EMMANS, G. C.; OLDHAM, J.D. Modelling of growth and nutrition in different species. In: KORVER, S.; VAN ARENDONK, J.A.M. **Modelling of livestock production systems**. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 13-21.
- GONZALES, E. Ingestão de alimentos: mecanismos regulatórios In: MACARI, M.; FUNLAN, R.L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: Funep, Unesp, 2002. p. 187-199.
- GOUS, R.M.; FISHER, C.; BROADBENT, L.A. Measurement of the amino acid requirement for maintenance of adult cockerels. In: **WOLRD'S POULTRY CONGRESS, 17.**, 1984, Helsink. Proceedings...
- GOUS, R. M. Methodologies for modeling energy and amino acid responses in poultry. **Brazilian Journal of Animal Science**, v36: 263-274. 2007.

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

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

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

LEVEILLE, G. A.; SHAPIRO, R.; FISHER, H. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster IV. The requirements for methionine, cystine, phenylalanine, tyrosine and tryptophan; the adequacy of the determined requirements. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.72, p.8-15, 1960.

LEVEILLE, G.A.; FISHER, H. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster II. The requirements for glutamic acid, histidine, lysine and arginine. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.69, p.289-294, 1959a.

LEVEILLE, G.A.; FISHER, H. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster III. The requirements for leucine, isoleucine, valine and threonine, with reference also to the utilization of the d-isomers of valine, threonine and isoleucine. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.70, p.135-140, 1960.

LEVEILLE, G.A.; FISHER, H. The amino acid requirements for maintenance in the adult rooster: Nitrogen and energy requirements in normal and protein-depleted animals receiving whole egg protein and amino acid diets. **Journal of Nutrition**, Bethesda v.66, p. 442-453, 1959b.

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

OWENS, F.N.; PETTIGREW, J.E. Subdividing amino acid requirements into portions for maintenance and growth. In: FRIEDMAN, M. **Absorption and utilization of amino acids**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.1, p.15-30.

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

SAKOMURA, N. K, COON, C. Amino acid requirements for maintenance of broiler breeder pullets. In: **EUROPEAN SYMPOSIUM ON POULTRY NUTRITION, 14.**, 2003, Lillehammer. Proceedings ... p. 280-281.

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

SAS Institute. **SAS user's guide: statistics**. 5th ed. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1985.

SIBBALD, I.R. A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. **Poultry Science**, Savoy, v.55, p.303-308, 1976.

SKLAN, D.; NOY, Y. Catabolism and deposition of amino acids in growing chicks: effect of dietary supply. **Poultry Science**, Savoy, v.83, p.952-961, 2004.

CAPÍTULO 3 – TÉCNICAS DE FORMULAÇÃO DAS DIETAS E EXIGÊNCIAS DE LISINA DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO DOSE RESPOSTA

RESUMO – Os objetivos deste estudo foram comparar as técnicas de formulação, “suplementação de aminoácidos” e “diluição de dietas”, e estimar as exigências de lisina digestível de frangos de corte nas fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias), com base no método dose resposta. Em cada fase foram utilizados 1.200 frangos Cobb 500, machos, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, no arranjo fatorial 5x2 (nível de lisina x técnica de formulação), com seis repetições de 20 aves cada. A técnica da suplementação consistiu na formulação de dietas basais para atender as exigências das aves, exceto em lisina, sendo suplementadas com L-lisina HCl, obtendo-se os níveis de lisina digestível de 0,975; 1,082; 1,189; 1,296 e 1,403% na fase pré-inicial, 0,840; 0,932; 1,024; 1,116 e 1,208% na fase inicial, 0,786; 0,872; 0,958; 1,044 e 1,130% na fase de crescimento e 0,745; 0,826; 0,907; 0,989 e 1,070% na fase de terminação. A técnica da diluição consistiu na formulação de dietas com alta PB, e deficiência relativa de lisina, sendo diluída com outra isenta de PB obtendo-se níveis idênticos aos da técnica da suplementação, para cada fase. Os resultados sugeriram a superioridade da técnica da diluição, exceto na fase de crescimento, recomendando-se esta técnica para avaliar as exigências de lisina de frangos de corte. Recomendam-se níveis de lisina digestível de 1,361; 1,187; 1,073 e 0,916% em dietas para frangos machos durante as fases pré-inicial, inicial, crescimento e terminação, equivalendo aos consumos de 0,340; 0,797; 1,597 e 1,990 g/dia, respectivamente.

Palavras Chave: aminoácidos, avicultura, desempenho, diluição dietas, suplementação

FORMULATION TECHNIQUES AND LYSINE REQUIREMENTS OF BROILER CHICKENS BASED ON DOSE RESPONSE METHOD

SUMMARY - This study was carried out to compare the formulation techniques, "amino acid supplementation" and "dilution of diets", and to estimate the digestible lysine requirements of broiler chickens in the pre-starter (1 to 8 days), initial (8 to 22 days), growth (22 to 35 days) and finishing (35 to 42 days), based on dose response method. At each phase 1,200 Cobb 500 males broilers were distributed in a completely randomized design in factorial arrangement 5x2 (lysine level x formulation technique) with six replicates of 20 birds. The supplementation technique consisted in a basal diets to meet the requirements of the birds, except for lysine, being supplemented with L-lysine HCl, resulting in the digestible lysine levels of 0.975, 1.082, 1.189, 1.296 and 1.403% at the pre-initial, 0.840, 0.932, 1.024, 1.116 and 1.208% in the initial phase, 0.786, 0.872, 0.958, 1.044 and 1.130% in the growth phase and 0.745, 0.826, 0.907, 0.989 and 1.070% in the finishing phase. The dilution technique consisted in the formulation of high protein diets with relative deficiency of lysine, and diluted with protein-free diets resulting in lysine levels similar to the supplementation technique for each phase. The results showed the superiority of the dilution technique, except in the growth phase, recommending this technique to evaluate the lysine requirements of broilers. Recommended digestible lysine levels of 1.361, 1.187, 1.073 and 0.916% in diets for male broilers during the pre-starter, starter, grower and finishing, equivalent to consumption of 0.340, 0.797, 1.597 and 1.990 g / day, respectively .

Keywords: amino acids, poultry, performance, dilution diets, supplementation

INTRODUÇÃO

O método dose resposta tem sido tradicionalmente utilizado em estudos para estimar as exigências de lisina de frangos de corte. Estes estudos baseiam-se na descrição quantitativa de variáveis produtivas ou indicadores metabólicos em resposta ao aumento da concentração de lisina nas dietas, sendo a exigência, correspondente à concentração de lisina na dieta capaz de maximizar ou otimizar determinada resposta (OWENS & PETTIGREW, 1989; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

Um aspecto de grande relevância inerente aos estudos dose-resposta é a técnica de formulação das dietas experimentais. A “técnica da suplementação dos aminoácidos” é utilizada para formular dietas experimentais na grande maioria dos estudos, consistindo na adição gradativa do aminoácido teste em uma dieta basal deficiente neste aminoácido, realizada por meio da suplementação de uma fonte cristalina (D'MELLO, 1982). Contudo, esta técnica admite críticas (FISHER & MORRIS, 1970, GOUS, 1980, MOUGHAN & FULLER, 2003) principalmente pelo fato do aumento sucessivo do aminoácido limitante promover alteração no balanço dos demais aminoácidos, podendo afetar as respostas das aves.

Uma técnica alternativa de formulação de dietas experimentais foi proposta por FISHER & MORRIS (1970), denominada “técnica da diluição das dietas”. Essa técnica consiste na diluição sequencial de uma dieta com alto teor de proteína e deficiente no aminoácido teste, com outra isoenergética livre de proteína, obtendo-se as dietas com níveis intermediários do aminoácido teste. Para GOUS (1980) essa técnica é um “método melhorado” baseando-se no princípio que ela proporciona relações aminoacídicas constantes entre os tratamentos, produzindo resultados mais confiáveis que a técnica da suplementação.

Para avaliar a eficiência das técnicas, D'MELLO (1982) comparou as respostas de frangos de corte recebendo níveis crescentes de lisina em dietas formuladas por meio da suplementação dos aminoácidos (BOOMGAARDT & BAKER, 1973) ou pela diluição das dietas (GOUS, 1980). Tendo em vista a similaridade das respostas de ganho de peso extraídas dos diferentes estudos, D'MELLO (1982) atribuiu equivalência

entre as técnicas, afirmando não haver evidências suficientes para considerar que a técnica de diluição produz resultados mais confiáveis, conforme relatado por GOUS (1980).

Considerando que a eficiência de utilização dos aminoácidos das dietas pode ser afetada diretamente pela concentração e pela relação entre os aminoácidos essenciais e não essenciais (HEGER & FRYDRYCH, 1989), e tendo em vista que as técnicas da “suplementação dos aminoácidos” e da “diluição das dietas” proporcionam relações aminoacídicas distintas entre os tratamentos testados, é possível que as respostas de frangos de corte sejam afetadas pela técnica utilizada na formulação das dietas.

Existe considerável número de publicações que investigaram as respostas de desempenho e composição corporal de frangos de corte aos níveis de lisina das dietas, entretanto, os possíveis efeitos da técnica de formulação das dietas experimentais têm sido negligenciados pela comunidade científica. Nesse sentido, o presente estudo objetivou: (1) comparar as técnicas da “suplementação dos aminoácidos” e “diluição das dietas”, (2) estimar as exigências de lisina digestível para frangos de corte nas fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias), com base no método dose-resposta, e (3) avaliar os efeitos da técnica de formulação das dietas e da fase de criação sobre a eficiência de utilização da lisina para a deposição corporal.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos quatro experimentos no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV / UNESP, Jaboticabal – SP, entre junho e outubro de 2008, para comparar as técnicas de formulação de dietas e estimar as exigências de lisina para frangos de corte nas fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias).

Animais, Instalações e Manejo

Em cada experimento foram utilizados 1.200 frangos de corte machos, da linhagem Cobb 500, com peso inicial médio ($\pm$ erro padrão) de $39,31 \pm 0,02$ g na fase pré-inicial; $139,03 \pm 0,07$ g na fase inicial; $771,74 \pm 0,85$ g na fase de crescimento e $1.737,03 \pm 4,89$ g na fase de terminação, totalizando 4.800 aves.

As aves utilizadas na fase inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias) foram criadas simultaneamente em galpão convencional até o 8º, 22º e 35º dia, respectivamente, e receberam rações formuladas para atender suas exigências conforme recomendações de ROSTAGNO et al. (2005).

No início de cada experimento as aves foram alojadas em galpão de alvenaria, coberto por telhas de barro, contendo 60 boxes com área de $4,50\text{m}^2$, forrados com cama de palha de arroz (5cm de espessura), onde localizavam-se um comedouro tubular e um bebedouro pendular. O manejo dos bebedouros, dos comedouros e das cortinas laterais foi realizado diariamente, sendo a água e a dietas ofertadas *ad libitum* durante os períodos experimentais.

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

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

Fase de criação	Temperatura (°C)		Umidade Relativa (%)	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Pré-inicial (1 a 8 dias)	$31,07 \pm 0,07$	$20,44 \pm 0,10$	$52,50 \pm 0,75$	$31,88 \pm 0,27$
Inicial (8 a 22 dias)	$30,50 \pm 0,39$	$18,99 \pm 0,48$	$51,96 \pm 1,95$	$30,85 \pm 0,60$
Crescimento (22 a 35 dias)	$26,57 \pm 0,30$	$15,27 \pm 0,20$	$61,69 \pm 1,32$	$30,00 \pm 0,00$
Terminação (35 a 42 dias)	$28,85 \pm 1,41$	$16,97 \pm 0,66$	$72,75 \pm 3,86$	$30,17 \pm 0,17$

O programa de luz adotado durante todos os períodos experimentais foi contínuo (24 horas de luz) e o aquecimento artificial dos pintos foi feito até o 14º dia de idade, utilizando-se uma lâmpada de infravermelho de 250W em cada box.

Delineamento Experimental

Em cada experimento (1 a 8, 8 a 22, 22 a 35 e 35 a 42 dias), 1.200 frangos machos, Cobb 500, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, segundo um esquema fatorial 5 x 2 (nível de lisina digestível x técnica de formulação das dietas), totalizando 10 tratamentos, com 6 repetições, sendo cada unidade experimental composta por 20 aves. No início de cada experimento as aves foram pesadas individualmente para constituir parcelas com pesos homogêneos.

Descrição das Técnicas de Formulação

Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos

Para cada fase foram formuladas dietas basais, à base de milho e farelo de soja, para atender as exigências nutricionais das aves de acordo com as recomendações de ROSTAGNO et al. (2005), exceto em lisina. A suplementação de L-lisina HCl (78,5%) nas dietas basais, em substituição ao ácido L-glutâmico e ao amido de milho, possibilitou a obtenção de dietas experimentais isoenergéticas e isonitrogênicas com níveis crescentes de lisina digestível. Para garantir que nenhum outro aminoácido se tornasse limitante nas dietas experimentais, eles foram suplementados por fontes cristalinas de modo que as relações aminoácidos: lisina excedessem em pelo menos três pontos percentuais a relação de proteína ideal recomendada por ROSTAGNO et al. (2005).

Técnica da diluição das dietas

Inicialmente foi formulada uma dieta com alto teor de proteína bruta, contendo aproximadamente 108% da exigência de lisina digestível, com os outros aminoácidos excedendo em pelo menos três pontos percentuais a relação de proteína ideal recomendada por ROSTAGNO et al. (2005). Essa dieta foi diluída sequencialmente

com outra isoenergética, isenta de proteína (FISHER & MORRIS, 1970), possibilitando a obtenção níveis crescentes de lisina digestível idênticos àqueles obtidos pela “técnica da suplementação de aminoácidos”, para cada fase.

Dietas Experimentais

Para a formulação das dietas experimentais, os teores de aminoácidos totais do milho e do farelo de soja foram obtidos com uso de HPLC (cromatografia líquida de alta performance), sendo convertidos em aminoácidos digestíveis utilizando os coeficientes de digestibilidade apresentados por ROSTAGNO et al. (2005) (Tabela 2).

Tabela 2. Teores de aminoácidos totais e digestíveis do milho e do farelo de soja utilizados nas dietas experimentais.

Aminoácido (%)	Milho		Farelo de soja	
	AAT ⁽¹⁾	AAD ⁽²⁾	AAT ⁽¹⁾	AAD ⁽²⁾
Lisina	0,238	0,204	2,747	2,533
Met + cis	0,392	0,353	1,220	1,068
Treonina	0,308	0,258	1,786	1,582
Isoleucina	0,293	0,265	1,954	1,784
Arginina	0,323	0,297	3,209	3,081
Valina	0,410	0,362	2,058	1,838
Leucina	1,095	1,045	3,400	3,111
Fenilalanina	0,412	0,377	2,284	2,117
Glicina	0,358	-----	1,935	-----
Serina	0,418	-----	2,374	-----

⁽¹⁾ Aminoácidos totais, analisados pelo Laboratório da empresa Ajinomoto Biolatina Ind.e Com. Ltda – São Paulo, SP. ⁽²⁾ Aminoácidos digestíveis, calculados utilizando-se os coeficientes de digestibilidade apresentados por ROSTAGNO et al. (2005).

As dietas experimentais formuladas para cada fase pela “técnica da suplementação de aminoácidos” estão apresentadas nas Tabelas 3, 6, 9 e 12, enquanto as dietas formuladas pela “técnica de diluição das dietas” estão apresentadas nas Tabelas 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13 e 14.

Tabela 3. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 1 a 8 dias de idade⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,975		1,082		1,189		1,296		1,403	
Milho	57,664		57,664		57,664		57,664		57,664	
Farelo de soja	33,850		33,850		33,850		33,850		33,850	
Fosfato bicálcico	1,962		1,962		1,962		1,962		1,962	
Calcário calcítico	0,937		0,937		0,937		0,937		0,937	
Óleo de soja	1,610		1,610		1,610		1,610		1,610	
Cloreto de sódio	0,516		0,516		0,516		0,516		0,516	
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
Suplemento vitamínico ⁽³⁾	0,025		0,025		0,025		0,025		0,025	
Cloreto de colina (70%)	0,070		0,070		0,070		0,070		0,070	
Anticoccidiano ⁽⁴⁾	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
L-lisina HCl (78,5%)	-		0,136		0,271		0,406		0,543	
DL-metionina (99%)	0,166		0,246		0,327		0,408		0,487	
L-treonina (99%)	-		0,057		0,131		0,205		0,280	
L-valina (99%)	-		-		0,080		0,164		0,248	
L-isoleucina (99%)	-		-		0,015		0,087		0,161	
L-triptofano (99%)	-		-		0,003		0,024		0,045	
L-arginina (99%)	-		-		0,003		0,119		0,235	
Ácido L-glutâmico (99%)	3,000		2,631		2,100		1,091		0,082	
Amido de milho	0,100		0,195		0,336		0,762		1,186	
Total	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Lisina (100) ⁽⁵⁾	0,975	100	1,082	100	1,189	100	1,296	100	1,403	100
Metionina+cistina(71)	0,728	74	0,807	74	0,886	74	0,965	74	1,043	74
Metionina (39)	0,451	46	0,530	49	0,609	51	0,688	53	0,766	55
Treonina (65)	0,687	70	0,742	68	0,814	68	0,886	68	0,959	68
Valina (75)	0,855	88	0,855	79	0,934	79	1,017	78	1,100	78
Isoleucina (65)	0,799	82	0,799	74	0,814	68	0,886	68	0,959	68
Triptofano (16)	0,224	23	0,224	21	0,227	19	0,248	19	0,268	19
Arginina (105)	1,291	132	1,291	119	1,294	109	1,409	109	1,523	109
Leucina (108)	1,649	169	1,649	152	1,649	139	1,649	127	1,649	117
Fenilalanina (63)	0,934	96	0,934	86	0,934	79	0,934	72	0,934	67
Glicina+serina (150) ⁽⁶⁾	1,906	179	1,906	162	1,906	149	1,906	138	1,906	128

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 2960kcal/kg; Proteína Bruta = 22,73%; Fósforo disponível = 0,470%, Cálcio = 0,939%; Sódio = 0,223%; Fibra bruta = 2,83%. ⁽²⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g. ⁽³⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 1000mg, Ácido pantotênico = 15.000mg, Niacina = 40.000mg, Biotina = 60mg, vit B₁ = 1.800mg, vit. B₁₂ = 12.000mg, vit. B₂ = 6.000mg, vit. B₆ = 2.800mg, vit D₃ = 2.000.000 UI, vit E = 15.000mg, vit. K₃ = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g. ⁽⁴⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm. ⁽⁵⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽⁶⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Tabela 4. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 1 a 8 dias de idade

Ingredientes (%)	Dietas	
	Isenta de PB	Alta PB (1,403% Lys)
Milho	-	42,039
Farelo de soja	-	49,496
Fosfato Bicálcico	2,503	1,878
Calcário calcítico	0,461	0,905
Óleo de soja	1,100	4,455
Cloreto de sódio	0,516	0,516
Suplemento mineral ⁽¹⁾	0,050	0,050
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,025	0,025
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Anticoccidiano ⁽³⁾	0,050	0,050
L-lisina HCl (78,5%)	-	0,080
DL-metionina (99%)	-	0,364
L-treonina(99%)	-	0,072
Amido de milho	78,713	-
Casca de arroz	16,511	-
Total	100,00	100,00

⁽¹⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu= 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g.

⁽²⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 1000mg, Ácido pantotênico = 15.000mg, Niacina = 40.000mg, Biotina = 60mg, vit B1 = 1.800mg, vit. B12 = 12.000mg, vit. B2 = 6.000mg, vit. B6 = 2.800mg, vit D3 = 2.000.000 UI, vit E = 15.000mg, vit. K3 = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g. ⁽³⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm.

Tabela 5. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 1 a 8 dias⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,975		1,082		1,189		1,296		1,403	
Isenta de PB	30,471		22,841		15,211		7,602		-	
Alta PB	69,529		77,159		84,789		92,398		100,000	
Total	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Proteína bruta	19,01		21,06		23,12		25,17		27,21	
Lisina (100) ⁽²⁾	0,975	100	1,082	100	1,189	100	1,296	100	1,403	100
Metionina+cistina (71)	0,726	74	0,806	74	0,886	74	0,965	74	1,044	74
Metionina (39)	0,494	51	0,548	51	0,603	51	0,657	51	0,711	51
Treonina (65)	0,668	68	0,742	68	0,814	68	0,887	68	0,961	68
Valina (75)	0,767	79	0,851	79	0,934	79	1,019	79	1,102	79
Isoleucina (65)	0,737	75	0,818	75	0,898	75	0,979	75	1,059	75
Triptofano (16)	0,210	22	0,233	22	0,256	22	0,279	22	0,302	22
Arginina (105)	1,207	124	1,339	124	1,470	124	1,603	124	1,735	124
Leucina (108)	1,392	143	1,544	143	1,697	143	1,849	143	2,002	143
Fenilalanina (63)	0,841	86	0,934	86	1,026	86	1,118	86	1,209	86
Glicina+serina (150) ⁽³⁾	1,710	161	1,897	161	2,085	161	2,272	161	2,459	161

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 2960kcal/kg; Fósforo disponível = 0,470%, Cálcio = 0,939%; Sódio = 0,223%. ⁽²⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽³⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Tabela 6. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 8 a 22 dias de idade⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,840		0,932		1,024		1,116		1,208	
Milho	64,281		64,281		64,281		64,281		64,281	
Farelo de soja	27,971		27,971		27,971		27,971		27,971	
Fosfato bicálcico	1,840		1,840		1,840		1,840		1,840	
Calcário calcítico	0,903		0,903		0,903		0,903		0,903	
Óleo de soja	1,209		1,209		1,209		1,209		1,209	
Cloreto de sódio	0,493		0,493		0,493		0,493		0,493	
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
Suplemento vitamínico ⁽³⁾	0,025		0,025		0,025		0,025		0,025	
Cloreto de colina (70%)	0,070		0,070		0,070		0,070		0,070	
Anticoccidiano ⁽⁴⁾	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
L-lisina HCl (78,5%)	-		0,117		0,233		0,350		0,468	
DL-metionina (99%)	0,108		0,176		0,246		0,315		0,385	
L-treonina (99%)	-		0,027		0,091		0,156		0,220	
L-valina (99%)	-		-		0,040		0,113		0,185	
L-isoleucina (99%)	-		-		-		0,061		0,123	
L-triptofano (99%)	-		-		-		0,018		0,036	
L-arginina (99%)	-		-		-		0,088		0,118	
Ácido L-glutâmico (99%)	2,900		2,614		2,223		1,394		0,524	
Amido de milho	0,100		0,173		0,275		0,613		0,979	
Total	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	

Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Lisina (100) ⁽⁵⁾	0,840	100	0,932	100	1,024	100	1,116	100	1,208	100
Metionina+cistina (71)	0,628	74	0,695	74	0,764	74	0,831	74	0,899	74
Metionina (39)	0,371	44	0,438	47	0,506	49	0,574	51	0,642	53
Treonina (65)	0,613	73	0,639	68	0,701	68	0,764	68	0,826	68
Valina (75)	0,765	91	0,765	82	0,804	78	0,877	78	0,948	78
Isoleucina (65)	0,704	84	0,704	76	0,704	69	0,764	68	0,826	68
Triptofano (16)	0,195	23	0,195	21	0,195	19	0,213	19	0,231	19
Arginina (105)	1,126	134	1,127	121	1,127	110	1,214	108	1,313	108
Leucina (108)	1,524	181	1,524	163	1,524	149	1,524	137	1,524	126
Fenilalanina (63)	0,834	99	0,834	89	0,834	81	0,834	75	0,834	69
Glicina +serina (150) ⁽⁶⁾	1,704	185	1,704	168	1,704	154	1,704	143	1,704	132

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 3000kcal/kg; Proteína Bruta = 20,47%; Fósforo disponível = 0,442%, Cálcio = 0,884%; Sódio = 0,214%. ⁽²⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g. ⁽³⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 1000mg, Ácido pantotênico = 15.000mg, Niacina = 40.000mg, Biotina = 60mg, vit B₁ = 1.800mg, vit. B₁₂ = 12.000mg, vit. B₂ = 6.000mg, vit. B₆ = 2.800mg, vit D₃ = 2.000.000 UI, vit E = 15.000mg, vit. K₃ = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g. ⁽⁴⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm. ⁽⁵⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽⁶⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Tabela 7. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 8 a 22 dias de idade

Ingredientes (%)	Dietas	
	Isenta de PB	Alta PB (1,208% Lys)
Milho	-	53,376
Farelo de soja	-	39,565
Fosfato Bicálcico	2,352	1,775
Calcário calcítico	0,415	0,882
Óleo de soja	2,000	3,236
Cloreto de sódio	0,493	0,492
Suplemento mineral ⁽¹⁾	0,050	0,050
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,025	0,025
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Anticoccidiano ⁽³⁾	0,050	0,050
L-lisina HCl (78,5%)	-	0,124
DL-metionina (99%)	-	0,291
L-treonina(99%)	-	0,065
Amido de milho	77,911	-
Casca de arroz	16,634	-
Total	100,00	100,00

⁽¹⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu= 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g.

⁽²⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 1000mg, Ácido pantotênico = 15.000mg, Niacina = 40.000mg, Biotina = 60mg, vit B1 = 1.800mg, vit. B12 = 12.000mg, vit. B2 = 6.000mg, vit. B6 = 2.800mg, vit D3 = 2.000.000 UI, vit E = 15.000mg, vit. K3 = 1.800mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g. ⁽³⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm.

Tabela 8. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 8 a 22 dias⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,840		0,932		1,024		1,116		1,208	
Isenta de PB	30,206		22,867		15,253		7,639		-	
Alta PB	69,794		77,133		84,747		92,361		100,000	
Total	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Proteína bruta	16,524		18,231		20,002		21,773		23,549	
Lisina (100) ⁽²⁾	0,840	100	0,932	100	1,024	100	1,116	100	1,208	100
Metionina+cistina (71)	0,628	75	0,695	75	0,763	75	0,832	75	0,900	75
Metionina (39)	0,419	50	0,463	50	0,509	50	0,554	50	0,600	50
Treonina (65)	0,578	69	0,639	69	0,702	69	0,765	69	0,828	69
Valina (75)	0,663	79	0,733	79	0,805	79	0,878	79	0,950	79
Isoleucina (65)	0,627	74	0,693	74	0,761	74	0,829	74	0,898	74
Triptofano (16)	0,177	21	0,196	21	0,215	21	0,234	21	0,254	21
Arginina (105)	1,018	121	1,125	121	1,236	121	1,347	121	1,458	121
Leucina (108)	1,251	148	1,382	148	1,518	148	1,655	148	1,792	148
Fenilalanina (63)	0,726	86	0,802	86	0,882	86	0,961	86	1,040	86
Glicina +serina (150) ⁽³⁾	1,479	175	1,634	175	1,796	175	1,957	175	2,119	175

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 3000kcal/kg; Fósforo disponível = 0,442%, Cálcio = 0,884%; Sódio = 0,214%. ⁽²⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽³⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Tabela 9. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 22 a 35 dias de idade⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,786		0,872		0,958		1,044		1,130	
Milho	65,838		65,838		65,838		65,838		65,838	
Farelo de soja	25,726		25,726		25,726		25,726		25,726	
Fosfato bicálcico	1,687		1,687		1,687		1,687		1,687	
Calcário calcítico	0,857		0,857		0,857		0,857		0,857	
Óleo de soja	2,431		2,431		2,431		2,431		2,431	
Cloreto de sódio	0,470		0,470		0,470		0,470		0,470	
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
Suplemento vitamínico ⁽³⁾	0,025		0,025		0,025		0,025		0,025	
Cloreto de colina (70%)	0,070		0,070		0,070		0,070		0,070	
Anticoccidiano ⁽⁴⁾	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
L-lisina HCl (78,5%)	-		0,110		0,219		0,329		0,437	
DL-metionina (99%)	0,096		0,161		0,226		0,292		0,358	
L-treonina (99%)	-		0,017		0,078		0,138		0,197	
L-valina (99%)	-		-		0,047		0,116		0,185	
L-isoleucina (99%)	-		-		0,011		0,072		0,133	
L-triptofano (99%)	-		-		0,010		0,027		0,044	
L-arginina (99%)	-		-		-		0,077		0,170	
Ácido L-glutâmico (99%)	2,600		2,342		1,931		1,167		0,358	
Amido de milho	0,100		0,167		0,273		0,579		0,920	
Total	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Lisina (100) ⁽⁵⁾	0,786	100	0,872	100	0,958	100	1,044	100	1,130	100
Metionina+cistina (72)	0,596	76	0,660	76	0,724	76	0,789	76	0,853	76
Metionina (40)	0,348	44	0,412	47	0,476	50	0,541	52	0,605	58
Treonina (65)	0,582	74	0,598	69	0,657	69	0,715	69	0,773	69
Valina (77)	0,727	92	0,727	83	0,773	81	0,841	81	0,910	81
Isoleucina (67)	0,665	85	0,665	76	0,676	71	0,736	71	0,796	71
Triptofano (17)	0,184	23	0,184	21	0,193	20	0,210	20	0,227	20
Arginina (105)	1,060	135	1,060	122	1,060	111	1,136	109	1,228	109
Leucina (109)	1,467	187	1,467	168	1,467	153	1,467	141	1,467	130
Fenilalanina (63)	0,792	101	0,792	91	0,792	83	0,792	76	0,792	70
Glicina +serina (140) ⁽⁶⁾	1,619	188	1,619	171	1,619	156	1,619	144	1,619	134

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 3100kcal/kg; Proteína Bruta = 19,37%; Fósforo disponível = 0,411%, Cálcio = 0,824%; Sódio = 0,205%; Fibra bruta = 2,53%. ⁽²⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g. ⁽³⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 700mg, Ácido pantotênico = 13.000mg, Niacina = 35.000mg, vit B1 = 1.600mg, vit. B12 = 10.000mg, vit. B2 = 5.000mg, vit. B6 = 2.600mg, vit D3 = 1.500.000 UI, vit E = 12.000mg, vit. K3 = 1.500mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g.. ⁽⁴⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm. ⁽⁵⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽⁶⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Tabela 10. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 22 a 35 dias de idade

Ingredientes (%)	Dietas	
	Isenta de PB	Alta PB (1,130% Lys)
Milho	-	54,729
Farelo de soja	-	37,248
Fosfato Bicálcico	2,193	1,623
Calcário calcítico	0,448	0,835
Óleo de soja	1,200	4,501
Cloreto de sódio	0,481	0,470
Suplemento mineral ⁽¹⁾	0,050	0,050
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,025	0,025
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Anticoccidiano ⁽³⁾	0,050	0,050
L-lisina HCl (78,5%)	-	0,092
DL-metionina (99%)	-	0,265
L-treonina(99%)	-	0,042
Amido de milho	82,609	-
Casca de arroz	12,874	-
Total	100,00	100,00

⁽¹⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g. ⁽²⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 700mg, Ácido pantotênico = 13.000mg, Niacina = 35.000mg, vit B1 = 1.600mg, vit. B12 = 10.000mg, vit. B2 = 5.000mg, vit. B6 = 2.600mg, vit D3 = 1.500.000 UI, vit E = 12.000mg, vit. K3 = 1.500mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g, ⁽³⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm.

Tabela 11. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 22 a 35 dias⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,786	0,872	0,958	1,044	1,130					
Isenta de PB	30,294	22,667	15,041	7,414	-					
Alta PB	69,706	77,333	84,959	92,586	100,000					
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00					
Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Proteína bruta	15,769		17,470		19,170		20,871		22,524	
Lisina (100) ⁽²⁾	0,786	100	0,872	100	0,958	100	1,044	100	1,130	100
Metionina+cistina (72)	0,595	76	0,660	76	0,725	76	0,790	76	0,853	76
Metionina (40)	0,392	50	0,435	50	0,478	50	0,521	50	0,563	50
Treonina (65)	0,539	69	0,598	69	0,657	69	0,716	69	0,773	69
Valina (77)	0,635	81	0,704	81	0,774	81	0,843	81	0,910	81
Isoleucina (67)	0,598	76	0,663	76	0,729	76	0,794	76	0,858	76
Triptofano (17)	0,168	21	0,187	21	0,205	21	0,224	21	0,241	21
Arginina (105)	0,968	123	1,074	123	1,180	123	1,286	123	1,389	123
Leucina (109)	1,206	153	1,338	153	1,470	153	1,600	153	1,730	153
Fenilalanina (63)	0,694	88	0,770	88	0,846	88	0,922	88	0,996	88
Glicina+serina (140) ⁽³⁾	1,415	176	1,570	176	1,725	176	1,879	176	2,030	176

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 3100kcal/kg; Fósforo disponível = 0,411%, Cálcio = 0,824%; Sódio = 0,205%. ⁽²⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽³⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Tabela 12. Dietas formuladas pela técnica da suplementação gradativa de aminoácidos para frangos de corte de 35 a 42 dias de idade⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,745	0,826	0,907	0,989	1,070					
Milho	66,065	66,065	66,065	66,065	66,065					
Farelo de soja	24,099	24,099	24,099	24,099	24,099					
Fosfato bicálcico	1,534	1,534	1,534	1,534	1,534					
Calcário calcítico	0,806	0,806	0,806	0,806	0,806					
Óleo de soja	3,373	3,373	3,373	3,373	3,373					
Cloreto de sódio	0,443	0,443	0,443	0,443	0,443					
Areia lavada	0,804	0,805	0,805	0,805	0,805					
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050					
Suplemento vitamínico ⁽³⁾	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025					
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070					
Anticoccidiano ⁽⁴⁾	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050					
L-lisina HCl (78,5%)	-	0,103	0,206	0,311	0,414					
DL-metionina (99%)	0,081	0,143	0,205	0,267	0,331					
L-treonina (99%)	-	0,011	0,068	0,125	0,182					
L-valina (99%)	-	-	0,036	0,102	0,168					
L-isoleucina (99%)	-	-	0,007	0,065	0,122					
L-triptofano (99%)	-	-	0,009	0,025	0,042					
L-arginina (99%)	-	-	-	0,068	0,157					
Ácido L-glutâmico (99%)	2,500	2,264	1,893	1,182	0,404					
Amido de milho	0,100	0,159	0,256	0,535	0,860					
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00					
Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Lisina (100) ⁽⁵⁾	0,745	100	0,826	100	0,907	100	0,989	100	1,070	100
Metionina+cistina (72)	0,564	76	0,625	76	0,686	76	0,747	76	0,809	76
Metionina (40)	0,324	43	0,385	47	0,446	49	0,507	51	0,569	53
Treonina (65)	0,556	75	0,567	69	0,622	69	0,678	69	0,733	69
Valina (77)	0,696	93	0,696	84	0,732	81	0,797	81	0,862	81
Isoleucina (67)	0,634	85	0,634	77	0,641	71	0,698	71	0,755	71
Triptofano (17)	0,175	23	0,175	21	0,183	20	0,199	20	0,216	20
Arginina (105)	1,009	135	1,009	122	1,009	111	1,076	109	1,164	109
Leucina (109)	1,416	190	1,416	171	1,416	156	1,416	143	1,416	132
Fenilalanina (63)	0,757	102	0,757	92	0,757	83	0,757	77	0,757	71
Glicina+serina (140) ⁽⁶⁾	1,551	189	1,551	172	1,551	158	1,551	146	1,551	136

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 3150kcal/kg; Proteína Bruta = 18,57%; Fósforo disponível = 0,380%, Cálcio = 0,763%; Sódio = 0,194%. ⁽²⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu = 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g. ⁽³⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 700mg, Ácido pantotênico = 13.000mg, Niacina = 35.000mg, vit B1 = 1.600mg, vit. B12 = 10.000mg, vit. B2 = 5.000mg, vit. B6 = 2.600mg, vit D3 = 1.500.000 UI, vit E = 12.000mg, vit. K3 = 1.500mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g. ⁽⁴⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm. ⁽⁵⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽⁶⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Tabela 13. Dietas formuladas para obter níveis crescentes de lisina digestível pela técnica da diluição, para frangos de corte de 35 a 42 dias de idade

Ingredientes (%)	Dietas	
	Isenta de PB	Alta PB (1,070% Lys)
Milho	-	57,860
Farelo de soja	-	34,193
Fosfato Bicálcico	2,023	1,472
Calcário calcítico	0,380	0,789
Óleo de soja	2,500	4,655
Cloreto de sódio	0,451	0,442
Suplemento mineral ⁽¹⁾	0,050	0,050
Suplemento vitamínico ⁽²⁾	0,025	0,025
Cloreto de colina (70%)	0,070	0,070
Anticoccidiano ⁽³⁾	0,050	0,050
L-lisina HCl (78,5%)	-	0,108
DL-metionina (99%)	-	0,244
L-treonina(99%)	-	0,041
Amido de milho	80,837	-
Casca de arroz	13,614	-
Total	100,00	100,00

⁽¹⁾ Conteúdo/kg: Mn = 150.000mg, Fe = 100.000mg, Zn = 100.000mg, Cu= 16.000mg, I = 1.500mg, veículo qsp 1000g.

⁽²⁾ Conteúdo/kg: Ácido fólico = 700mg, Ácido pantotênico = 13.000mg, Niacina = 35.000mg, vit B1 = 1.600mg, vit. B12 = 10.000mg, vit. B2 = 5.000mg, vit. B6 = 2.600mg, vit D3 = 1.500.000 UI, vit E = 12.000mg, vit. K3 = 1.500mg, Se = 300mg, antioxidante = 500mg, veículo qsp 1000g. ⁽³⁾ Salinomicina Sódica – 60ppm.

Tabela 14. Dietas formuladas pela técnica da diluição para frangos de corte de 35 a 42 dias⁽¹⁾

Ingredientes (%)	Nível de lisina digestível (%)									
	0,745		0,826		0,907		0,989		1,070	
Isenta de PB	30,309		22,732		15,154		7,484		-	
Alta PB	69,691		77,268		84,846		92,516		100,000	
Total	100,00		100,00		100,00		100,00		100,00	
Aminoácidos digestíveis (%)	aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys		aa/Lys	
Proteína bruta	14,966		16,567		18,168		19,789		21,370	
Lisina (100) ⁽²⁾	0,745	100	0,826	100	0,907	100	0,989	100	1,070	100
Metionina+cistina (72)	0,564	76	0,625	76	0,687	76	0,748	76	0,809	76
Metionina (40)	0,369	50	0,409	50	0,450	50	0,490	50	0,529	50
Treonina (65)	0,511	69	0,567	69	0,622	69	0,678	69	0,733	69
Valina (77)	0,601	81	0,666	81	0,732	81	0,798	81	0,862	81
Isoleucina (67)	0,562	75	0,624	75	0,685	75	0,747	75	0,807	75
Triptofano (17)	0,158	21	0,175	21	0,192	21	0,209	21	0,226	21
Arginina (105)	0,908	122	1,006	122	1,105	122	1,205	122	1,303	122
Leucina (109)	1,159	156	1,284	156	1,410	156	1,537	156	1,661	156
Fenilalanina (63)	0,657	88	0,728	88	0,800	88	0,872	88	0,942	88
Glicina+serina (140) ⁽³⁾	1,323	177	1,467	177	1,611	177	1,757	177	1,899	177

⁽¹⁾ Composição calculada: Energia metabolizável = 3150kcal/kg; Fósforo disponível = 0,380%, Cálcio = 0,763%; Sódio = 0,194%. ⁽²⁾ Relações na proteína ideal (aa/Lys) recomendadas por ROSTAGNO et al. (2005). ⁽³⁾ Valores e relações definidos com base em aminoácidos totais.

Variáveis Avaliadas

Desempenho e rendimento de cortes

As características de desempenho avaliadas em cada experimento foram o ganho de peso (g), o consumo de ração (g), o consumo de lisina digestível (g) e a conversão alimentar (g/g). No 42º dia, três aves de cada parcela (180 no total), com peso corporal próximo ao da média da parcela ($\pm 5\%$), foram submetidas a jejum alimentar de 12 horas e abatidas para avaliação dos rendimentos (%) de carcaça, peito com osso, coxas e sobrecoxas. O rendimento da carcaça eviscerada, sem cabeça, pescoço e pés foi calculado em relação ao peso vivo após jejum, enquanto os rendimentos dos cortes foram calculados em relação ao peso absoluto da carcaça.

Deposição de nutrientes corporais

Foram determinadas as deposições de proteína (g) e gordura corporal (g), por meio de abates comparativos no início (grupos referência) e final de cada fase. Os grupos referência foram constituídos por aves com peso $\pm 5\%$ do peso médio inicial, totalizando 18 aves (seis repetições de três aves) em cada um dos experimentos. No término de cada experimento, três aves de cada parcela com peso $\pm 5\%$ do peso médio foram selecionadas, totalizando 180 aves. Após jejum alimentar de 24 horas, para o esvaziamento completo do trato digestório, as aves foram pesadas, abatidas por asfixia com CO₂ e, após a obtenção de uma amostra representativa das penas de cada ave, foram completamente depenadas e pesadas novamente. Pela diferença entre o peso em jejum (g) e o peso das aves depenadas (g) obteve-se o peso absoluto das penas (g). O peso relativo das penas (%) foi calculado em relação ao peso das aves após jejum.

As aves depenadas e as respectivas amostras de penas foram devidamente identificadas e congeladas (-20°C) para processamento posterior. As aves referentes a cada parcela foram cortadas em serra de fita (H. Benecke®) e moídas em moinho de

carne industrial (98BT, CAF[®]), sendo homogeneizadas e retiradas alíquotas que foram acondicionadas em placas de Petri descartáveis, pesadas e congeladas novamente (-20°C), até a pré-secagem. As amostras foram liofilizadas por 72h (-50°C; -80kPa) (VLP20, Thermo[®]) e pesadas novamente, sendo na seqüência, processadas em micro moinho (A11 BASIC, IKA[®]) por 2min. As amostras de penas foram trituradas e homogeneizadas manualmente com o uso de tesouras, sendo encaminhadas ao laboratório, juntamente com as amostras das aves, para análises de extrato etéreo e nitrogênio total.

Os teores de gordura bruta das amostras de aves e penas foram obtidos por extração com éter de petróleo em aparelho Soxlet (MA 490, Marconi[®]). O teor de nitrogênio total foi quantificado nas amostras desengorduradas utilizando-se o método de Kjeldahl (AOAC, 1995).

A quantidade de lisina corporal (g) das aves no início e no final de cada experimento foi obtida multiplicando-se a quantidade de proteína corporal (g) pela concentração (%) de lisina presente na proteína do corpo, sendo esta obtida pela expressão: $[(100 - \% \text{ penas}) * 7,5/100] + [(\% \text{ penas} * 1,8)/100]$. Os valores 7,5 e 1,8% referem-se, respectivamente, as percentagens de lisina na proteína do corpo livre de penas e das penas, segundo a literatura (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; SKLAN & NOY, 2004). As deposições de lisina corporal (g) foram obtidas pela diferença entre a quantidade de lisina corporal no final e no início de cada fase.

Eficiência de utilização da lisina para crescimento

As eficiências de utilização da lisina da dieta para crescimento (%), em cada fase, foram calculadas pela razão entre a lisina depositada e a Lisina digestível ingerida apenas para crescimento segundo a expressão: $\text{Lisina depositada} / (\text{Lisina digestível ingerida} - \text{Lisina digestível para manutenção}) * 100$, sendo utilizada nos cálculos as exigências de lisina para a manutenção determinadas em ensaios de metabolismo com galos sexualmente maduros ($\text{Lys}_m = 45\text{mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$; Capítulo 2).

Análises Estatísticas

As pressuposições de normalidade e homocedasticidade foram verificadas pelos testes de Cramer-Von Mises e Levene, respectivamente, sendo atendidas para todas as variáveis avaliadas nos quatro experimentos.

Os dados de desempenho, pesos relativos de carcaça e cortes, deposição de nutrientes corporais e as eficiências de utilização da lisina foram submetidos à análises de variância de acordo com o modelo estatístico: $Y_{ij(k)} = \mu + Lys_i + T_j + Lys \times T_{ij} + \varepsilon_{ij(k)}$; em que $Y_{ij(k)}$ é o valor observado para a variável estudada; μ é o efeito da média geral; Lys_i é o efeito do i-ésimo nível de lisina digestível da ração, T_j é o efeito da j-ésima técnica de formulação, $Lys \times T_{ij}$ é o efeito da interação entre os níveis de lisina digestível da ração e a técnica de formulação e $\varepsilon_{ij(k)}$ é o erro experimental.

Posteriormente os dados de cada variável foram submetidos à análises de regressão, considerando-se o nível de lisina da ração como variável independente, pelos modelos “Linear Response Plateau” (LRP), polinomial quadrático e exponencial, conforme descrição:

“Linear Response Plateau” (LRP): $\hat{Y}_i = L + U \cdot (R - Lys_i) + \varepsilon_i$, $i = 1, 2, \dots, n_1$, $n_1 + 1, \dots, n$; em que $(R - Lys_i) = 0$ para $i \geq n_1 + 1$, n_1 é o número de observações até o ponto de quebra, n é o número de pares de observações, $\hat{Y}_i$ é o valor estimado da variável estudada para o i-ésimo nível de lisina digestível na ração, Lys_i é o nível de lisina da ração, L é o valor da variável estimado no platô, U é a inclinação da reta ascendente, R é o nível de lisina estimado pelo ponto de quebra e ε_i é o erro ou desvio associado à distância entre o valor de Y_i observado e o valor de $\hat{Y}_i$ estimado pela equação.

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

Exponencial: $\hat{Y}_i = A + B \cdot (1 - e^{-C \cdot (Lys_i - D)}) + \varepsilon_i$; em que A é a resposta da variável estimada para a dieta contendo o nível mais baixo de lisina (basal), B é a diferença estimada entre a mínima e a máxima resposta obtida com a adição de lisina, C é o

coeficiente de inclinação da curva, D é o nível de lisina da dieta basal, e e é a base do logaritmo neperiano (2,718281828).

Para verificar o ajuste das equações obtidas com o uso dos diferentes modelos levou-se em consideração a significância do teste “F” e os coeficientes de determinação ($R^2 = \text{SQ modelo} / \text{SQ tratamentos}$).

Os níveis ótimos de lisina estimados com o uso do modelo LRP foram obtidos pelo encontro da reta ascendente com o platô. Para o modelo quadrático esses níveis foram obtidos igualando-se a primeira derivada da equação a zero ($\beta_1/(2*\beta_2)$). Considerando-se o modelo exponencial os níveis ótimos foram obtidos considerando-se 95% da resposta assintótica (máxima resposta) pela expressão: $\ln(0,05)/C+D$, em que $\ln$ é o logaritmo neperiano ($\log_e$) (SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). A primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP, proposto por BAKER et al. (2002), foi obtido com o uso da equação: $L=\beta_0+\beta_1*\text{Lis}_i+\beta_2*\text{Lis}_i^2$, sendo o nível de lisina correspondente calculado como segue: $(-\beta_1+(\beta_1^2-4*\beta_2*(\beta_0-L))^{1/2})/(2*\beta_2)$, conforme descrito por SAKOMURA & ROSTAGNO (2007).

Para comparar as curvas resposta produzidas pelas duas técnicas de formulação de dietas, nas variáveis cujos efeitos do nível de lisina e da técnica foram detectados pela análise de variância, realizou-se um teste de paralelismo utilizando-se como variável classificatória a técnica de formulação (T) e como co-variável o nível de lisina digestível da dieta (Lys), segundo modelo adaptado de KAPS & LAMBERSON (2004): $\hat{Y}_{ij} = \beta_0 + T_i + \beta_1*\text{Lys}_{ij} + \sum_i \beta_{2i}*(T*\text{Lys})_{ij} + \beta_3*\text{Lys}_{ij}^2 + \sum_i \beta_{4i}*(T*\text{Lys})_{ij}^2 + \varepsilon_{ij}$; onde, $\hat{Y}_{ij}$ é o valor da variável correspondente à observação j do método i; T_i é o efeito da técnica de formulação; β_0 , β_1 , β_{2i} , β_3 e β_{4i} , são os parâmetros da regressão; $(T*\text{Lys})_{ij}$ é o efeito da interação entre a variável classificatória e a co-variável para o componente linear; $(T*\text{Lys})_{ij}^2$ é o efeito da interação entre a variável classificatória e a co-variável para o componente quadrático e ε_{ij} é o erro aleatório associado a observação j da técnica i. As análises estatísticas foram realizadas considerando-se um nível de significância de até 5% utilizando-se o *software* SAS 9.0 (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos modelos de natureza linear ou não-linear podem ser utilizados para descrever as respostas de frangos de corte em função dos níveis de nutrientes das dietas, entretanto, na experimentação avícola, os mais comumente empregados têm sido os de natureza linear, destacando-se o “Linear Response Plateau” (LRP) e o polinomial quadrático.

LECLERCQ (1998) revisou o efeito da concentração de lisina da dieta sobre a produção de frangos de corte, e constatou que as estimativas das exigências sofrem influência dos critérios considerados na avaliação e dos modelos matemáticos utilizados na interpretação das respostas. Posteriormente, EUCLYDES & ROSTAGNO (2002) e SAKOMURA & ROSTAGNO (2007) discutiram detalhadamente os aspectos inerentes à utilização de diferentes modelos matemáticos para interpretar os resultados de estudos dose-resposta, e corroboraram com os relatos de LECLERCQ (1998).

Recentemente, SIQUEIRA et al. (2009) ajustaram os modelos LRP, segmentado de duas inclinações, quadrático e exponencial às respostas de ganho de peso (GP) de aves ISA Label, e demonstraram que a estimativa das exigências sofre influência direta do modelo de regressão utilizado. Em estudo semelhante, PESTI et al. (2009) utilizaram os modelos LRP, quadrático, quadrático com platô e cinética de saturação para descrever as respostas de GP de frangos de corte, e confirmaram a influência dos modelos matemáticos sobre a estimativa das exigências.

Com base nessas informações, as variáveis avaliadas no presente estudo, foram descritas por diferentes modelos de regressão, possibilitando diferentes interpretações dos resultados. As recomendações para cada fase foram obtidas com base na significância ($P \leq 0,05$) e na qualidade dos ajustes (R^2) dos diferentes modelos, utilizando-se preferencialmente as respostas de conversão alimentar (CA) para estimar as exigências de lisina digestível.

Técnicas de formulação das dietas e exigências de lisina de frangos de corte na fase pré-inicial (1 a 8 dias)

As respostas de consumo de ração (CR), consumo de lisina (CLys), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) aos níveis crescentes de lisina foram independentes da técnica de formulação das dietas. As interações lisina x técnica, observadas para as deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC), lisina (DLysC), e eficiência de utilização da lisina para crescimento (EULys), evidenciaram que estas variáveis responderam de maneira diferenciada aos níveis de lisina, dependendo da técnica empregada na formulação das dietas experimentais. O peso relativo das penas (PRP) não foi afetado pelos níveis de lisina ou pela técnica de formulação (Tabela 15).

A técnica de formulação e o nível de lisina digestível não influenciaram ($P>0,05$) o CR das aves na fase pré-inicial (Tabela 15). Este resultado difere daqueles obtidos por TOLEDO et al. (2007) com frangos Ross de 1 a 11 dias, e por GOULART et al. (2008) com frangos Cobb de 1 a 7 dias, que observaram, respectivamente, redução e aumento do CR em função de níveis crescentes de lisina. Tendo em vista que a absorção do saco vitelínico pode ser responsável pelo suprimento integral de nutrientes por até 48h após a eclosão (SKLAN & NOY, 2000), e considerando ainda a curta duração dos períodos experimentais (1 à 7 dias), é natural que o CR seja bastante variável na fase pré-inicial, explicando parcialmente a divergência dos resultados.

O CLys das aves não foi afetado pela técnica de formulação das dietas (Tabela 15), entretanto o aumento dos níveis de lisina proporcionou comportando linear crescente (Tabela 16). Considerando que o CR não foi afetado, o aumento do CLys era esperado, uma vez que as dietas possuíam concentrações crescentes de lisina digestível.

As respostas de GP foram influenciadas apenas pelo nível de lisina (Tabela 15), sendo possível ajustar os modelos de regressão linear e exponencial, independente da técnica empregada na formulação das dietas (Tabela 16; Figura 1). Apesar de o modelo exponencial ter se ajustado adequadamente ao GP, o nível de lisina digestível estimado em 1,515%, assumindo 95% da resposta assintótica, não foi considerado uma estimativa adequada das exigências por situar-se fora do intervalo avaliado, sendo aproximadamente 8% superior ao maior nível de lisina testado (1,403%).

Tabela 15. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 1 a 8 dias de idade

Variável	Técnica de Formulação ⁽¹⁾	Nível de lisina digestível (%)					Geral	CV ⁽²⁾ (%)	P>F ⁽³⁾		
		0,975	1,082	1,189	1,296	1,403			Lisina	Técnica	Lisina x Técnica
CR (g)	S	171,53	177,71	172,67	177,32	177,41	175,33	6,11	0,9526	0,7886	0,2322
	D	179,07	172,56	179,26	168,18	173,85	174,59				
	Geral	175,30	175,14	175,96	172,75	175,63					
CLys (g)	S	1,673	1,923	2,053	2,298	2,489	2,087	6,22	≤0,0001	0,6677	0,2653
	D	1,746	1,867	2,132	2,180	2,439	2,073				
	Geral	1,709	1,895	2,092	2,239	2,464					
GP (g)	S	138,19	148,11	149,99	150,63	151,52	147,69	5,96	0,0028	0,0687	0,3051
	D	146,19	145,04	159,44	149,89	159,33	151,98				
	Geral	142,19	146,57	154,71	150,26	155,43					
CA (g/g)	S	1,243	1,201	1,153	1,179	1,173	1,190	4,77	≤0,0001	0,0096	0,4939
	D	1,227	1,190	1,125	1,122	1,091	1,151				
	Geral	1,235	1,196	1,139	1,151	1,132					
DPBC (g)	S	16,97	19,62	20,48	20,52	19,89	19,50	7,35	≤0,0001	0,1991	0,0114
	D	18,93	18,84	18,84	21,77	21,61	20,00				
	Geral	17,95	19,23	19,66	21,14	20,75					
DGC (g)	S	7,46	8,32	8,47	7,81	9,27	8,27	17,71	0,1127	0,0109	≤0,0001
	D	11,95	8,81	9,40	9,84	6,65	9,33				
	Geral	9,70	8,56	8,94	8,83	7,96					
DLysC (g)	S	1,272	1,471	1,534	1,541	1,495	1,460	7,37	≤0,0001	0,1872	0,0170
	D	1,423	1,411	1,412	1,638	1,624	1,487				
	Geral	1,348	1,438	1,473	1,590	1,559					
EULys ⁽⁴⁾ (%)	S	79,06	80,90	77,14	67,90	61,52	73,22	5,78	≤0,0001	0,0465	≤0,0001
	D	84,81	78,44	68,41	77,78	68,76	75,57				
	Geral	81,93	79,56	72,78	72,84	65,14					
PRP (%)	S	2,29	2,22	2,28	2,04	1,98	2,14	15,72	0,0534	0,3609	0,3411
	D	1,94	2,32	2,28	1,84	1,95	2,06				
	Geral	2,11	2,22	2,28	1,94	1,96					

⁽¹⁾ S = técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos, D = técnica de diluição das dietas. ⁽²⁾ CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾ teste "F" da análise de variância. ⁽⁴⁾ EULys = DLysC (mg/dia)/(CLys (mg/dia)-Lys_m (mg/dia))x100, sendo Lys_m = 45mg/kg^{0,75}/dia (Capítulo 2).

Tabela 16. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 1 a 8 dias de idade.

Modelo	Variável / Equação	P>F	R ²	NLys (%)
Consumo de lisina digestível (g)				
Linear	CLys = 0,020 + 1,733*Lys	≤0,0001	0,997	-----
Ganho de peso (g)				
Linear	GP = 116,326 + 28,181*Lys	≤0,0001	0,732	-----
Exponencial	GP = 141,900 + 13,698*(1 - e ^{-5,552*(Lys - 0,975)})	0,0004	0,812	1,515
Conversão alimentar ⁽¹⁾ (g/g)				
Quadrático	CA = 2,422 (-0,039) - 1,864*Lys + 0,685*Lys ²	≤0,0001	0,866	1,361
Deposição de proteína corporal (g) – S				
LRP	DPBC = 20,284 - 24,798*(1,109 - Lys)	0,0017	0,972	1,109
Quadrático	DPBC = -51,939 + 115,538*Lys - 45,902*Lys ²	0,0015	0,986	1,259
Exponencial	DPBC = 16,958 + 3,329*(1 - e ^{-16,902*(Lys - 0,975)})	0,0018	0,965	1,152
Quad.+ LRP	-51,939 + 115,538*Lys - 45,902*Lys ² = 20,284	-----	-----	1,156
Deposição de proteína corporal (g) – D				
Linear	DPBC = 10,946 + 7,583*Lys	≤0,0001	0,718	-----
Deposição de gordura corporal (g) – S				
-----	DGC = 8,266	-----	-----	-----
Deposição de gordura corporal (g) – D				
Linear	DGC = 19,975 - 8,953*Lys	0,0002	0,623	-----
Deposição de lisina corporal (g) – S				
LRP	DLysC = 1,522 - 1,865*(1,109 - Lys)	0,0016	0,975	1,109
Quadrático	DLysC = -3,851 + 8,580*Lys - 3,403*Lys ²	0,0015	0,986	1,261
Exponencial	DLysC = 1,271 + 0,252*(1 - e ^{-16,455*(Lys - 0,975)})	0,0003	0,969	1,157
Quad.+ LRP	-3,851 + 8,580*Lys - 3,403*Lys ² = 1,522	-----	-----	1,159
Deposição de lisina corporal (g) – D				
Linear	DLysC = 0,816 + 0,575*Lys	≤0,0001	0,704	-----
Eficiência de utilização da lisina (%) – S				
Quadrático	EULys = -65,552 + 283,322*Lys - 137,810*Lys ²	≤0,0001	0,973	1,027
Eficiência de utilização da lisina (%) – D				
Linear	EULys = 112,907 - 31,500*Lys	0,0002	0,572	-----

⁽¹⁾O número entre parênteses deve ser subtraído para obter a equação específica para a técnica da diluição das dietas

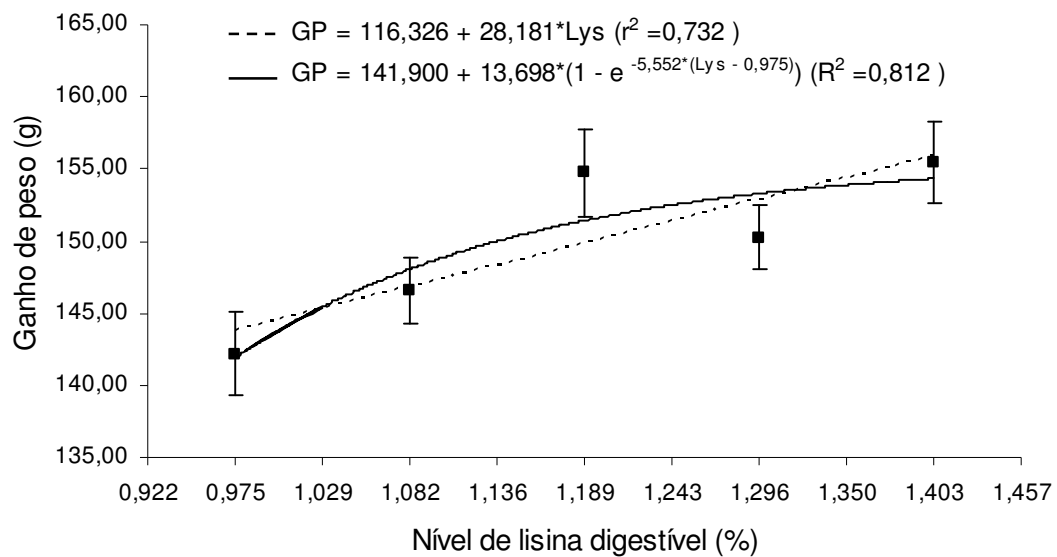


Figura 1. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão) e dos modelos ajustados para o ganho de peso de frangos de corte de 1 a 8 dias.

Tendo em vista os efeitos dos níveis de lisina e da técnica de formulação sobre a CA (Tabela 15), realizou-se um teste para comparar os parâmetros (β_0 , β_1 e β_2) das curvas-resposta produzidas por cada técnica. Foram detectadas diferenças apenas entre as constantes (β_0) das equações individuais (Tabela 16), evidenciando que o comportamento das respostas de CA não sofreu influência da técnica de formulação das dietas, entretanto, a amplitude dessas respostas foi diferenciada.

O nível de lisina digestível de 1,361% (0,460%/Mcal EM) foi estimado para melhorar a CA das aves independente da técnica de formulação (Figura 2), contudo, foi possível observar que a diluição das dietas potencializou as respostas de CA (1,115g/g), proporcionando valores 3,4% inferiores em relação à técnica de suplementação dos aminoácidos (1,154g/g).

Utilizando-se a equação ajustada para o CLys (Tabela 16), a estimativa de 1,361% correspondeu ao consumo de lisina digestível de 2,38g (340 mg/dia) no período de 1 a 8 dias, estando de acordo com as recomendação de ROSTAGNO et al. (2005) de 1,363% (2,30g; 328mg/dia), para frangos de corte de desempenho superior durante o período de 1 aos 7 dias. Por outro lado, esses resultados são superiores aos obtidos

recentemente por GOULART et al. (2008), que recomendaram 1,286% (236mg/dia) para frangos Cobb de 1 aos 7 dias de idade.

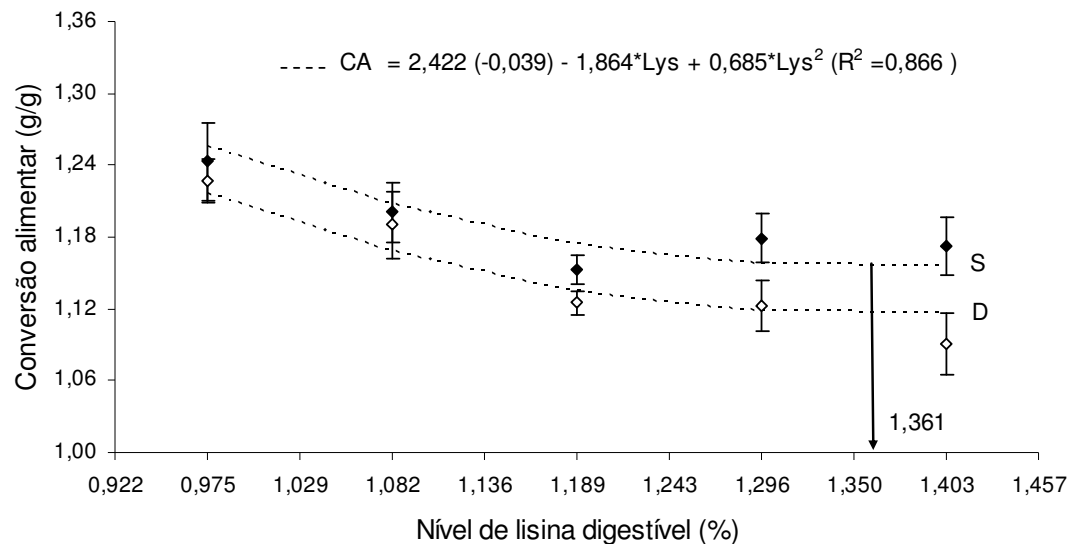


Figura 2. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelo ajustado e estimativa do nível de lisina com base na conversão alimentar de frangos de corte de 1 a 8 dias. (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas; o número entre parêntese deve ser subtraído para obter a equação para o método de diluição de dietas)

O comportamento das respostas de DPBC, DGC, DLysC e EULys, em função dos níveis de lisina, foi afetado pela técnica de formulação (Tabela 15), evidenciado a necessidade do ajuste de equações distintas. Pela técnica da suplementação dos aminoácidos a DPBC, DLysC e a EULys apresentaram comportamento curvilíneo, enquanto a DGC não foi afetada pelos níveis de lisina das dietas. Já a técnica da diluição resultou em respostas lineares crescentes de DPBC e DLysC, e decrescentes de DGC e EULys com o aumento dos níveis de lisina digestível (Tabela 16).

Quando utilizou-se a técnica da suplementação dos aminoácidos foi possível ajustar os modelos LRP, quadrático e exponencial, sendo obtidas diferentes estimativas dos níveis de lisina (Tabela 16; Figura 3).

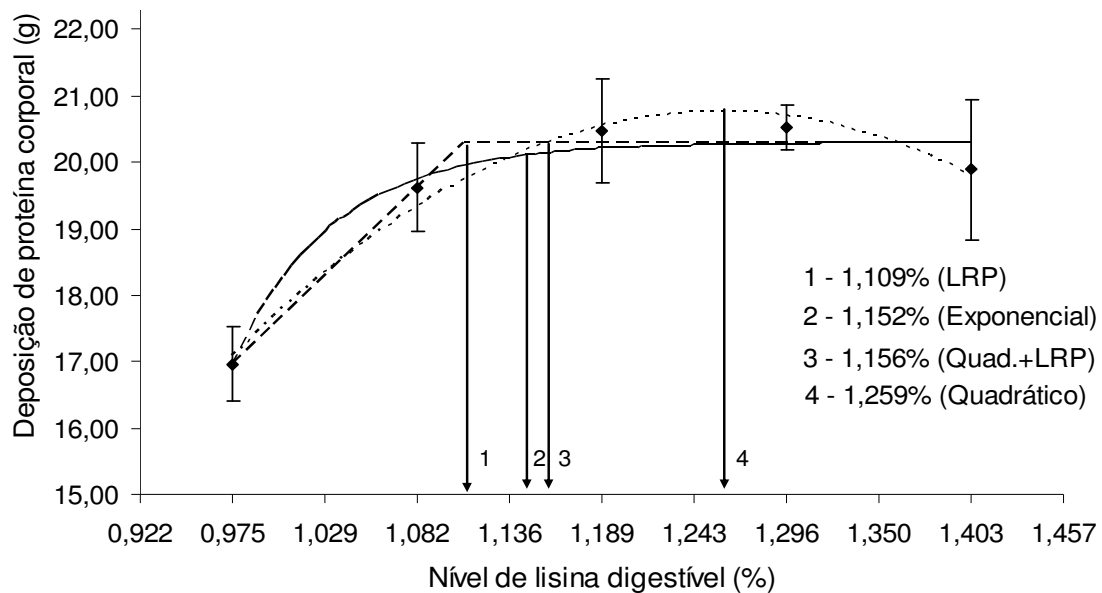


Figura 3. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de proteína de frangos de corte de 1 a 8 dias, recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação.

Com base no modelo LRP, a máxima resposta de DPBC (20,28g) foi alcançada com o nível de lisina digestível estimado em 1,109%, estabilizando-se a partir de então. Pela equação quadrática, a máxima resposta (20,71 g) foi obtida com o nível estimado em 1,259%. Utilizando-se o modelo exponencial, assumindo 95% da resposta assintótica (20,29 g), estimou-se o nível de lisina de 1,152%. A primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP, proposto por BAKER et al. (2002), foi estimada em 1,156% $\left(\frac{-115,538 + (115,538^2 - 4 \cdot -45,902 \cdot (-20,284 - 51,938))^{1/2}}{2 \cdot -45,902} = 1,156 \right)$.

A DLysC apresentou comportamento semelhante à DPBC, sendo estimados os níveis de lisina de 1,109; 1,261; 1,157 e 1,159%, com base nos modelos LRP, quadrático, exponencial e LRP+quadrático, respectivamente (Tabela 16; Figura 4).

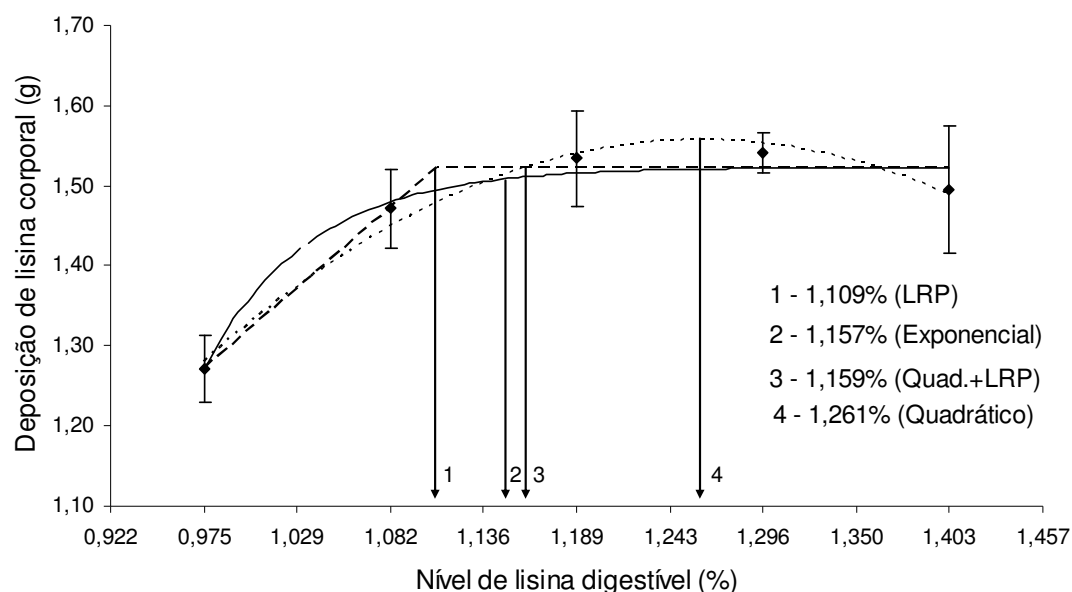


Figura 4. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de lisina de frangos de corte de 1 a 8 dias, recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação.

A similaridade das estimativas obtidas para a DPBC e a DLysC não foi surpreendente, uma vez que os conteúdos de lisina corporal, no início e no final de cada fase, foram obtidos à partir dos conteúdos de proteína. Pela técnica da diluição das dietas, as respostas de DPBC e DLysC aumentaram de forma linear com os níveis de lisina das dietas, permitindo somente o ajuste do modelo de regressão simples, impossibilitando a estimativa dos níveis ótimos (Tabela 16).

Com a utilização da técnica da suplementação dos aminoácidos a DGC não foi afetada pelos níveis de lisina digestível. Por outro lado, quando as dietas foram formuladas pela técnica da diluição, observou-se que a DGC reduziu de forma linear (Tabelas 16) com o aumento dos níveis de lisina.

O aumento do nível de um dado aminoácido limitante na dieta pode alterar a composição do ganho de peso, reduzindo a deposição de gordura em frangos de corte (JONES, 1986; LECLERCQ, 1998; GOUS, 1998 e 2007), entretanto, os resultados do presente estudo confirmaram esta hipótese somente quando a técnica da diluição das dietas foi utilizada.

A EULys reduziu à partir do nível de lisina digestível estimado em 1,027%, quando as dietas foram formuladas pela suplementação dos aminoácidos. Por outro lado, com a técnica da diluição a EULys se comportou de maneira linear decrescente (Tabela 16).

Os fatores que afetam a eficiência de utilização dos aminoácidos para a retenção de proteína corporal foram detalhadamente revisados por HEGER & FRYDRYCH (1989), que apontaram a concentração relativa do aminoácido na dieta como o principal determinante da sua eficiência de utilização. Com níveis subótimos de ingestão, a utilização dos aminoácidos é mais eficiente e somente uma pequena fração é degradada. Com o aumento da concentração do aminoácido limitante na dieta, sua eficiência de utilização decresce em virtude da maior proporção deste aminoácido ser direcionada para processos metabólicos alternativos, não relacionados com a deposição protéica (HEGER & FRYDRYCH, 1989), o que pode explicar a redução da EULys com o aumento dos níveis de lisina, observada no presente estudo.

De um modo geral, as aves que receberam dietas formuladas pela na técnica da diluição utilizaram a lisina de forma mais eficiente (75,57%), em relação às aves que receberam as dietas formuladas pela suplementação dos aminoácidos (73,22%), justificando as melhores respostas de CA observadas com a técnica da diluição das dietas (Tabela 15). Considerando que a técnica da suplementação proporciona diferentes relações animoacídicas entre os tratamentos avaliados, e que pela técnica da diluição essas relações são constantes, os resultados confirmaram que o balanço de aminoácidos da dieta pode afetar a eficiência de utilização do primeiro limitante, conforme relatado por HEGER & FRYDRYCH (1989).

Observou-se que a técnica da diluição das dietas favoreceu a expressão do potencial produtivo das aves, o que pode ser confirmado pelas melhores respostas de CA, pela redução da DGC e pelo comportamento linear crescente da DPBC e da DLysC.

As respostas curvilíneas de DPBC e DLysC, obtidas com a técnica da suplementação, sugeriram que a expressão destas variáveis pode ter sido limitada por

outro aminoácido, que tornou-se limitante à medida que L-lisina HCl foi adicionado nas dietas experimentais.

Embora a glicina e a serina sejam considerados aminoácidos não essenciais (D'MELLO, 2003), estudos indicam que a glicina pode ser considerada condicionalmente essencial para frangos de corte, especialmente nos estágios iniciais de vida, quando dietas vegetais suplementadas com aminoácidos cristalinos são utilizadas (CORZO et al., 2004; DEAN et al., 2006). CORZO et al. (2004) relataram a especificidade das necessidades de glicina dietética, e sugeriram que a transaminação de aminoácidos como a treonina ou a serina em glicina poderia não ser metabolicamente eficaz para atender as necessidades de glicina. Com base nisso, é possível que as respostas curvilíneas de DPBC e DLysC, obtidas pela técnica da suplementação tenham sido decorrentes das deficiências relativas de glicina + serina total nos tratamentos contendo 1,296 e 1,403% de lisina digestível (Tabela 3).

O nível de lisina digestível de 1,361% (0,460%/Mcal EM) na dieta, estimado com base na CA, foi considerado adequado para atender as exigências de frangos de corte Cobb 500 na fase pré-inicial (1 a 8 dias), correspondendo ao consumo de 2,38g (340mg/dia) de lisina digestível durante este período.

Técnicas de formulação das dietas e exigências de lisina de frangos de corte na fase inicial (8 a 22 dias)

Na fase inicial, os níveis de lisina digestível atuaram de maneira independente da técnica de formulação para todas as variáveis avaliadas, com exceção da DGC e do PRP (Tabela 17), sugerindo que os efeitos da técnica sobre as respostas das aves foram menos pronunciados que na fase pré-inicial.

O CR das aves não foi influenciado pelos níveis de lisina ou pela técnica de formulação das dietas, resultando em aumento linear do CLys (Tabelas 17 e 18). Resultados semelhantes foram obtidos por CONHALATO et al. (1999; 2000) e CELLA et al. (2001), que não verificaram efeito dos níveis de lisina sobre o CR de frangos Hubbard e Ross, respectivamente, durante o período de 1 a 21 dias de idade.

Tabela 17. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 8 a 22 dias de idade

Variável	Técnica de Formulação ⁽¹⁾	Nível de lisina digestível (%)						CV ⁽²⁾ (%)		P>F ⁽³⁾	
		0,840	0,932	1,024	1,116	1,208	Geral	Lisina	Técnica	Lisina x Técnica	
CR (g)	S	938,50	923,33	943,59	950,43	942,85	939,74	3,58	0,5685	0,1977	0,9567
	D	921,42	924,15	925,55	942,17	929,00	928,46				
	Geral	929,96	923,24	934,57	946,30	935,93					
CLys (g)	S	7,883	8,607	9,662	10,607	11,390	9,630	3,52	≤0,0001	0,1902	0,9600
	D	7,740	8,613	9,478	10,515	11,223	9,514				
	Geral	7,812	8,610	9,570	10,561	11,307					
GP (g)	S	555,57	588,85	632,60	640,96	633,31	610,26	3,03	≤0,0001	0,1246	0,4168
	D	555,26	597,44	627,13	654,03	654,92	617,75				
	Geral	555,41	593,14	629,86	647,50	644,11					
CA (g/g)	S	1,653	1,570	1,492	1,483	1,488	1,533	2,73	≤0,0001	0,0104	0,2659
	D	1,659	1,547	1,476	1,441	1,419	1,508				
	Geral	1,657	1,558	1,484	1,462	1,454					
DPBC (g)	S	90,31	92,64	99,83	103,60	104,54	98,18	6,22	≤0,0001	0,4445	0,2384
	D	84,71	97,24	95,02	104,43	103,48	96,98				
	Geral	87,51	94,94	97,42	104,02	104,01					
DGC (g)	S	56,89	60,69	63,75	58,90	58,93	59,83	10,06	≤0,0001	0,1059	≤0,0001
	D	68,13	67,44	57,83	47,19	46,04	57,33				
	Geral	62,51	64,06	60,79	53,05	52,48					
DLysC (g)	S	6,634	6,864	7,347	7,633	7,712	7,238	6,02	≤0,0001	0,8556	0,3938
	D	6,327	7,187	7,119	7,756	7,699	7,218				
	Geral	6,480	7,026	7,233	7,695	7,706					
EULys ⁽⁴⁾ (%)	S	87,80	82,85	78,73	74,32	69,79	78,70	5,91	≤0,0001	0,5802	0,4665
	D	85,20	86,92	77,77	76,14	70,82	79,37				
	Geral	86,50	84,88	78,25	75,23	70,30					
PRP (%)	S	3,95	3,06	3,79	3,69	3,54	3,61	19,99	0,5225	≤0,0001	0,0005
	D	2,22	3,36	1,90	2,84	2,65	2,59				
	Geral	3,09	3,21	2,84	3,26	3,10					

⁽¹⁾ S = técnica de suplementação gradativa dos aminoácidos, D = técnica de diluição das dietas. ⁽²⁾ CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾ teste "F" da análise de variância. ⁽⁴⁾ EULys = DLysC (mg/dia)/(CLys (mg/dia)-Lys_m (mg/dia))x100, sendo Lys_m = 45mg/kg^{0,75}/dia (Capítulo 2).

Tabela 18. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 8 a 22 dias de idade

Modelo	Variável / Equação	P>F	R ²	NLys (%)
Consumo de lisina digestível (g)				
Linear	CLys = - 0,380 + 9,718*Lys	≤0,0001	0,995	-----
Ganho de peso (g)				
LRP	GP = 645,800 - 404,600*(1,063 - Lys)	≤0,0001	0,999	1,063
Quadrático	GP = -525,992 + 2002,911*Lys - 854,980*Lys ²	≤0,0001	0,992	1,171
Exponencial	GP = 553,600 + 107,700*(1 - e ^{-6,065*(Lys - 0,840)})	≤0,0001	0,978	1,334
Quad.+ LRP	-552,992 + 2002,911*Lys - 854,980*Lys = 645,800	-----	-----	1,133
Conversão alimentar ⁽¹⁾ (g/g)				
Quadrático	CA=4,021(+0,160)-4,463(-0,187)*Lys+1,958*Lys ²	≤0,0001	0,995	1,140 (S) 1,187 (D)
Deposição de proteína corporal (g)				
Linear	DPBC = 50,742 + 45,740*Lys	≤0,0001	0,926	-----
LRP	DPBC = 104,000 - 56,527*(1,120 - Lys)	≤0,0001	0,978	1,120
Deposição de gordura corporal (g) – S				
-----	DGC = 59,832	-----	-----	-----
Deposição de gordura corporal (g) – D				
Linear	DGC = 129,033 - 70,027*Lys	≤0,0001	0,924	-----
LRP	DGC = 46,042 + 78,730*(1,157 - Lys)	≤0,0001	0,938	1,157
Deposição de lisina corporal (g)				
Linear	DLysC = 3,755 + 3,391*Lys	≤0,0001	0,931	-----
LRP	DLysC = 7,706 - 4,185*(1,121 - Lys)	≤0,0001	0,982	1,121
Eficiência de utilização da lisina (%)				
Linear	EULys = 125,835 - 45,704*Lys	≤0,0001	0,975	-----

⁽¹⁾As operações entre parênteses devem ser realizadas para obter a equação específica para a técnica da diluição das dietas (D).

Por outro lado, COSTA et al. (2001) e GOULART et al. (2008) observaram aumento do CR quando estudaram os efeitos dos níveis de lisina em frangos Ross de 1 a 21, e Cobb de 8 a 21 dias de idade, respectivamente.

Não foi observado efeito da técnica de formulação sobre o GP das aves, que aumentou com os níveis de lisina digestível das dietas, possibilitando o ajuste dos modelos LPR, quadrático e exponencial (Tabelas 17 e 18). As máximas respostas de GP estimadas com base nos modelos LRP (645,80g) e quadrático (647,03g) corresponderam aos níveis de lisina digestível de 1,063 e 1,171% (2002,911/(2*854,98) = 1,171), respectivamente. O nível de lisina digestível de 1,334% ($\ln(0,05)/-6,065+0,840$ = 1,334), obtido com o uso do modelo exponencial, foi 10% superior ao maior nível de lisina testado, sendo considerado uma recomendação inadequada.

A combinação dos modelos LRP e quadrático resultou na estimativa de 1,133% de lisina digestível na dieta ($((-2002,911 + (2002,911^2 - 4 \cdot 854,98 \cdot (-525,992 - 645,8))^{1/2}) / (2 \cdot -854,98) = 1,133$). Tendo em vista a similaridade entre as máximas respostas de GP, obtidas com os modelos LRP (645,80g) e quadrático (647,03g), o nível estimado em 1,063% pelo modelo LRP pode ser considerado a recomendação mais adequada para esta variável, uma vez que à partir deste nível, a melhora no GP das aves foi praticamente inexistente (0,19%) (Figura 5).

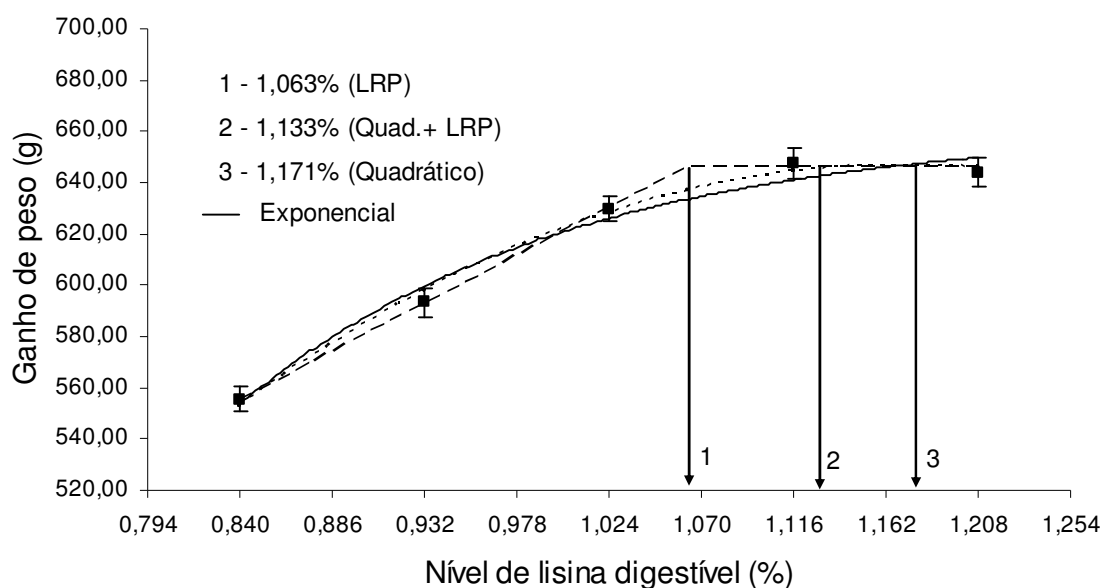


Figura 5. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no ganho de peso de frangos de corte de 8 a 22 dias.

A CA foi influenciada pela técnica de formulação das dietas e pelos níveis de lisina digestível, não sendo observada interação entre estes fatores (Tabela 17). O resultado da análise de variância evidenciou que os fatores atuaram de maneira independente, sugerindo que a técnica utilizada na formulação das dietas não afetou o comportamento das respostas de CA de frangos de corte de 8 a 22 dias. Entretanto, o teste realizado para comparar os parâmetros (β_0 , β_1 e β_2) das equações de cada técnica, detectou diferenças entre as constantes (β_0) e os componentes lineares (β_1), evidenciando que, além da amplitude, o comportamento das respostas de CA variou de

acordo com a técnica de formulação das dietas, apesar da ausência de interação entre os fatores pela análise de variância (Tabela 18). Do ponto de vista estatístico, os resultados de CA demonstram a ineficiência da análise de variância para explorar dados quantitativos, conforme recentemente discutido por PESTI et al. (2009). Nesse sentido, torna-se necessário a utilização de métodos mais sensíveis, capazes de explorar efeitos de fatores qualitativos sobre a expressão das respostas decorrentes de fatores quantitativos. No presente estudo, o modelo adaptado de KAPS & LAMBERSON (2004) mostrou-se adequado para este propósito, permitindo a análise detalhada dos dados de CA.

Observou-se que os níveis crescentes de lisina proporcionaram valores de CA gradualmente inferiores com a utilização da técnica da diluição, sendo a melhor resposta (1,420g/g) obtida com o nível de lisina digestível estimado em 1,140% $((4,463+0,187)/(2*1,958)=1,140)$, que foi superior ao nível de 1,140% $(4,463/(2*1,958)=1,140)$, estimado para melhorar a resposta de CA (1,478g/g) pela técnica da suplementação dos aminoácidos (Figura 6).

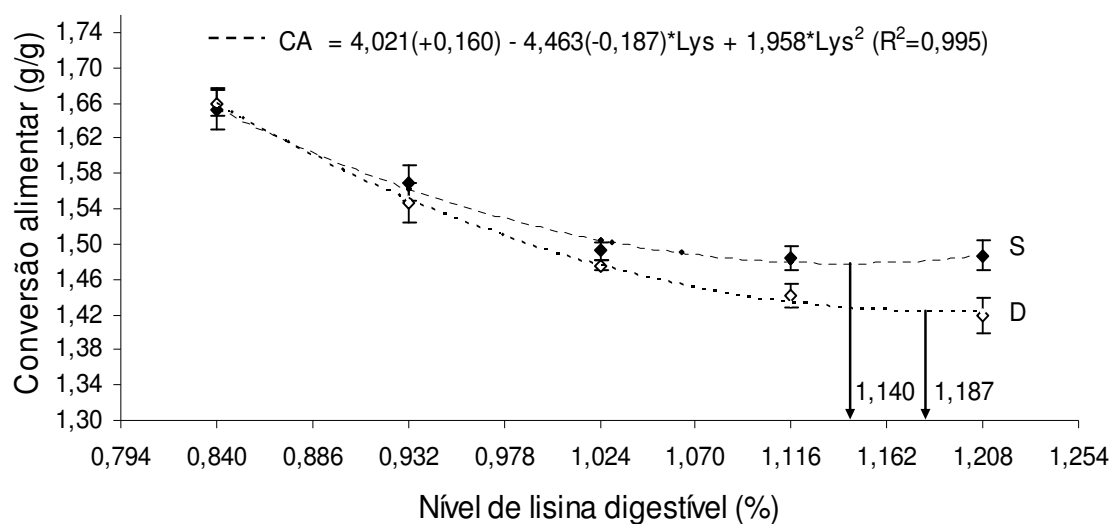


Figura 6. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelo ajustado e estimativa dos níveis de lisina com base na conversão alimentar de frangos de corte de 8 a 22 dias. (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas; as operações entre parênteses devem ser realizadas para obter a equação específica para a técnica da diluição das dietas)

De uma abordagem pontual, as respostas de CA obtidas com a suplementação dos aminoácidos cessaram-se antes daquelas observadas com a diluição das dietas, evidenciando que esta técnica favoreceu a expressão do potencial produtivo das aves. Com base nisso o nível de lisina digestível estimado em 1,187%, correspondente ao consumo de 11,16g ($-0,380+(9,718 \times 1,187)=11,16$) de lisina digestível pode ser considerado a estimativa mais adequada para melhorar a CA de frangos de corte de 8 a 22 dias de idade.

As respostas de DPBC e DLysC não foram afetadas pela técnica de formulação das dietas, sofrendo influência apenas dos níveis de lisina digestível (Tabela 17). Apesar de terem apresentado comportamento linear crescente, foi possível ajustar o modelo LRP aos dados de DPBC e DLysC, obtendo-se as máximas respostas (104,0g e 7,71g) com os níveis de lisina digestível estimados em 1,120% e 1,121%, respectivamente (Tabela 18; Figuras 7 e 8).

Houve interação entre os fatores estudados (lisina x técnica) para a DGC, indicando que esta variável se comportou de maneira diferenciada dependendo da técnica de formulação (Tabela 17). Com o emprego da técnica da suplementação dos aminoácidos, a DGC não foi afetada pelos níveis de lisina, entretanto, quando a técnica da diluição foi utilizada para formular as dietas, a DGC reduziu até o nível de lisina estimado em 1,157%, com base no modelo LRP (Tabela 18; Figura 9).

Não observou-se efeito da técnica de formulação sobre a EULys, que reduziu de forma linear em resposta ao aumento dos níveis de lisina das dietas (Tabelas 17 e 18). Partindo do princípio que as dietas obtidas pelas técnicas da suplementação e da diluição possuíam balanços aminoacídicos distintos (Tabelas 6 e 8), e tendo em vista que este balanço é um dos principais fatores que afetam a eficiência de utilização dos aminoácidos limitantes (HEGER & FRYDRYCH, 1989), a ausência de efeitos da técnica de formulação sobre a EULys, observada na fase inicial foi inesperada, apesar dos resultados terem confirmado o efeito dos níveis de lisina sobre a EULys, observado na fase pré-inicial.

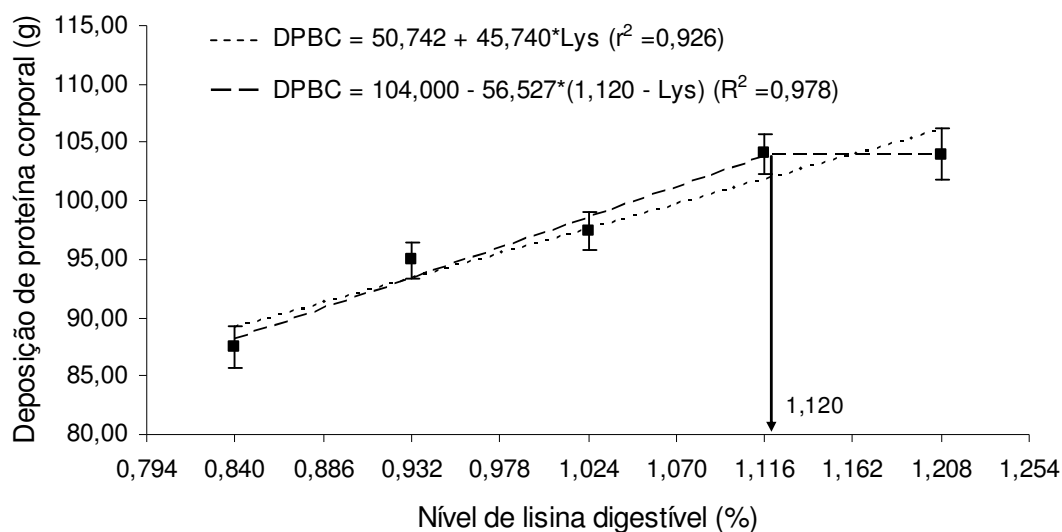


Figura 7. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelos ajustados, e estimativa do nível de lisina com base na deposição de proteína corporal de frangos de corte de 8 a 22 dias.

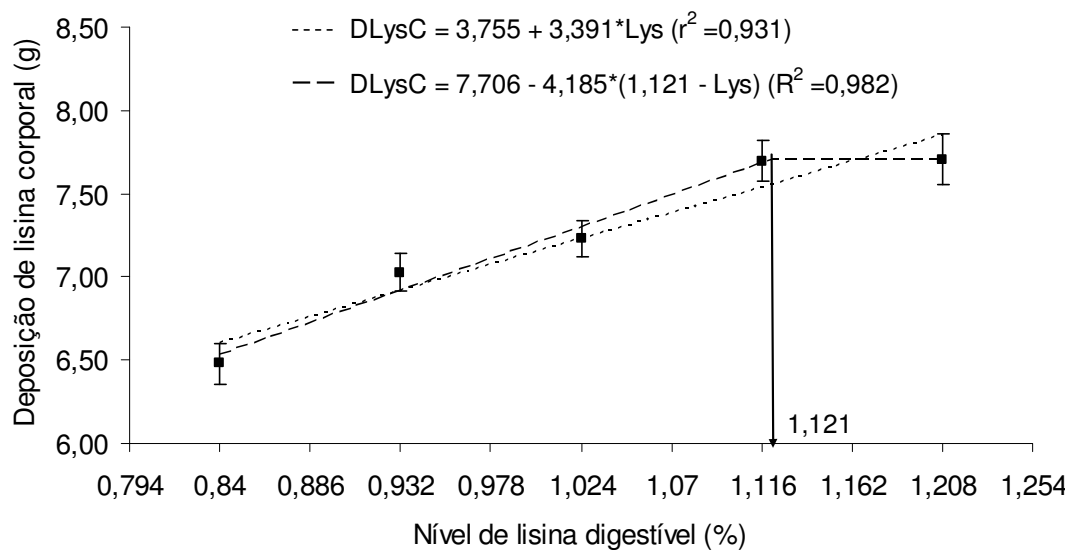


Figura 8. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelos ajustados e estimativa do nível de lisina com base na deposição de lisina corporal de frangos dos corte de 8 a 22 dias.

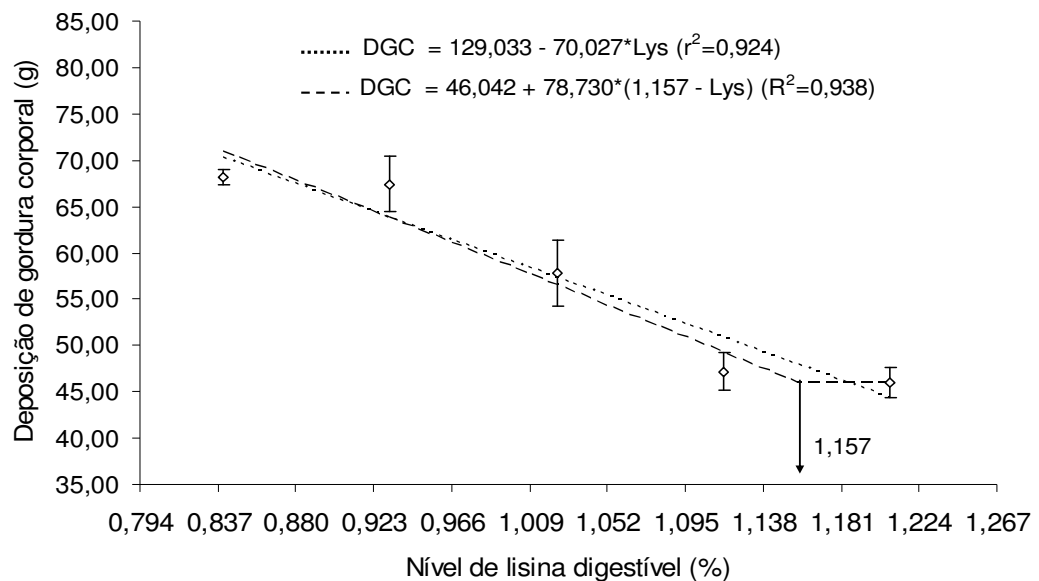


Figura 9. Representação gráfica dos modelos ajustados e do nível de lisina digestível estimado com base na deposição de gordura corporal de frangos de corte de 8 a 22 dias, recebendo dietas formuladas pela técnica da diluição.

Houve interação dos fatores estudados para o PRP (Tabela 17), entretanto, não foi possível ajustar nenhum dos modelos de regressão propostos. Esse resultado pode estar relacionado com a alta variação aleatória ($CV=19,99\%$) observada para essa variável na fase inicial, visto que nesse período os frangos de corte estão em pleno processo de substituição da plumagem.

Os efeitos da técnica de formulação das dietas sobre o CR, CLys, GP, CA e DGC, de um modo geral, concordaram com àqueles observados durante a fase pré-inicial (1 a 8 dias). Contudo, as respostas de DPBC, DLysC e EULys não foram afetadas pela técnica de formulação, contrastando com os resultados da fase pré-inicial. Essas observações sugerem que o estágio de desenvolvimento das aves exerce algum efeito sobre a tolerância às variações no balanço aminoacídico das dietas. Apesar disso, os resultados de CA e DGC observados na fase inicial podem sustentar argumentos à favor da utilização da técnica da diluição das dietas.

O nível de lisina digestível estimado em 1,187% (0,395%/Mcal EM), com base na CA foi considerado a estimativa mais adequada das exigências de frangos de corte

Cobb 500. Este nível correspondeu ao consumo de lisina digestível de 11,16g ou 797mg/dia durante o período de 8 a 22 dias, concordando com ROSTAGNO et al. (2005), que recomendaram 1,189% ou 797mg/dia de lisina digestível para frangos de corte de desempenho superior de 8 a 21 dias de idade. Estes valores foram superiores aos recomendados por BAKER et al. (2002), de 0,964%, e recentemente por GOULART et al. (2008), de 1,057% de lisina digestível em dietas para frangos de corte de 8 a 21 dias.

Técnicas de formulação das dietas e exigências de lisina de frangos de corte em crescimento (22 a 35 dias)

Os níveis crescentes de lisina digestível das dietas afetaram as respostas de todas as variáveis avaliadas, com exceção do CR, havendo dependência da técnica de formulação para a DPBC, DGC, DLysC e PRP (Tabela 19).

Não foram observados efeitos dos níveis de lisina ou da técnica de formulação sobre o CR das aves, o que pode justificar o comportamento linear crescente do CLys (Tabela 20), conforme observado nas fases anteriores. Este resultado concorda com os obtidos por diversos autores (MENDES et al., 1997; COSTA et al., 2001; BORGES et al., 2002; VALÉRIO et al., 2003; LANA et al., 2005; AMARANTE Jr. et al., 2005; SIQUEIRA, et al., 2007) que avaliaram as respostas de frangos de corte recebendo níveis crescentes de lisina entre 20 e 42 dias, e não observaram efeito sobre o CR das aves.

O GP aumentou com os níveis de lisina da dieta independentemente da técnica de formulação utilizada, sendo possível ajustar os modelos LRP, quadrático e exponencial (Tabela 20). Com base no modelo LRP, a máxima resposta de GP (1172,4g) foi alcançada com o nível de lisina digestível estimado em 0,996%.

A máxima resposta (1174,9g) obtida com o uso da equação quadrática praticamente não variou (0,21%) em relação àquela obtida com o LRP, entretanto, o nível de lisina digestível (1,099%) necessário para obter essa resposta foi aproximadamente 10% superior ao estimado com base no LRP (0,996%).

Tabela 19. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 22 a 35 dias de idade

Variável	Técnica de Formulação ⁽¹⁾	Nível de lisina digestível (%)						Geral	CV ⁽²⁾ (%)		P>F ⁽³⁾	
		0,786	0,872	0,958	1,044	1,130	1,130				Lisina	Lisina x Técnica
CR (g)	S	1933,50	1925,35	1946,01	1941,83	1915,18	1932,37	3,25	0,0872	0,4046	0,3381	0,3381
	D	1921,54	1961,68	1925,41	1941,67	1843,67	1918,79					
	Geral	1927,52	1943,51	1935,71	1941,75	1879,42						
CLys (g)	S	15,197	16,789	18,643	20,273	21,641	18,509	3,14	≤0,0001	0,3040	0,2098	0,2098
	D	15,103	17,106	18,445	20,271	20,833	18,352					
	Geral	15,150	16,948	18,544	20,272	21,237						
GP (g)	S	1013,67	1083,02	1145,73	1158,17	1191,23	1118,36	3,80	≤0,0001	0,6533	0,4011	0,4011
	D	1003,26	1090,24	1133,41	1187,00	1153,17	1113,41					
	Geral	1008,46	1086,63	1139,57	1172,58	1172,20						
CA (g/g)	S	1,909	1,778	1,699	1,677	1,608	1,734	1,66	≤0,0001	0,5892	0,1070	0,1070
	D	1,916	1,799	1,699	1,636	1,599	1,730					
	Geral	1,912	1,789	1,700	1,657	1,603						
DPBC (g)	S	153,81	166,64	192,83	194,08	194,62	180,87	7,62	≤0,0001	0,1884	0,0300	0,0300
	D	153,09	177,76	166,57	187,63	193,28	175,67					
	Geral	153,45	172,71	179,70	190,85	193,95						
DGC (g)	S	122,99	131,26	126,51	139,31	131,94	130,40	12,90	≤0,0001	0,0432	≤0,0001	≤0,0001
	D	172,08	171,54	141,59	121,94	91,55	139,74					
	Geral	147,54	151,40	134,05	130,63	111,75						
DLysC (g)	S	11,520	12,314	14,267	14,410	14,508	13,441	7,48	≤0,0001	0,0668	0,0442	0,0442
	D	11,308	13,033	12,368	13,760	14,140	12,922					
	Geral	11,414	12,706	13,308	14,085	14,324						
EULys ⁽⁴⁾ (%)	S	79,41	80,25	79,41	73,64	69,29	76,39	8,51	0,0009	0,0864	0,3035	0,3035
	D	78,19	79,30	69,68	70,27	70,15	73,52					
	Geral	78,80	79,77	74,54	71,95	69,72						
PRP (%)	S	2,61	3,69	3,49	3,22	2,89	3,18	16,06	0,0598	≤0,0001	0,0034	0,0034
	D	4,00	4,21	3,24	4,20	4,37	4,00					
	Geral	3,24	3,95	3,37	3,71	3,63						

⁽¹⁾ S = técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos, D = técnica de diluição das dietas. ⁽²⁾ CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾ teste "F" da análise de variância. ⁽⁴⁾ EULys = DLysC (mg/dia)/(CLys (mg/dia)-Lys_m (mg/dia))x100, sendo Lys_m = 45mg/kg^{0,75}/dia (Capítulo 2).

Tabela 20. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 22 a 35 dias de idade

Modelo	Variável / Equação	P>F	R ²	NLys (%)
Consumo de lisina digestível (g)				
Linear	CLys = 1,170 + 18,017*Lys	≤0,0001	0,991	-----
Ganho de peso (g)				
LRP	GP = 1172,400 - 762,300*(0,996 - Lys)	≤0,0001	0,995	0,996
Quadrático	GP = -888,499 + 3756,583*Lys - 1709,740*Lys ²	≤0,0001	0,999	1,099
Exponencial	GP = 1007,000 + 189,200*(1 - e ^{-6,882*(Lys - 0,786)})	≤0,0001	0,993	1,221
Quad.+ LRP	-888,499 + 3756,583*Lys - 1709,740*Lys ² = 1172,400	-----	-----	1,060
Conversão alimentar (g/g)				
LRP	CA = 1,630 + 1,236*(1,010 - Lys)	≤0,0001	0,972	1,010
Quadrático	CA = 4,193 - 4,320*Lys + 1,800*Lys ²	≤0,0001	0,995	1,200
Exponencial	CA = 1,912 - 0,390*(1 - e ^{-4,393*(Lys - 0,786)})	≤0,0001	0,993	1,468
Quad.+ LRP	4,193 - 4,320*Lys + 1,800*Lys ² = 1,630	-----	-----	1,073
Deposição de proteína corporal (g) – S				
LRP	DPBC = 194,300 - 226,900*(0,973 - Lys)	≤0,0001	0,981	0,973
Quadrático	DPBC = -381,445 + 1063,053*Lys - 489,342*Lys ²	≤0,0001	0,951	1,086
Exponencial	DPBC = 152,300 + 50,091*(1 - e ^{-6,633*(Lys - 0,786)})	≤0,0001	0,931	1,238
Quad.+ LRP	-381,445 + 1063,053*Lys - 489,342*Lys ² = 194,300	-----	-----	1,029
Deposição de proteína corporal (g) – D				
Linear	DPBC = 75,143 + 104,930*Lys	≤0,0001	0,776	-----
Deposição de gordura corporal (g) – S				
-----	DGC = 130,149	-----	-----	-----
Deposição de gordura corporal (g) – D				
Linear	DGC = 374,407 - 244,955*Lys	≤0,0001	0,944	-----
Deposição de lisina corporal (g) – S				
LRP	DLysC = 14,459 - 15,969*(0,981 - Lys)	≤0,0001	0,973	0,981
Quadrático	DLysC = -24,173 + 70,187*Lys - 31,788*Lys ²	≤0,0001	0,944	1,104
Exponencial	DLysC = 11,393 + 3,824*(1 - e ^{-5,754*(Lys - 0,786)})	≤0,0001	0,927	1,307
Quad.+ LRP	-24,173 + 70,187*Lys - 31,788*Lys ² = 14,459	-----	-----	1,045
Deposição de lisina corporal (g) – D				
Linear	DLysC = 5,804 + 7,430*Lys	≤0,0001	0,799	-----
Eficiência de utilização da lisina (%)				
Linear	EULys = 103,897 - 30,209*Lys	≤0,0001	0,905	-----
Peso relativo das penas (%) – S				
Quadrático	PRP = -22,226 + 53,800*Lys - 28,024*Lys ²	0,0126	0,910	0,959

O nível de 1,221% ($\ln(0,05)/-6,882+0,786=1,221$) estimado com base modelo exponencial foi superior ao maior nível de lisina testado, sendo considerado uma superestimativa das exigências, assim como nas fases anteriores. A primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP resultou na estimativa de

1,060% de lisina digestível na dieta $((-3756,583 + (3756,583^2 - 4 * -1709,74 * (-888,499 - 1172,40))^{1/2}) / (2 * -1709,74) = 1,060)$ (Figura 10).

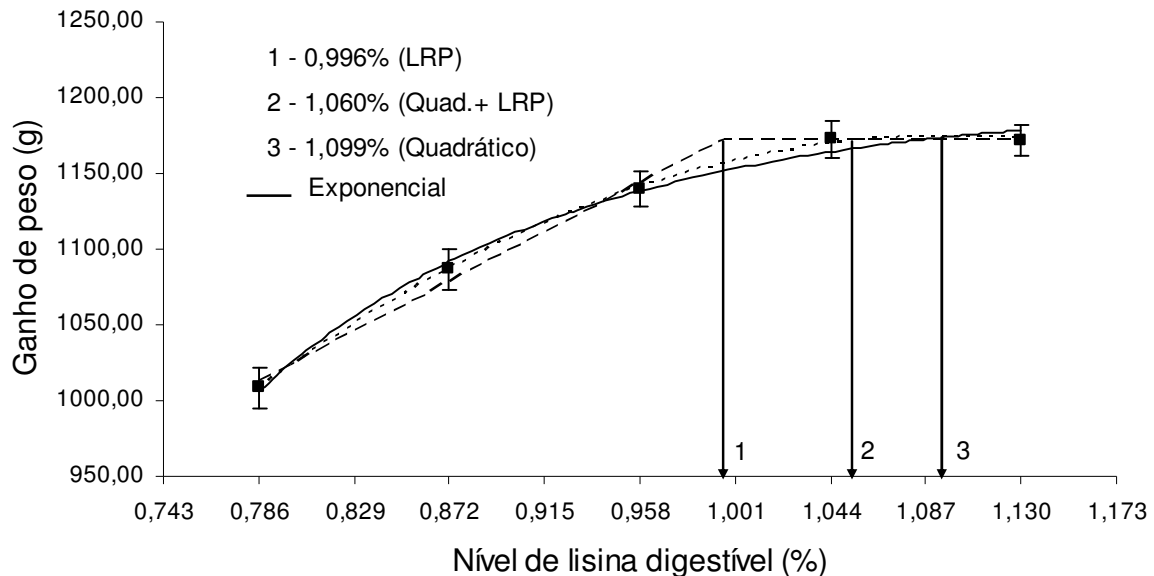


Figura 10. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no ganho de peso de frangos de corte de 22 a 35 dias.

Conforme esperado, os níveis de lisina digestíveis influenciaram de maneira positiva a CA das aves, entretanto, a técnica de formulação das dietas não exerceu efeitos sobre o comportamento ou sobre a amplitude das respostas (Tabela 19), contrastando com os resultados de CA obtidos nas fases pré-inicial e inicial.

Os modelos quadrático e exponencial foram os que melhor se ajustaram aos dados de CA, do ponto de vista estatístico, apresentando excelentes coeficientes de determinação (R^2), entretanto, os níveis de lisina estimados com base nestes modelos foram 1,200 e 1,468%, respectivamente, situando-se, em ambos os casos, fora do intervalo testado, portanto, considerados inadequados. Com base no modelo LRP, a melhor resposta de CA (1,63g/g) foi alcançada com o nível de lisina digestível estimado em 1,010%. Pela primeira intersecção da equação quadrática com o platô do LRP foi estimado o nível de 1,073% $((4,32 + (4,32^2 - 4 * -1,8 * (4,193 - 1,63))^{1/2}) / (2 * -1,8) = 1,073)$ (Figura 11).

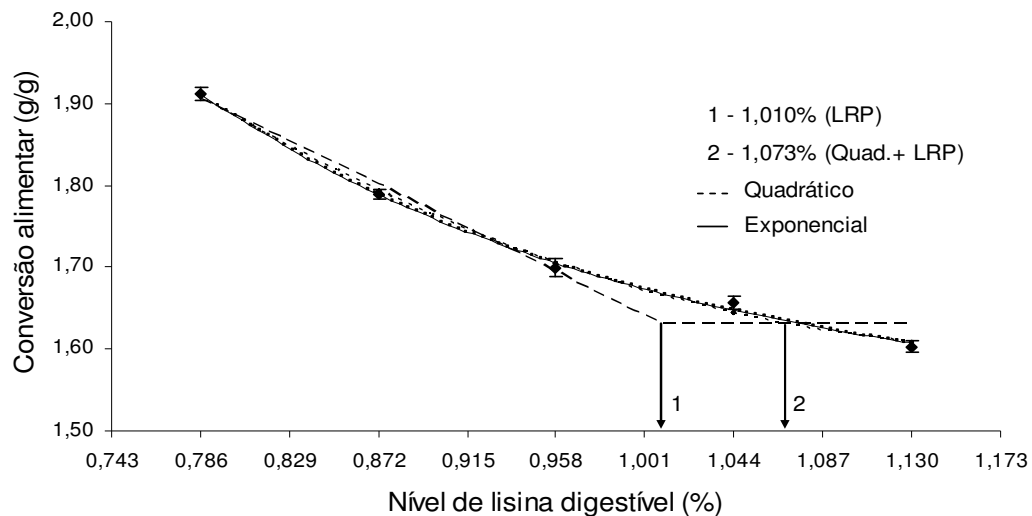


Figura 11. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na conversão alimentar de frangos de corte de 22 a 35 dias.

A técnica utilizada na formulação das dietas afetou o comportamento das respostas de DPBC, DGC e DLysC aos níveis de lisina digestível (Tabela 19), sendo necessário o ajuste de equações distintas para cada técnica.

Pela suplementação dos aminoácidos, a DPBC e a DLysC apresentaram comportamento curvilíneo, permitindo o ajuste dos modelos LRP, quadrático e exponencial, enquanto a DGC não foi afetada (Tabela 20).

Com base no modelo LRP, as máximas respostas de DPBC (194,3g) e DLysC (14,46g) foram alcançadas com os níveis de lisina digestível estimados em 0,973 e 0,981%, respectivamente. Pela equação quadrática foram estimados os níveis de 1,086 ($1063,053 / (2 \cdot 489,342) = 1,086$) e 1,104% ($70,187 / (2 \cdot 31,788) = 1,104$), respectivamente, correspondendo à DPBC de 195,9g e à DLysC de 14,56g, que foram levemente superiores àquelas estimadas com o uso do modelo LRP.

Os níveis de 1,238 ($\ln(0,05) / -6,633 + 0,786 = 1,238$) e 1,307% ($\ln(0,05) / -5,754 + 0,786 = 1,307$), estimados com base no modelo exponencial, foram superiores ao maior nível de lisina testado. A combinação dos modelos LRP e quadrático resultou nas estimativas de 1,029% para a DPBC ($(-1063,053 + (1063,053^2 - 4 \cdot 489,342 \cdot (-194,3 -$

$381,445))^{1/2}/(2*-489,342)=1,029)$ e $1,045\%$ $((-70,187+(70,187^2-4*-31,788*(-14,459-24,173))^{1/2})/(2*-31,788)=1,045)$ para a DLysC (Figuras 12 e 13).

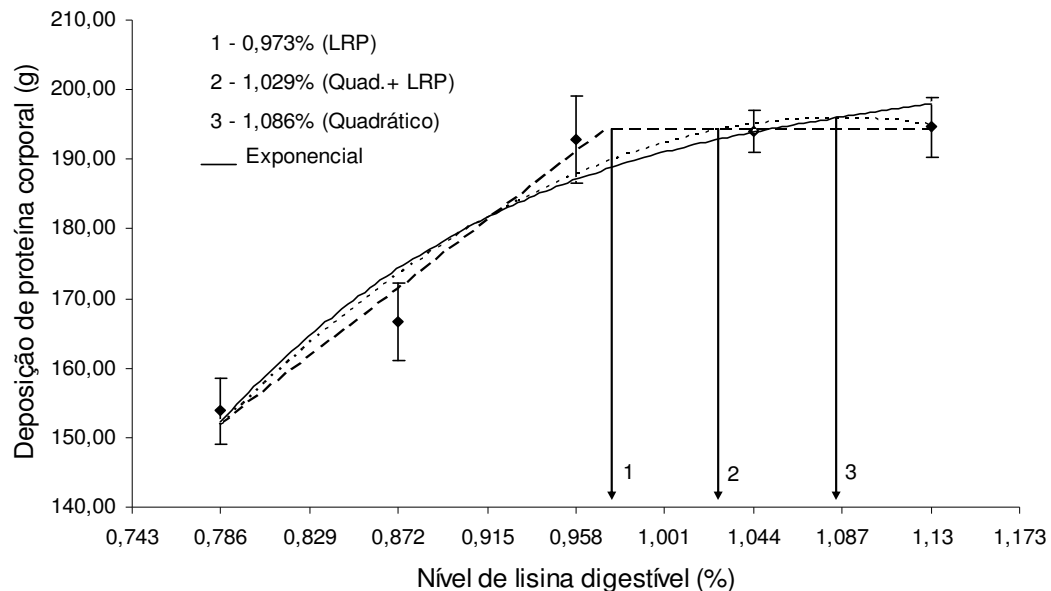


Figura 12. Níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de proteína corporal de frangos de corte de 22 a 35 dias recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação.

Pela técnica da diluição das dietas, a DPBC e a DLysC apresentaram comportamento linear crescente, enquanto a DGC reduziu à medida que os níveis de lisina digestível aumentaram (Tabela 20), concordando com os resultados obtidos para essas variáveis nas fases pré-inicial e inicial.

A EULys se comportou de maneira semelhante à observada para a fase inicial, não sendo afetada pela técnica de formulação e reduzindo de maneira linear em resposta ao aumento dos níveis de lisina das dietas (Tabelas 19 e 20). Estes resultados não confirmaram os relatos de HEGGER & FRYDRYCH (1989), de que o balanço de aminoácidos das dietas é um dos principais fatores que afetam a eficiência de utilização, reforçando a hipótese de que o estágio de desenvolvimento das aves exerce algum efeito sobre a tolerância às variações no balanço aminoacídico das dietas.

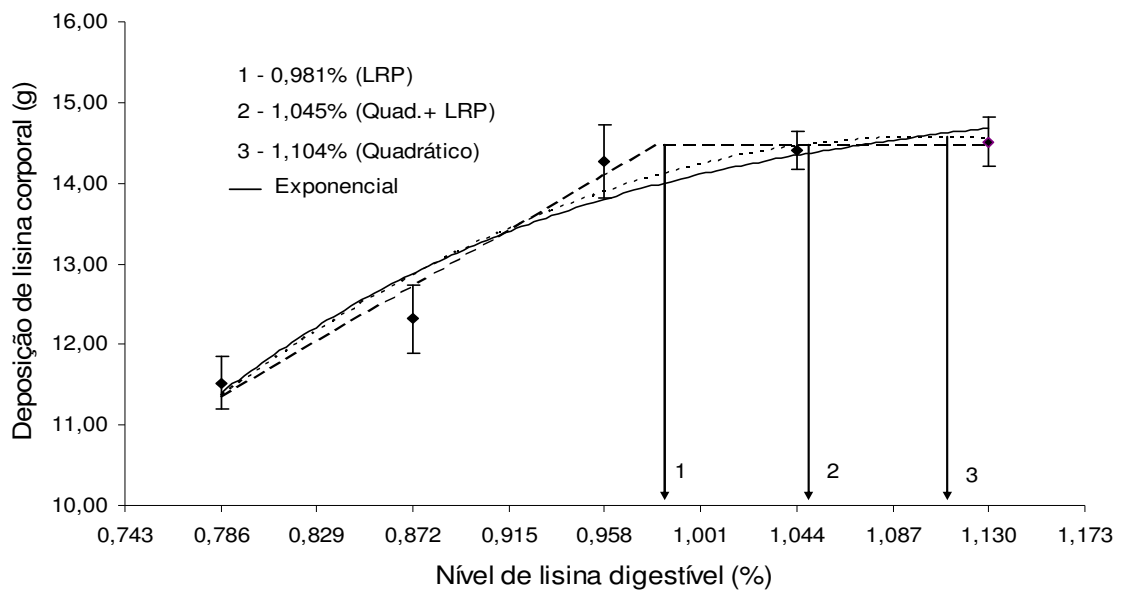


Figura 13. Níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base na deposição de lisina corporal de frangos de corte de 22 a 35 dias recebendo dietas formuladas pela técnica da suplementação.

Observou-se efeito da interação lisina x técnica para o PRP (Tabela 19). Pela técnica de suplementação o PRP assumiu um comportamento quadrático, aumentando até o nível de lisina digestível estimado em 0,959% (Tabela 20), entretanto, pela técnica da diluição, nenhum dos modelos propostos foi estatisticamente adequado para descrever as respostas de PRP.

A análise geral dos resultados da fase de crescimento (22 a 35 dias) evidenciou que os efeitos da técnica de formulação foram menos pronunciados que àqueles observados nas fases pré-inicial (1 a 8 dias) e inicial (8 a 22 dias), não existindo evidências à favor da técnica da diluição das dietas, ao contrário das fases anteriores.

Independente do modelo de regressão utilizado as estimativas dos níveis de lisina digestível, obtidas com base na CA das aves foram superiores àquelas obtidas com base no GP, concordando com os resultados de diversos autores (HAN & BAKER, 1994; LECLERCQ, 1998; MACK et al., 1999; BAKER et al., 2002). Tendo em vista que sob condições práticas o nutricionista busca otimizar a CA, o nível de 1,073% (0,346%/Mcal EM), equivalente ao consumo de lisina digestível de 20,50g (1,577 g/dia),

foi considerado o mais adequado para atender as exigências de frangos de corte na fase de crescimento (22 a 35 dias). Este valor foi levemente inferior à recomendação de ROSTAGNO et al. (2005), que é de 1,099% (1,55g/dia) de lisina digestível para frangos de corte de desempenho superior no período de 22 a 33 dias.

Técnicas de formulação das dietas e exigências de lisina de frangos de corte em terminação (35 a 42 dias)

Os níveis de lisina digestível das dietas afetaram as respostas de todas as variáveis avaliadas, havendo efeito da técnica de formulação sobre o CR, CLys e a CA das aves. As respostas de DPBC, DGC, DLysC, EULys e PRP em função dos níveis de lisina digestível foram dependentes da técnica de formulação utilizada (Tabela 21).

Tendo em vista os efeitos de Lisina e técnica sobre o CR, CLys e CA, foram realizados testes de paralelismo para comparar os parâmetros (β_0 , β_1 ou β_2) das equações de cada técnica, em cada uma destas variáveis.

O CR apresentou comportamento quadrático independente da técnica de formulação utilizada, reduzindo à partir do nível de lisina digestível estimado em 0,830% ($1935,710/(2*1165,717)=0,830$). Entretanto, a diferença observada entre as constantes (β_0) das equações evidenciou que a amplitude das respostas proporcionadas pelas diferentes técnicas variou, de modo que as aves que receberam dietas formuladas pela técnica da diluição consumiram menos ração que as aves alimentadas com dietas formuladas pela técnica da suplementação (Tabela 22; Figura 14).

Estes resultados diferem daqueles obtidos nas fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias) e crescimento (22 a 35 dias), onde o CR não foi influenciado pelos níveis de lisina ou pela técnica de formulação. Diferem também dos resultados de diversos estudos conduzidos com frangos de corte entre 20 e 42 dias (MENDES et al., 1997; COSTA et al., 2001; BORGES et al., 2002; VALÉRIO et al., 2003; LANA et al., 2005; AMARANTE Jr. et al., 2005; SIQUEIRA, et al., 2007), que não observaram efeito dos níveis de lisina sobre o CR das aves.

Tabela 21. Consumo de ração (CR), consumo de lisina digestível (CLys), ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), deposições de proteína (DPBC), gordura (DGC) e lisina (DLysC) corporal, eficiência de utilização da lisina (EULys) e peso relativo das penas (PRP) de frangos de corte Cobb 500 de 35 a 42 dias de idade

Variável	Técnica de Formulação ⁽¹⁾	Nível de lisina digestível (%)					Geral	CV ⁽²⁾ (%)		P>F ⁽³⁾	
		0,745	0,826	0,907	0,989	1,070		Lisina	Técnica	Lisina x Técnica	
CR (g)	S	1552,33	1599,45	1561,67	1527,17	1533,04	1554,73	2,89	0,0015	≤0,0001	0,3922
	D	1511,83	1516,17	1517,67	1483,33	1437,37	1493,27				
	Geral	1532,08	1557,81	1539,67	1505,25	1485,20					
CLys (g)	S	11,563	13,210	14,165	15,103	16,403	14,089	2,90	≤0,0001	≤0,0001	0,1894
	D	11,263	12,523	13,765	14,673	15,378	13,521				
	Geral	11,413	12,867	13,965	14,888	15,891					
GP (g)	S	845,67	915,44	912,67	929,50	924,15	905,48	2,85	≤0,0001	0,0532	0,1518
	D	833,67	869,08	917,00	927,00	915,18	892,39				
	Geral	939,67	892,26	914,83	928,25	919,66					
CA (g/g)	S	1,838	1,748	1,712	1,643	1,659	1,719	2,56	≤0,0001	0,0004	0,1678
	D	1,814	1,746	1,655	1,600	1,571	1,677				
	Geral	1,826	1,747	1,683	1,622	1,615					
DPBC (g)	S	126,14	109,53	109,64	142,05	175,07	132,47	17,90	0,0009	0,0061	0,0011
	D	114,36	163,86	162,11	158,40	157,49	151,24				
	Geral	120,25	136,69	135,88	150,20	166,25					
DGC (g)	S	101,46	134,41	146,71	127,03	84,60	118,84	23,59	0,0233	0,0881	0,0006
	D	134,61	116,55	99,97	79,17	104,12	106,88				
	Geral	118,03	125,48	123,34	103,10	94,36					
DLysC (g)	S	9,399	8,243	8,129	10,334	12,635	9,748	17,99	0,0042	0,0145	0,0014
	D	8,421	11,915	11,803	11,518	11,175	10,966				
	Geral	8,910	10,079	9,966	10,926	11,905					
EULys ⁽⁴⁾ (%)	S	74,55	65,01	59,72	79,69	78,22	69,97	16,16	0,8432	0,0054	0,0230
	D	78,23	85,49	86,86	74,17	75,35	79,07				
	Geral	76,39	70,14	72,05	72,36	77,53					
PRP (%)	S	3,46	3,65	4,01	4,00	4,50	3,92	11,32	0,0012	0,2307	≤0,0001
	D	3,46	4,79	4,05	3,64	2,99	3,79				
	Geral	3,46	4,22	4,03	3,82	3,75					

⁽¹⁾ S = técnica de suplementação gradativa dos aminoácidos, D = técnica de diluição das dietas. ⁽²⁾ CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾ teste "F" da análise de variância. ⁽⁴⁾ EULys = DLysC (mg/dia)/(CLys (mg/dia)-Lys_m (mg/dia))x100, sendo Lys_m = 45mg/kg^{0,75}/dia (Capítulo 2).

Tabela 22. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) por diferentes modelos para frangos de corte de 35 a 42 dias de idade

Modelo	Variável / Equação	P>F	R ²	NLys (%)
Consumo de ração ⁽¹⁾ (g)				
Quadrático	CR= 773,499(-61,456) + 1935,710*Lys - 1165,717*Lys ²	≤0,0001	0,885	0,830
Consumo de lisina digestível ⁽¹⁾ (g)				
Linear	CLys = 1,840(-0,569)+ 13,499*Lys	≤0,0001	0,988	-----
Ganho de peso (g)				
LRP	GP = 924,000 - 464,000*(0,916 - Lys)	≤0,0001	0,963	0,916
Quadrático	GP = -475,902 + 2830,497*Lys - 1426,684*Lys ²	≤0,0001	0,996	0,992
Exponencial	GP = 839,600 + 87,231*(1 - e ^{-12,206*(Lys - 0,745)})	≤0,0001	0,987	0,990
Quad.+ LRP	-475,902 + 2830,497*Lys - 1426,684*Lys ² = 924,000	-----	-----	0,939
Conversão alimentar ⁽¹⁾ (g/g)				
Quadrático	CA=3,522(+0,146) - 3,450(-0,209)*Lys + 1,588*Lys ²	≤0,0001	0,995	1,086 (S) 1,152 (D)
Deposição de proteína corporal (g) – S				
Quadrático	DPBC= 1139,882 – 2421,859*Lys + 1422,647*Lys ²	≤0,0001	0,981	0,851
Deposição de proteína corporal (g) – D				
Quadrático	DPBC= -841,366 + 2120,709*Lys – 1113,707*Lys ²	0,0063	0,814	0,952
Deposição de gordura corporal (g) – S				
Quadrático	DGC= -1438,719 + 3540,842*Lys – 1978,738*Lys ²	≤0,0001	0,998	0,895
Deposição de gordura corporal (g) – D				
Quadrático	DGC= 935,297 – 1730,505*Lys + 886,745*Lys ²	0,0114	0,858	0,976
Deposição de lisina corporal (g) – S				
Quadrático	DLysC= 81,142 – 170,787*Lys + 99,903*Lys ²	≤0,0001	0,981	0,855
Deposição de lisina corporal (g) – D				
Quadrático	DLysC= -63,619 + 160,569*Lys -85,006*Lys ²	0,0084	0,831	0,944
Eficiência de utilização da lisina (g) – S				
Quadrático	EULys= 518,524 – 1025,208*Lys + 575,807*Lys ²	0,0275	0,928	0,890
Eficiência de utilização da lisina (g) – D				
-----	EULys = 79,07	-----	-----	-----
Peso relativo das penas – S				
Linear	PRP = 1,219 + 2,979*Lys	≤0,0001	0,927	-----
Peso relativo das penas – D				
Quadrático	PRP = - 25,824 + 68,979*Lys – 39,423*Lys ²	≤0,0001	0,747	0,875

⁽¹⁾As operações entre parênteses devem ser realizadas para obter a equação específica para a técnica da diluição das dietas (D).

Contudo, EMMANS (1995) e GOUS (1998, 2007), fundamentados na teoria de predição do consumo e crescimento proposta por EMMANS (1981, 1989), afirmaram que, na medida em que um aminoácido limitante é reduzido nas dietas, frangos de corte e galinhas poedeiras tendem aumentar o CR na tentativa de obter mais deste nutriente, até um ponto em que a composição corporal e o desempenho são afetados pelo

desbalanço severo, e a ingestão decresce novamente, podendo explicar os resultados de CR observados para a fase de terminação (35 a 42 dias).

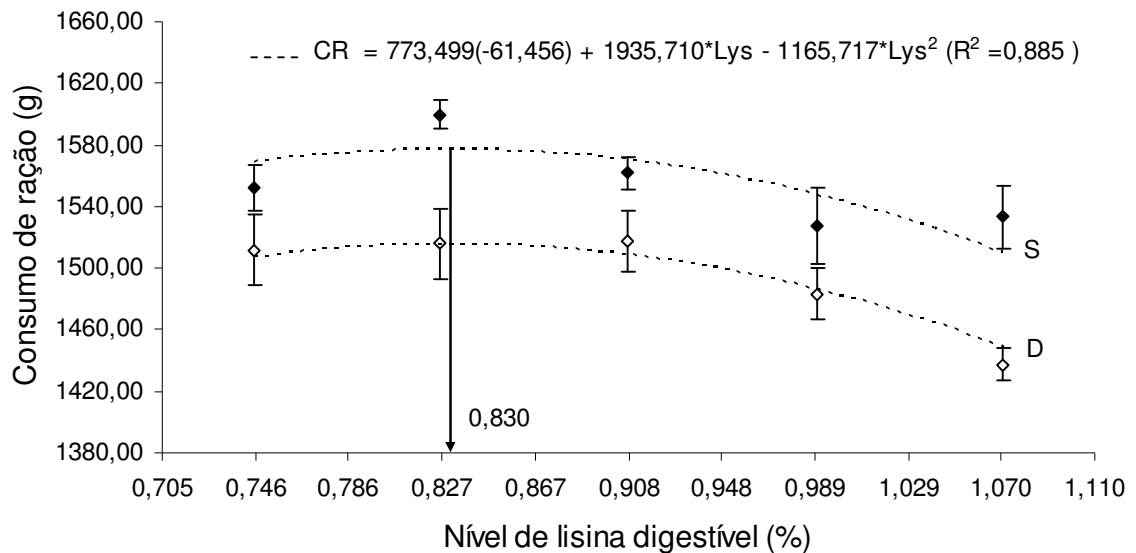


Figura 14. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelo ajustado e estimativa dos níveis de lisina com base no consumo de ração de frangos de corte de 35 a 42 dias. (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas; o número entre parêntese deve ser subtraído para obter a equação para o método de diluição de dietas)

O CLys das aves aumentou de forma linear com os níveis de lisina digestível das dietas independentemente da técnica de formulação, e assim como para o CR, observou-se diferenças entre as constantes (β_0) das equações individuais de cada técnica. Observou-se uma redução média no CLys de aproximadamente 4%, para as aves que receberam as dietas formuladas pela técnica da diluição, em relação àquelas que receberam as dietas formuladas pela suplementação de aminoácidos (Tabela 22; Figura 15).

O efeito dos níveis de lisina digestível sobre o GP das aves na fase de terminação concordou com os resultados das demais fases avaliadas, assumindo comportamento curvilíneo com os níveis crescentes de lisina, o que permitiu o ajuste dos modelos LRP, quadrático e exponencial (Tabela 22).

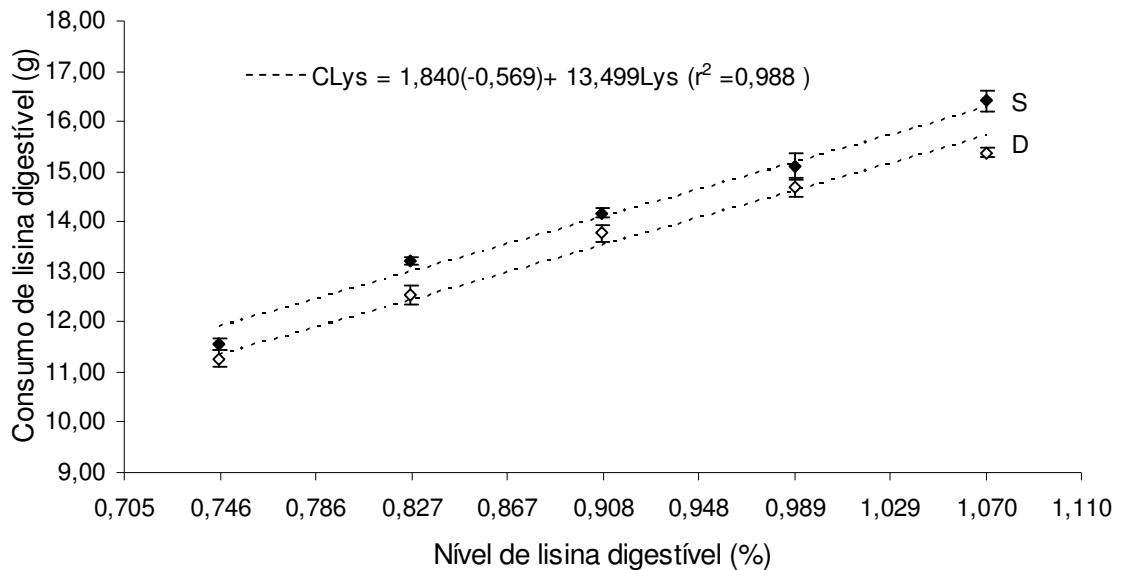


Figura 15. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão) e modelo ajustado para o consumo de lisina digestível de frangos de corte de 35 a 42 dias. (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas; o número entre parêntese deve ser subtraído para obter a equação para o método de diluição de dietas)

É importante salientar que a probabilidade do efeito da técnica de formulação ($P=0,0532$) observada para o GP (Tabela 21) foi ligeiramente superior ao nível crítico de significância ($P \leq 0,05$) adotado no presente estudo. Tendo em vista que este nível foi estabelecido à priori, os modelos foram ajustados ao conjunto de dados de ambas as técnicas, sendo desconsiderado o conceito de “tendência à significância”, discutido detalhadamente por VOLPATO (2004).

Com base no modelo LRP, a máxima resposta de GP (924,0g) foi alcançada com o nível de lisina digestível estimado em 0,916%, estabilizando-se a partir de então. Pela equação quadrática, a máxima resposta (928,0g) praticamente não diferiu daquela estimada pelo LRP, entretanto, foi obtida com um nível de lisina 8,3% superior, correspondente à 0,992% ($2830,497/(2 \times 1426,684)=0,992$). Utilizando-se o modelo exponencial, assumindo 95% da resposta assintótica ($839,6+87,231=926,8g$), estimou-se o nível de 0,990% ($\ln(0,05)/-12,206+0,745 = 0,990$), sendo este bastante próximo ao obtido com o uso da equação quadrática. A primeira intersecção da equação quadrática

com o platô do LRP foi estimada em 0,939% $((-2830,479 + (2830,497^2 - 4 \cdot -1426,685 \cdot (-475,902 - 924,0))^{1/2}) / (2 \cdot -1426,685) = 0,939)$ (Figura 16).

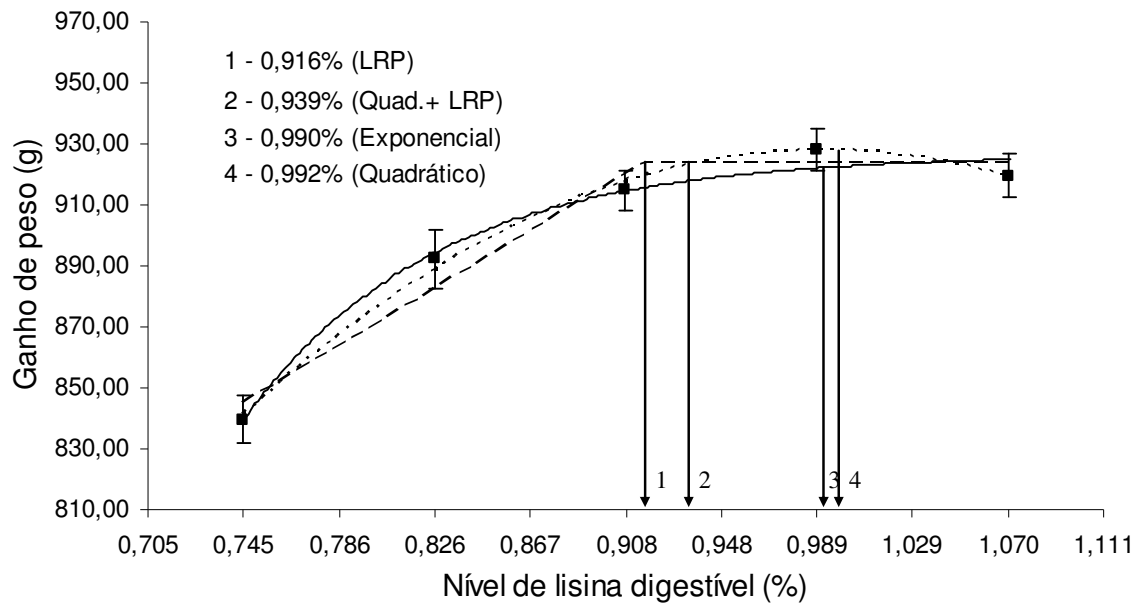


Figura 16. Representação gráfica dos níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no ganho de peso de frangos de corte de 35 a 42 dias.

Os efeitos dos níveis de lisina e da técnica de formulação sobre a CA das aves foram semelhantes àqueles observados na fase inicial (8 a 22 dias). Pelo teste de paralelismo, foram detectadas diferenças entre as constantes (β_0) e os termos lineares (β_1), evidenciando que, além da amplitude, o comportamento das respostas de CA foi afetado pela técnica de formulação, apesar da ausência da interação lisina x técnica (Tabelas 21 e 22). Estes resultados confirmam a ineficiência da análise da variância para analisar dados quantitativos, conforme discutido por PESTI et.al. (2009).

De um modo geral, observou-se que os níveis crescentes de lisina proporcionaram melhores valores de CA com o uso da técnica da diluição (Figura 17), entretanto, os níveis estimados de 1,086% $(3,45 / (2 \cdot 1,588) = 1,086)$ com a técnica da suplementação, e de 1,152% $((3,45 + 0,209) / (2 \cdot 1,588) = 1,152)$ com a diluição, situaram-se acima do maior nível testado (1,070%) testado, não sendo consideradas recomendações adequadas.

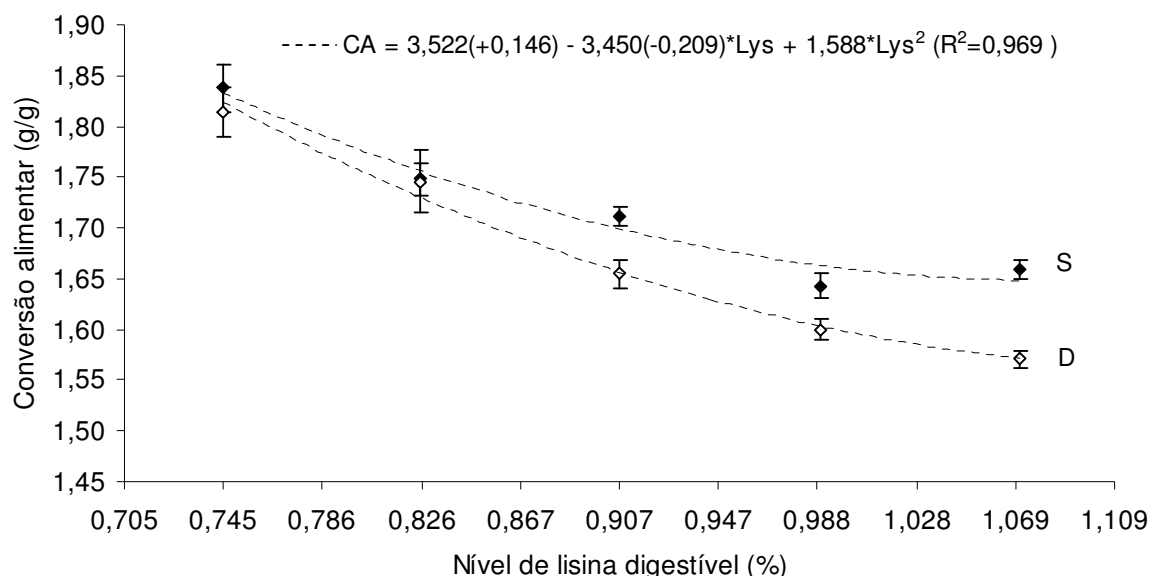


Figura 17. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão) e do modelo ajustado para a conversão alimentar de frangos de corte de 35 a 42 dias. (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas; as operações entre parênteses devem ser realizadas para obter a equação específica para a técnica da diluição das dietas)

As interações lisina x técnica, observadas para a DPBC, DGC, DLysC e EULys (Tabela 21), evidenciaram a necessidade do ajuste de equações específicas para cada uma das técnicas de formulação, sendo observadas diferenças acentuadas no padrão de respostas dessas variáveis com o aumento dos níveis de lisina das dietas (Tabela 22). Pela técnica da suplementação dos aminoácidos, a DPBC, DLysC e a EULys reduziram de maneira quadrática até os níveis de lisina estimados em 0,851% ($2421,859/(2 \cdot 1422,647)=0,851$), 0,855% ($170,787/(2 \cdot 99,903)=0,855$) e 0,890% ($1025,208/(2 \cdot 575,807)=0,890$), respectivamente, enquanto a DGC aumentou da mesma forma até o nível de lisina de 0,895% ($3540,842/(2 \cdot 1978,738) = 0,895$).

Por outro lado, quando a técnica da diluição foi utilizada, a DPBC e a DLysC aumentaram até os níveis estimados em 0,952% ($2120,709/(2 \cdot 1113,707)=0,952$) e 0,944% ($160,569/(2 \cdot 85,006) = 0,944$), respectivamente, enquanto a DGC reduziu até 0,976% ($1730,505/(2 \cdot 886,745) = 0,976$) (Figuras 18, 19 e 20), não havendo efeito dos níveis de lisina digestível sobre a EULys (Tabela 22).

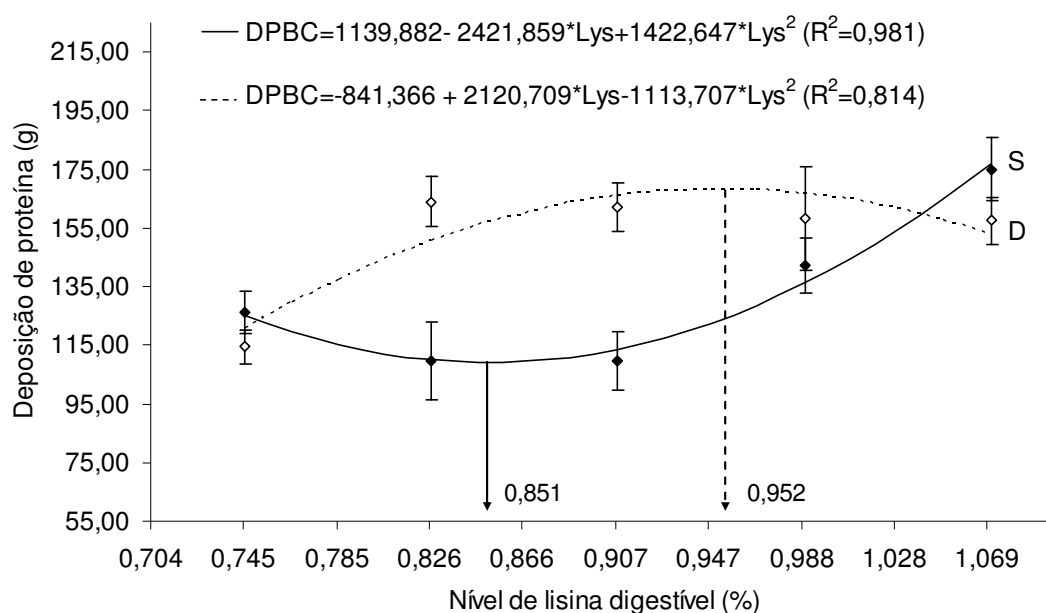


Figura 18. Representação gráfica da interação entre técnica de formulação e nível de lisina digestível para a deposição de proteína corporal de frangos de corte de 35 a 42 dias (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas)

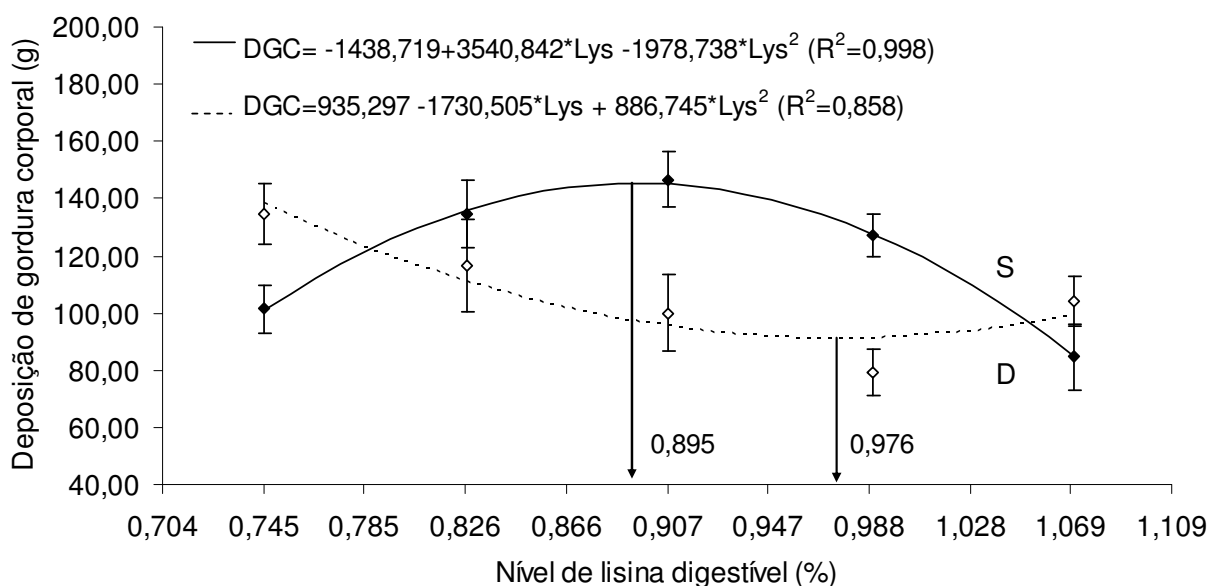


Figura 19. Representação gráfica da interação entre técnica de formulação e nível de lisina digestível para a deposição de gordura corporal de frangos de corte de 35 a 42 dias (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas)

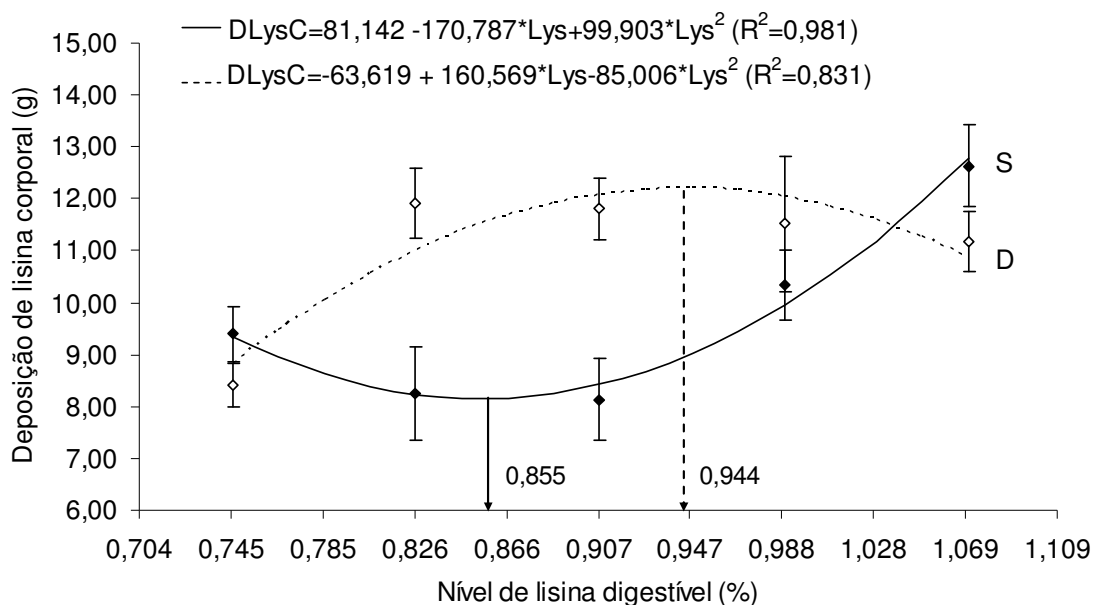


Figura 20. Representação gráfica da interação entre técnica de formulação e nível de lisina digestível para a deposição de lisina corporal de frangos de corte de 35 a 42 dias (S= técnica de suplementação dos aminoácidos; D= técnica de diluição das dietas)

Tomando como referência os resultados de DPBC, DGC, DLysC e EULys das fases anteriormente avaliadas, as respostas proporcionadas pela técnica da suplementação foram inesperadas, uma vez que os frangos de corte na fase de terminação responderam de forma inversa com o aumento dos níveis de lisina digestível.

É importante realçar que as estimativas correspondentes aos pontos de máximo para o CR (0,830%) e DGC (0,895%), e de mínimo para a DPBC (0,851%), DLysC (0,855%) e EULys (0,890%), situaram-se entre o segundo (0,826%) e o terceiro (0,907%) nível de lisina digestível testados. Considerando o desbalanço entre os tratamentos, decorrente do uso da técnica da suplementação dos aminoácidos (GOUS, 1980, 2007; D'MELLO, 1982, 2003; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), é possível inferir que a suplementação de L-lisina HCl, e demais aminoácidos, beneficiou as aves somente quando a concentração de lisina digestível nas dietas foi próxima ou superior à 0,907%, o que refletiu no aumento da DPBC, DLysC e EULys e redução da DGC, como consequência da melhora no perfil aminoacídico das dietas à partir deste nível.

Contudo, a razão pela qual a expressão destas variáveis não melhorou imediatamente após a suplementação dos aminoácidos cristalinos na dieta basal não foi evidente, não sendo possível uma interpretação biológica conclusiva.

O PRP aumentou de maneira linear com os níveis de lisina digestível quando a técnica da suplementação foi utilizada. Quando se utilizou a técnica da diluição das dietas o PRP apresentou comportamento quadrático, aumentando até o nível de lisina digestível estimado em 0,875% (Tabela 22).

Os níveis de lisina das dietas atuaram de maneira independente da técnica de formulação para o rendimento de carcaça (RC), não havendo efeito destes fatores sobre o rendimento de peito com osso (RP). As interações lisina x técnica, observadas para os rendimentos de coxa (RCX) e sobrecoxa (RSCX) evidenciaram que o comportamento destas variáveis dependeu da técnica utilizada na formulação das dietas (Tabela 23).

Somente o modelo quadrático se ajustou adequadamente ao RC, que aumentou até o nível de lisina digestível estimado em 0,965% ($40,424/(2 \times 20,950) = 0,965$), correspondendo ao máximo rendimento de 76,22% (Tabela 24, Figura 21). De maneira semelhante, COSTA, et al. (2001) e BORGES et al. (2002) observaram aumento do rendimento de carcaça em resposta ao aumento dos níveis de lisina das dietas para de frangos de corte aos 40 e 42 dias de idade, respectivamente. Por outro lado, diversos estudos não verificaram efeito dos níveis de lisina sobre o rendimento de carcaça de frangos de corte aos 42 dias (MENDES et al., 1997; CONHALATO et al., 1999; LANA et al., 2005; AMARANTE JÚNIOR et al., 2005; SIQUEIRA et al. 2007; GOULART et al., 2009).

TESSERAUD et al. (2001) observaram que a deficiência de lisina nas dietas reduziu o crescimento de frangos de corte, exercendo efeitos mais pronunciados no desenvolvimento do músculo peitoral maior (-55%) do que no músculo sartorius (-25%). Os autores associaram estes resultados ao tipo de fibras presente nestes músculos, tendo em vista que o peitoral maior é um músculo do peito, composto por fibras glicolíticas de contração rápida, e que o sartorius é um músculo da perna, composto por fibras mistas.

Tabela 23. Rendimentos de carcaça (RC), peito (RP), coxa (RCX) e sobrecoxa (RSCX) de frangos de corte Cobb 500 aos 42 dias de idade

Variável	Técnica de Formulação ⁽¹⁾	Lisina digestível (%)					Geral	CV ⁽²⁾ (%)	P>F ⁽³⁾		
		0,745	0,826	0,907	0,989	1,070			Lisina	Técnica	Lisina x Técnica
RC (%)	S	75,01	76,39	76,08	76,07	76,32	75,97	1,66	0,0005	0,2688	0,7917
	D	75,09	75,93	76,14	75,79	75,96	75,77				
	Geral	75,05	76,16	76,11	75,93	76,14					
RP (%)	S	35,21	34,74	34,59	35,32	34,82	34,93	2,82	0,1243	0,5984	0,4941
	D	34,58	35,14	34,87	36,06	34,70	35,07				
	Geral	34,89	34,94	34,73	35,69	34,76					
RCX (%)	S	13,15	13,42	13,99	13,74	13,84	13,63	3,16	0,5532	0,1034	0,0121
	D	14,06	13,80	13,69	13,80	13,74	13,82				
	Geral	13,60	13,61	13,84	13,77	13,79					
RSCX (%)	S	16,13	15,38	15,19	14,74	14,84	15,26	3,60	0,0675	≤0,0001	0,0011
	D	14,11	14,82	14,56	14,42	14,57	14,49				
	Geral	15,12	15,10	14,88	14,58	14,70					

⁽¹⁾ S = técnica de suplementação gradativa dos aminoácidos, D = técnica de diluição das dietas. ⁽²⁾ CV = coeficiente de variação. ⁽³⁾ teste "F" da análise de variância.

Tabela 24. Equações ajustadas e níveis de lisina digestível estimados (NLys) com base nos rendimentos de carcaça e cortes de frangos Cobb 500 aos 42 dias de idade.

Modelo	Variável / Equação	P>F	R ²	NLys (%)
Rendimento de carcaça (%)				
Quadrático	RC = 56,722 + 40,424*Lys - 20,950*Lys ²	0,0007	0,727	0,965
Rendimento de coxa (%) – S				
Quadrático	RCX = 1,4383 + 25,137*Lys - 12,693*Lys ²	0,0136	0,837	0,990
Exponencial	RCX = 13,121 + 0,772*(1 - e ^{-10,623*(Lys - 0,745)})	0,0158	0,811	1,027
Rendimento de coxa (%) – D				
-----	RCX = 13,815	-----	-----	-----
Rendimento de sobrecoxa (%) – S				
Quadrático	RSCX = 31,299 - 31,868*Lys + 15,390*Lys ²	≤0,0001	0,969	1,035
Exponencial	RSCX = 16,118 - 1,434*(1 - e ^{-8,093*(Lys - 0,745)})	≤0,0001	0,968	1,115
Rendimento de sobrecoxa (%) – D				
-----	RSCX = 14,493	-----	-----	-----

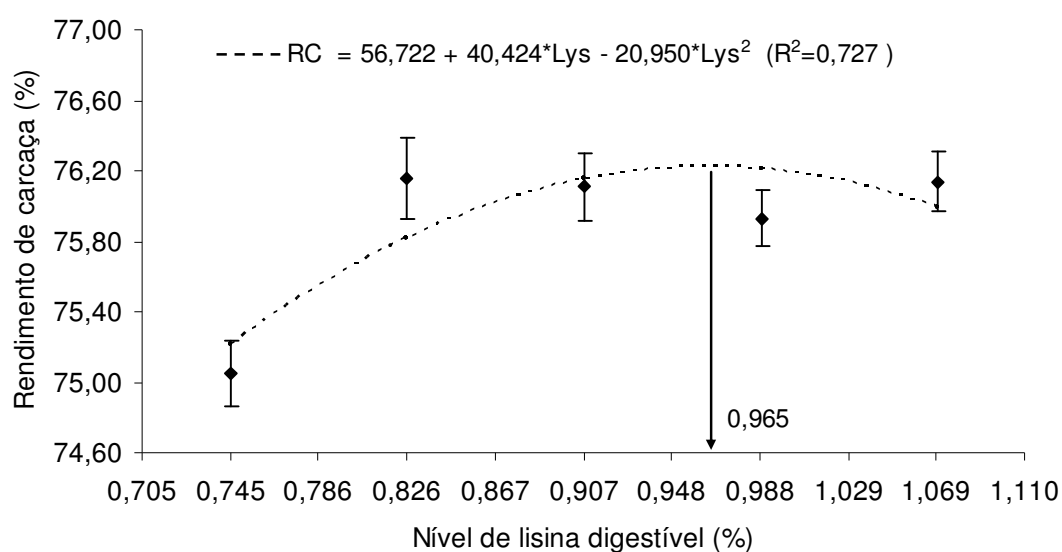


Figura 21. Representação gráfica dos valores observados (média ± erro padrão), modelo ajustado e estimativa do nível de lisina com base no rendimento de carcaça de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Com base nos resultados de TESSERAUD et al. (2001), esperava-se que os níveis de lisina das dietas exercessem efeitos mais acentuados sobre o RP. Contudo, os resultados do presente estudo contrariaram as expectativas, uma vez que os níveis

de lisina digestível não afetaram o RP, exercendo efeitos somente sobre o RCX e RSCX.

Pela técnica da suplementação, o RCX aumentou em resposta aos níveis de lisina da dieta, sendo ajustados os modelos quadrático e exponencial, que resultaram em estimativas de 0,990% ($25,137/(2*12,693)=0,990$) e 1,027% ($\ln(0,05)/-10,623+0,745 = 1,027$), respectivamente. Por outro lado, o RSCX reduziu com os aumento dos níveis de lisina das dietas, sendo estimados os níveis de 1,035% ($31,868/(2*15,390)=1,035$) pelo modelo quadrático e 1,115% ($\ln(0,05)/-8,093+0,745=1,115$) pelo modelo exponencial (Tabela 24, Figura 22 e 23).

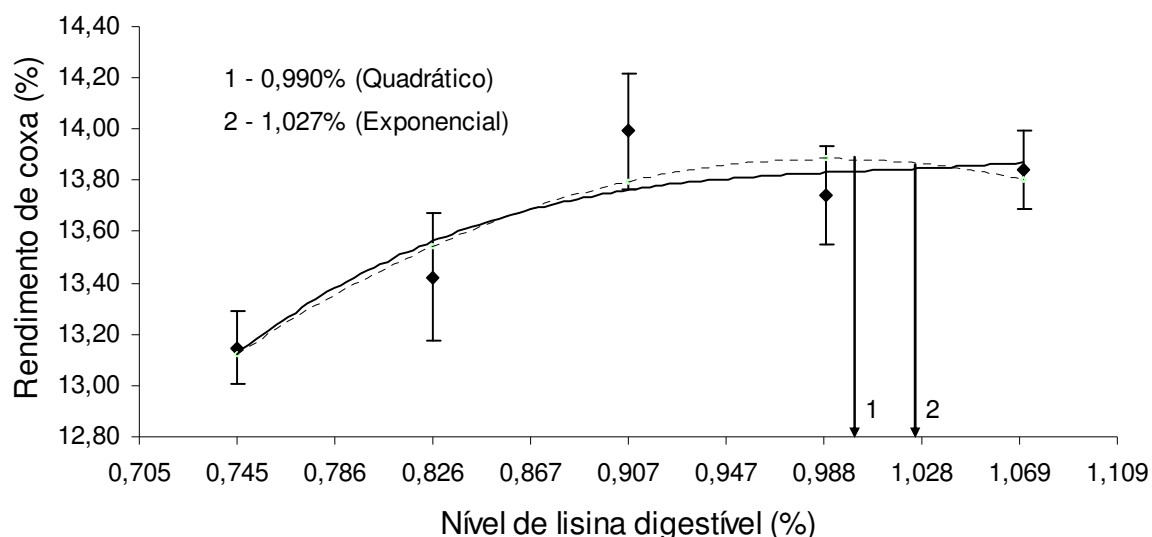


Figura 22. Níveis de lisina digestível estimados por diferentes modelos com base no rendimento de coxas de frangos de corte que receberam dietas formuladas pela técnica da suplementação.

A redução no RSCX com o aumento dos níveis de lisina digestível pode ser justificada levando-se em conta que o rendimento de pernas (coxa + sobrecoxa) não foi afetado (dados não apresentados), enquanto o RCX aumentou em resposta aos níveis crescentes de lisina das dietas. Também utilizando a técnica da suplementação, SIQUEIRA et al. (2007) obtiveram resultados semelhantes quando avaliaram os efeitos

dos níveis de lisina e da temperatura ambiente sobre o desempenho e características de carcaça de frangos de corte de 22 aos 42 dias de idade.

Quando a técnica da diluição das dietas foi utilizada, os níveis de lisina digestível das dietas não afetaram o RCX ou o RSCX das aves (Tabela 23).

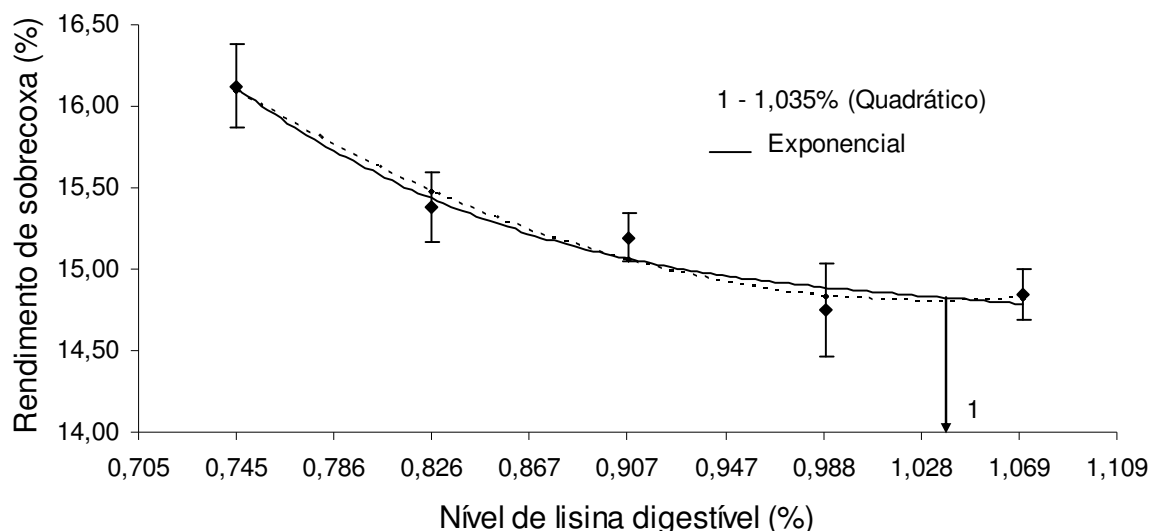


Figura 23. Representação gráfica dos valores observados (média $\pm$ erro padrão), modelos ajustados e estimativa do nível de lisina com base no rendimento de sobrecoxa de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Na fase de terminação (35 a 42 dias) os efeitos da técnica de formulação das dietas foram mais pronunciados que àqueles observados em qualquer uma das fases anteriormente avaliadas, sugerindo que frangos de corte em terminação são mais sensíveis às variações no balanço aminoacídico, proporcionadas pelas diferentes técnicas. O balanço constante entre os aminoácidos, proporcionado pela técnica da diluição das dietas, favoreceu o potencial produtivo das aves, o que pode ser notado pela análise conjunta das respostas de CR, CLys, CA, DPBC e DLysC, e pela elevada EULys (79,07%) observada com o uso desta técnica.

Uma vez que as estimativas das exigências obtidas com base na CA situaram-se fora do intervalo testado, a recomendação para a fase de terminação foi realizada com base no GP das aves. O nível de lisina digestível de 0,916% (0,291%/Mcal EM), obtido

pelo modelo LRP, com base no GP, foi considerado a estimativa mais adequada das exigências de frangos de corte na fase de terminação (35 a 42 dias), visto que a máxima resposta estimada com o uso do LRP (924,0g) praticamente não diferiu da máxima resposta obtida com o modelo quadrático (928,0g). Considerando a equação ajustada para o CLys, o nível de 0,916% correspondeu ao consumo de lisina digestível de 14,21g ($1,840 + (13,499 \times 0,916) = 14,21$) (2,03g/dia), pela técnica da suplementação, e 13,64g ($(1,840 - 0,569) + (13,499 \times 0,916) = 13,64$) (1,95g/dia) pela técnica da diluição, sendo o consumo médio estimado em 13,93g de lisina digestível (1,99g/dia).

A concentração de 0,916% (0,290%/Mcal EM) de lisina digestível na dieta, estimada para frangos Cobb 500 na fase de terminação (35 a 42 dias) foi inferior ao nível de 1,048% recomendado por ROSTAGNO et al. (2005) para frangos de corte de 33 a 42 dias de idade, e superior ao nível de 0,870% recomendado por EMMERT & BAKER (1997) para lotes mistos de 35 a 42 dias de idade, entretanto foi semelhante ao valor de 0,925%, recomendado por BARBOZA et al. (2000), para frangos de corte de 22 a 40 dias de idade.

Exigências de lisina digestível para frangos de corte em diferentes fases de criação

Tendo em vista que em situações práticas o avicultor prioriza otimizar a CA das aves em detrimento do GP, as recomendações dos níveis de lisina digestível para cada fase, obtidas no presente estudo, foram realizadas com base nas respostas de CA, com exceção da fase de terminação (35 a 42 dias). Nesta fase as recomendações foram realizadas com base nas respostas de GP, devido ao fato das estimativas obtidas com base nas respostas de CA terem se situado fora do intervalo testado. As recomendações obtidas pelo método dose resposta, para cada uma das fases avaliadas, estão resumidas na Tabela 25.

Vale ressaltar que as exigências consideradas como níveis fixos de nutrientes das dietas podem não condizer com os níveis adequados para maximizar a lucratividade, tendo em vista as freqüentes oscilações nos preços das matérias primas

e da carne de frango. Nesse sentido, as equações exponenciais, ajustadas para as diferentes variáveis podem ser consideradas de grande importância do ponto de vista prático, por auxiliarem no estabelecimento dos níveis de lisina com base no ótimo econômico, conforme exemplificado por PACK et al. (2003), SAKOMURA & ROSTAGNO (2007), PESTI et al. (2009) e SIQUEIRA et al. (2009).

Tabela 25. Exigências de lisina digestível para frangos de corte em diferentes fases de criação, com base no método dose-resposta

Fase de criação	Exigências de lisina digestível			
	(% da dieta)	(%/Mcal de EM)	(g/ave)	(g/ave/dia)
Pré-inicial (1 a 8 dias)	1,361	0,460	2,38	0,340
Inicial (8 a 22 dias)	1,187	0,395	11,16	0,797
Crescimento (22 a 35 dias)	1,073	0,346	20,50	1,577
Terminação (35 a 42 dias)	0,916	0,291	13,93	1,990

Técnica de formulação e eficiência de utilização da lisina para crescimento (EULys)

O método tradicionalmente utilizado para determinar as exigências de aminoácidos de frangos de corte é o dose resposta, que se baseia na descrição quantitativa de variáveis produtivas ou indicadores metabólicos em resposta aos níveis crescentes de aminoácidos nas dietas (OWENS & PETTIGREW, 1989; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

A técnica de formulação mais frequentemente empregada nestes estudos envolve a suplementação gradativa do aminoácido sob teste, em uma dieta basal deficiente neste aminoácido, usualmente realizada por meio da adição de fontes cristalinas (D'MELLO, 1982, 2003). Entretanto, esta técnica vem sofrendo severas críticas (FISHER & MORRIS, 1970; GOUS, 1980, 2007; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007), destacando-se: 1) as dietas avaliadas não possuem o mesmo balanço aminoacídico, o que influencia as respostas das aves, 2) sob elevados níveis de suplementação, existe a possibilidade de o aminoácido teste deixar de ser o primeiro

limitante, e respostas adicionais serem impedidas pela deficiência de outro aminoácido, 3) dificuldade para se formular uma dieta basal que seja suficientemente limitante no aminoácido teste, e que contenha quantidades adequadas de todos os outros aminoácidos essenciais, sendo impossível sem a adição de fontes cristalinas, e por último, 4) dependendo do grau de deficiência da dieta basal, haverá necessidade de altos níveis de inclusão de fontes cristalinas, o que pode constituir uma limitação para a condução dos estudos, tendo em vista o custo e a disponibilidade destas fontes no mercado.

Com base nestas críticas, FISHER & MORRIS (1970) e GOUS (1980, 2007), defenderam a utilização da técnica da diluição das dietas, que consiste na diluição seqüencial de uma dieta alta em proteína e deficiente no aminoácido teste, com outra isoenergética livre de proteína, obtendo-se as dietas com níveis intermediários do aminoácido teste. Por esta técnica, o balanço aminoacídico entre os tratamentos permanece constante, apesar do conteúdo de proteína variar, presumindo-se que a resposta seja consequência do aminoácido teste, uma vez que este é o primeiro limitante em todas as dietas originadas da diluição.

Utilizando dados extraídos de BOOMGAARDT & BAKER (1973) e GOUS (1980), D'MELLO (1982) comparou as técnicas de suplementação e diluição, e atribuiu equivalência entre elas, uma vez que, nos diferentes estudos, o ganho de peso das aves se comportou de maneira similar em resposta ao aumento dos níveis de lisina das dietas. Posteriormente, D'MELLO (2003) reafirmou a equivalência entre as técnicas, ao revisar os efeitos dos níveis de aminoácidos das dietas sobre as respostas de frangos de corte em crescimento.

Independente da fase, os resultados de GP do presente estudo sugeriram a equivalência entre as técnicas de formulação, concordando com os estudos de D'MELLO (1982, 2003), entretanto, pela análise das respostas de CA, DPBC, DGC, DLysC e EULys, observou-se que as técnicas não foram equivalentes, existindo evidências à favor da técnica da diluição, pelo fato de ter melhorado a expressão destas variáveis, exceto na fase de crescimento (22 a 35 dias).

De maneira geral, a técnica da diluição das dietas proporcionou respostas ascendentes de DPBC e descendentes de DGC, possibilitando melhores resultados de CA em relação à técnica da suplementação, apesar da semelhança das respostas de GP. Estes resultados corroboram os relatos de GOUS (1980) de que a técnica da diluição é um “método melhorado”, considerando o fato que ela proporciona relações aminoacídicas constantes, o que possibilita a obtenção de resultados mais confiáveis. Além disso, o comportamento destas variáveis confirmou os relatos de LECLERCQ (1998) e GOUS (1998, 2007), de que o aumento de um aminoácido limitante nas dietas potencializa a deposição de proteína e reduz a deposição de gordura em frangos de corte.

Embora diversos estudos tenham sido realizados para determinar as exigências de lisina para frangos de corte em diferentes fases de criação (MENDES et al., 1997; CONHALATO et al., 1999, 2000; COSTA et al., 2001; BORGES et al., 2002; VALÉRIO et al., 2003; LANA et al., 2005; AMARANTE Jr. et al., 2005; SIQUEIRA, et al., 2007; TOLEDO et al., 2007; GOULART et al., 2008), estudos focando as eficiências de utilização da lisina para deposição corporal são escassos na literatura.

Evidências experimentais sugerem que a eficiência com que um aminoácido é utilizado para a deposição corporal sofre influência de diversos fatores dentre eles: concentração e relação entre os aminoácidos essenciais e não essenciais nas dietas (HEGER & FRYDRYCH, 1989), idade e sexo, (D'MELLO, 2003; BRITO, 2007), além do genótipo das aves (EDWARDS et al. 1999; FATUFE et al.; 2004). Com base nisso, os dados de EULys, obtidos nas diferentes fases, foram submetidos à comparações múltiplas visando explorar os efeitos da técnica de formulação e da fase de criação (Figura 24).

Quando a técnica da suplementação dos aminoácidos foi utilizada, observou-se que as aves em terminação utilizaram a lisina da dieta de maneira menos eficiente que na fase inicial, não diferindo das demais fases avaliadas. Estes resultados sugerem que as aves em terminação podem ser mais sensíveis às variações no balanço aminoacídico das dietas, tendo em vista os conceitos envolvidos nesta técnica.

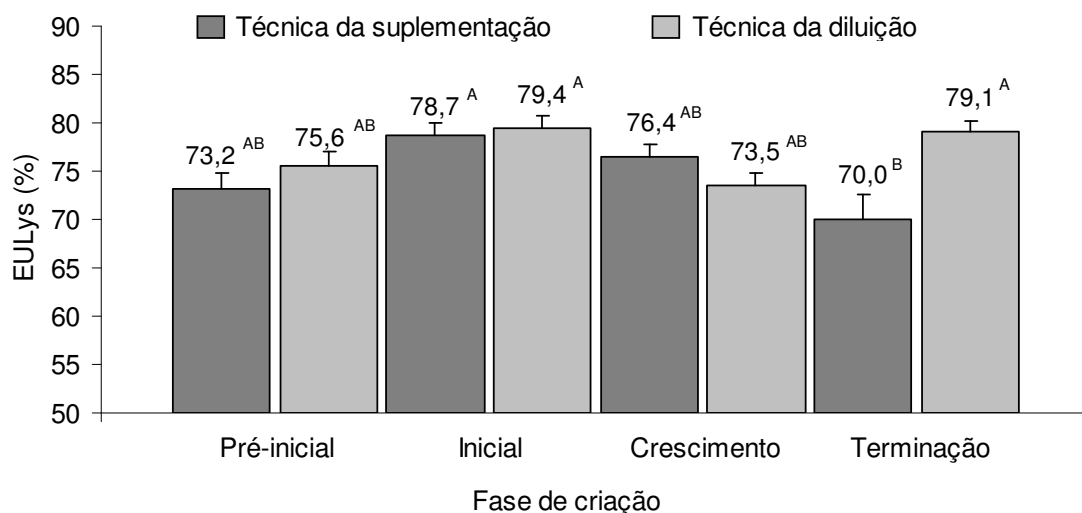


Figura 24. Representação gráfica dos efeitos da técnica de formulação das dietas e da fase de criação sobre a eficiência de utilização da lisina para crescimento (EULys). (Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste SNK ($P>0,05$, $CV=12,0\%$))

Pela técnica da diluição das dietas, não foram observadas diferenças entre as fases, sendo a EULys média correspondente à 76,9%. De forma similar, EITS et al. (2002) não observaram diferenças nas eficiências de utilização da lisina para frangos Ross de diferentes idades, com pesos corporais variando de 0,200 a 1,600 kg.

Outros métodos têm sido utilizados para estimar as eficiências de utilização da lisina para crescimento e deposição corporal. A partir de valores de deposição corporal e consumo de lisina, estimados pela equação de GOMPERTZ (1825), 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. As eficiências variaram de 49,6 (7 dias) a 78,5% (22 dias) para machos, e de 55,0 (7 dias) a 81,0% (20 dias) para fêmeas.

EDWARDS et al. (1999), estimaram as eficiências de utilização da lisina para aves de 10 a 20 dias, por meio da inclinação da regressão linear da deposição de lisina corporal pelo consumo de lisina, obtendo valores correspondentes à 76 e 79% para frangos New Hampshire x Columbian e Avian, respectivamente. Utilizando o mesmo procedimento estatístico, FATUFE et al. (2004) estimaram eficiências de utilização da

lisina de 71 e 61%, para frangos machos das linhagens Ross e Lohmann White, respectivamente, durante o período de 8 a 22 dias.

No presente estudo, com base nos dados de CLys (mg/dia) e nos pesos médios (kg) das aves observados nas diferentes fases avaliadas, foi possível calcular os consumos de lisina para crescimento (CLys_c) pela expressão: $CLys_c = CLys - Lys_m$, sendo Lys_m igual à exigência de lisina digestível para a manutenção, estimada em 45 mg/kg^{0,75}/dia (Capítulo 2). Pela inclinação da regressão linear simples da deposição de lisina corporal (DLysC, mg/dia) pelo CLys_c (mg/dia), foi estimada a eficiência de 71,8% (Figura 25), concordando com 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.

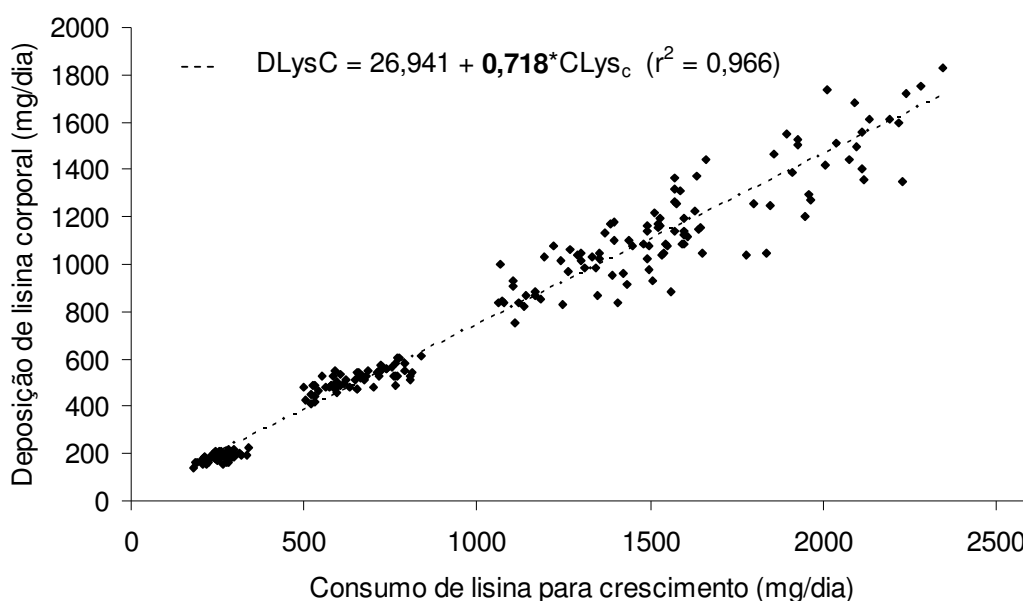


Figura 25. Representação gráfica da regressão linear da deposição de lisina corporal (DLysC) pelo consumo de lisina para crescimento (CLys_c), de frangos de corte Cobb 500 de 1 a 42 dias de idade.

É importante mencionar que os estudos que utilizaram o método da regressão para estimar as eficiências de utilização da lisina (EDWARDS et al., 1999; EITS et al., 2002; FATUFE et al., 2004), foram realizados em intervalos curtos de tempo (de 10 a 14 dias) utilizando dietas basais extremamente deficientes em lisina. No presente estudo, a

regressão da DLysC pelo CLys_c, agrupou dados de todas as fases avaliadas (1 a 42 dias de idade), desconsiderando as variações inerentes à cada fase de criação, e além disso, as dietas mais deficientes continham níveis de lisina próximos à 70% das exigências das aves. Nesse sentido, é possível que o efeito do CLys_c sobre a DLysC seja parcialmente atribuído à idade das aves e não somente às diferenças de CLys_c. Assim, a estimativa de 71,8%, realizada com base na inclinação da regressão linear da DLysC pelo CLys_c, pode ter sua validade restrita, devendo ser interpretada com cautela, apesar da semelhança com os resultados de EITS et al. (2002) e FATUFE et al. (2004). Com base nisso, a eficiência média de 76,9% obtida pela técnica da diluição, à partir dos resultados apresentados na Figura 24, pode ser considerada uma estimativa mais apropriada da EULys para frangos de corte Cobb 500.

As eficiências de utilização dos aminoácidos para o crescimento constituem a base para a elaboração de modelos de predição das exigências fundamentados no método fatorial, de modo que as estimativas das eficiências estarão diretamente relacionadas com a precisão e a acurácia dos modelos. Neste contexto, evidencia-se a importância da realização de estudos dose resposta delineados para avaliar os fatores que influenciam as eficiências de utilização dos aminoácidos, o que poderá contribuir para a obtenção de padrões nutricionais cada vez mais condizentes com as reais necessidades das aves.

CONCLUSÕES

A técnica da diluição das dietas favoreceu o potencial produtivo das aves em relação à suplementação, exceto na fase de crescimento (22 a 35 dias), onde as técnicas foram equivalentes. Considerando a menor utilização de aminoácidos cristalinos em dietas obtidas com o uso da diluição, e que estas fontes de aminoácidos muitas vezes constituem um entrave à realização de estudos sobre nutrição protéica, sugere-se a utilização da técnica da diluição para avaliar as exigências de lisina para frangos de corte.

Com base no método dose resposta, recomendam-se 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), equivalendo aos consumos de lisina digestível de 0,340; 0,797; 1,577 e 1,990 g/dia, respectivamente.

De um modo geral, os resultados sugeriram que a eficiência de utilização da lisina para crescimento sofre influência da concentração deste aminoácido nas dietas e da técnica empregada na formulação, não havendo evidências suficientes acerca dos efeitos da fase de criação.

REFERÊNCIAS

AMARANTE JÚNIOR, V.S.; COSTA, F.G.P.; BARROS, L.R.; NASCIMENTO, G.A.J.; BRANDÃO, P.A.; SILVA, J.S.C.V.; PEREIRA, W.E.; NUNES, R.V.; COSTA, J.S.; RIBEIRO, M.L.G. Níveis de lisina para frangos de corte nos períodos de 22 a 42 e de 43 a 49 dias de idade, mantendo a relação metionina + cistina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1188 - 1194, 2005.

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

BAKER, D.H.; BATAL, A.B.; PARR, T.M.; AUGSPURGER, N.R.; PARSONS, C.M. Ideal ration (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, Savoy, v.81, p.485-494, 2002.

BARBOZA, W.A.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T. RODRIGUES, P.B. Exigência nutricional de lisina digestível para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 1098 - 1102, 2000.

BOOMGAARDT, J.; BAKER, D.H. The lysine requirement of growing chicks feed sesame meal-gelatin diets at three protein levels. **Poultry Science**, Savoy, v.52, p.586, 1973.

BORGES, A.F.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ORLANDO, U.A.D.; FERREIRA, R.A.; SARAIVA, E.P. Exigência de lisina para frangos de corte machos no período de 22 a 42 dias de idade mantidos em ambiente quente (26°C). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1993 - 2001, 2002.

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**. 2007. 155f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CELLA, P.S.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M.; ALBINO, L.F.T.; FERREIRA, A.S.; GOMES, P.C.; VALERIO, S.R.; APOLÔNIO, L.R. Níveis de lisina mantendo a relação aminoacídica para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade, em diferentes ambientes térmicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 433 - 439, 2001.

CONHALATO, G.S.; DONZELE, J. L.; ALBINO, L. F. T.; OLIVEIRA, R.F.M.; FONTES, D.O. Níveis de lisina digestível para frangos de corte machos na fase de 22 a 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 98 - 104, 1999.

CONHALATO, G.S.; DONZELE, J. L.; OLIVEIRA, R.F.M.; ROSTAGNO, H.S.; FONTES, D.O. Avaliação de rações contendo diferentes níveis de lisina digestível mantendo a relação aminoacídica para pintos de corte na fase de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 2066 - 2071, 2000.

CORZO, A.; KIDD, M.T.; BURNHAM, D.J.; KERR, B.J. Dietary glycine needs of broiler chicks. **Poultry Science**, Savoy, v. 83, p. 1382-1384, 2004.

COSTA, F.G.P.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; GOMES, P.C.; TOLEDO, R.S. Níveis dietéticos de lisina para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 40 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 1490-1497, 2001.

D'MELLO, J.P.F. A comparison of two empirical methods of determining amino acid requirements. **World's Poultry Science Journal**, v. 38, p114–119, 1982.

D'MELLO, J.P.F. Responses of growing poultry to amino acids. In: D'MELLO, J.P.F. **Amino acid in animal nutrition**. 2nd ed. Wallingford: CABI Publishing, 2003. p.237-264.

DEAN, D.W.; BIDNER, T.D.; SOUTHERN, L.L. Glycine supplementation to low protein, amino acids-supplemented diet supports optimal performance of broiler chicks. **Poultry Science**, Savoy, v. 85, p. 288-296, 2006.

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**, Savoy, v.78, p.1412-1417, 1999.

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

EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: HILLYER, G.M.; WHITTEMORE, C.T.; GUNN, R.G. **Computers Animal Production**. Edinburgh. British Society of Animal Production, 1981. p. 106-110.

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

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

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

EMMANS, G.C. Problems in modeling the growth of poultry. **World's Poultry Science Journal**. v. 51, p76–89. 1995.

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

EUCLYDES, R.F.; ROSTAGNO, H.S. Planejamento experimental em avicultura e interpretação de resultados. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2002, Campinas, Facta: **Anais...** Campinas, 2002. p.117-133.

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

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

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.

GOULART, C.C.; COSTA, F.G.P.; LIMA NETO, L.C.; SOUZA, J.G.; SILVA, J.H.V.; GIVISIEZ, P.E.N. Exigência de lisina digestível para frangos de corte machos de 1 a 42 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 5, p. 876 - 882, 2008.

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

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**, 6., 1980, Hamburg. Proceedings...Hanburg: World's Poultry Science Association, 1980. v.3, p.32-39.

GOUS, R.M. Methodologies for modeling energy and amino acid responses in poultry. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, p. 263 -275, 2007. Suplemento.

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

HEGER, J.; FRYDRYCH, Z. Efficiency of utilization of amino acids. In: FRIEDMAN, M **Absorption and utilization of amino acids**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.1, p.31-56.

JONES, R.L. Nutritional influences on carcass composition in the broiler chicken. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 45, p. 27 - 32, 1986.

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

LANA, S.R.V.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; VAZ, R.G.M.V.; RESENDE, W.O. Níveis de lisina digestível em rações para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, mantidos em ambiente de termoneutralidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1624 - 1632, 2005.

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

MACK, S.; BERCOVIC, D.; DE GROOTE, G.; LECLERCQ, B.; LIPPENS, M.; PACK, M.; SCHUTTE, J.B.; VAN CALWENBERGHE, S. 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.

MENDES, A.A.; WATKINS, S.E.; ENGLAND, J.A.; SALEH, E.A.; WALDROUP, A.L.; WALDROUP, P.W. Influence of dietary lysine level and arginine: lysine ratios on performance of broilers exposit to heat or cold stress during the period of three to six weeks of age. **Poultry Science**, Savoy, v. 76, p. 472-481, 1997.

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

OWENS, F.N.; PETTIGREW, J.E. Subdividing amino acid requirements into portions for maintenance and growth. In: FRIEDMAN, M. **Absorption and utilization of amino acids**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.1, p.15-30.

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

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

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

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

SAS Institute. **SAS user's guide: statistics**. 5th ed. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1985.

SIQUEIRA, J.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; CECON, P.R.; BALBINO, E.M.; OLIVEIRA, W.P. Níveis de lisina digestível da ração e temperatura ambiente para frangos de corte em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 2054 - 2062, 2007.

SIQUEIRA, J.C.; SAKOMURA, N.K.; NASCIMENTO, D.C.N.; FERNANDES, J.B.K. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, 2009. No prelo.

SKLAN, D.; NOY, Y. Catabolism and deposition of amino acids in growing chicks: effect of dietary supply. **Poultry Science**, Savoy, v. 83, p. 952 - 961, 2004.

SKLAN, D.; NOY, Y. Hydrolysis and absorption in the small intestines of posthatch chicks. **Poultry Science**, Savoy, v. 79, p. 1306 - 1310, 2000.

TESSERAUD, S.; TEMIM, S.; LE BIHAN-DUVAL, E.; CHAGNEAU, A.M. Increased responsiveness to dietary lysine deficiency of pectoralis major muscle protein turnover in broiler selected on breast development. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 79, p. 927- 933, 2001.

TOLEDO, A.L.; TAKEARA, P.; BITTENCOURT, L.C.; KOBASHIGAWA, E.; ALBUQUERQUE, R.; TRINDADE NETO, M.A. Níveis dietéticos de lisina digestível para frangos de corte machos no período de 1 a 11 dias de idade: desempenho e composição corporal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 1090 - 1096, 2007.

VALERIO, S.R.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; APOLÔNIO, L.R.; RESENDE, W.O. Níveis de lisina digestível em rações, em que se manteve ou não a relação aminoacídica, para frangos de corte de 22 a 42 dias de idade, mantidos em estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 372 - 382, 2003.

VOLPATO, G. L. **Ciência: da filosofia à publicação**. 4. ed. Botucatu: Tipomic, 2004. 233p.

CAPÍTULO 4 – MODELOS PARA ESTIMAR AS EXIGÊNCIAS DE LISINA DIGESTÍVEL DE FRANGOS DE CORTE COM BASE NO MÉTODO FATORIAL

RESUMO – O objetivo deste estudo foi elaborar modelos de predição das exigências de lisina digestível de frangos de corte, com base no método fatorial, utilizando-se diferentes abordagens. O Modelo 1 (M-1) não fez distinção entre a composição das penas e do corpo depenado, sendo variáveis independentes o peso corporal e o ganho de peso. O Modelo 2 (M-2) fracionou os componentes de manutenção e crescimento em proporções para o corpo depenado e para as penas, sendo as variáveis independente os pesos e deposições de proteína no corpo depenado e nas penas. Os parâmetros que expressam as exigências de lisina para a manutenção e crescimento foram obtidos em ensaios de metabolismo com galos (Capítulo 2) e em experimentos com frangos de corte de 1 a 42 dias (Capítulo 3), respectivamente. Para avaliar os modelos foram utilizados dados da literatura para gerar as variáveis independentes, comparando-se as estimativas dos diferentes modelos com o modelo das Tabelas Brasileira para Aves e Suínos (2005). Os modelos propostos foram capazes de prever as exigências de lisina digestível de frangos de corte de diferentes linhagens e idades, sugerindo a redução dos níveis de lisina após a segunda metade do ciclo de produção, por volta dos 25 dias de idade. Considerando que os modelos foram elaborados à partir de dados de deposição de lisina no corpo como um todo (M-1) ou deposições de proteína no corpo depenado e nas penas (M-2), e tendo em vista que a relação proteína: gordura, principais componentes do ganho, reduz sistematicamente com o avançar da idade, os resultados mostraram-se coerentes.

Palavras Chave: avicultura, aminoácidos, desempenho, manutenção, modelagem

MODELS TO ESTIMATE THE DIGESTIBLE LYSINE REQUIREMENTS OF BROILER CHICKENS BASED ON FACTORIAL METHOD

SUMMARY - This study was carried out to develop models to predict the digestible lysine requirements of broilers, based on factorial method, using different approaches. Model 1 (M-1) did not distinguish between the body composition and feathers composition, and the independent variables were body weight and weight gain. Model 2 (M-2), subdivided the components for maintenance and growth in proportion to the body and feathers, and the independent variable were weights and protein depositions in the body and feathers. The parameters that express the lysine requirements for maintenance and growth were obtained in metabolism trials with roosters (Chapter 2) and in experiments with broilers from 1 to 42 days (Chapter 3), respectively. To evaluate the models were used literature datas to generate the independent variables, comparing the estimates of different models with the Brazilian Tables of Poultry and Pigs (2005) model. The proposed models were able to predict the digestible lysine requirements of broilers of different strains and ages, suggesting a reduction of lysine levels after the half of the production cycle, around 25 days old. The models were developed from data of lysine deposition in the whole body (M-1) or protein deposition in the feather-free body and feathers (M-2), and considering that the protein: fat ratio , the main components of the weigth gain, decreases systematically with age, the results were consistent.

Keywords: poultry, amino acids, performance, maintenance, modeling

INTRODUÇÃO

As exigências de lisina de frangos de corte são estudadas há décadas pelo método dose resposta e as recomendações variam amplamente. Esta variação pode ser parcialmente atribuída às diferenças entre sexo, linhagens, dietas e condições ambientais, que têm conseqüências diretas sobre o desempenho e a composição corporal das aves. Nesse sentido, as recomendações nutricionais para frangos de corte poderão ser otimizadas se métodos que consideram estas variações forem utilizados para determinar as exigências.

O método fatorial baseia-se no princípio que as aves necessitam dos aminoácidos para a manutenção dos processos vitais, crescimento e/ou produção de ovos, fracionando a exigência total em proporções adequadas para cada uma dessas finalidades (OWENS & PETTIGREW, 1989; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Por contemplar diferenças de peso e composição corporal, potencial de crescimento e produção das aves, a abordagem fatorial possibilita elaborar modelos capazes de prever as exigências nutricionais de aves de diferentes linhagens e idades, criadas sob diferentes condições.

Contudo, a aplicação do método fatorial depende da determinação dos parâmetros ou coeficientes que expressam as exigências de manutenção, e das eficiências de utilização dos aminoácidos da dieta, sendo estas informações obtidas a partir de estudos dose resposta. Em virtude disso, D'MELLO (2003) salienta que o método dose resposta favorece a percepção dos fatores que realmente afetam as respostas das aves ao aminoácido limitante das dietas, além de favorecer a compreensão dos processos biológicos envolvidos na produção (ZOONS et al., 1991; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007).

Na pesquisa avícola, um modelo pode ser considerado como a descrição matemática de um dado fenômeno biológico (crescimento, produção, etc.), obtida por meio do arranjo coordenado de equações, em que variáveis quantitativas são tomadas para representar os fatores que influenciam tais fenômenos (OVIEDO-RONDON et al., 2002). De acordo com ZOONS et al. (1991), a elaboração dos modelos envolve três

etapas distintas. A primeira refere-se à identificação das variáveis de “entrada” (independentes) e de “saída” (dependentes), levando em consideração os objetivos do modelo. A segunda etapa envolve o estabelecimento da estrutura das diferentes relações matemáticas que irão compor os modelos, não direcionando atenção para os valores dos parâmetros. Estes valores podem ser determinados em seguida com base em estudos dose resposta. A terceira e última etapa envolve a avaliação do modelo que, segundo SAKOMURA & ROSTAGNO (2007), pode ser realizada por meio de ensaios de desempenho, por simulação ou por comparação de valores preditos com valores observados em situações reais, constituindo uma etapa determinante para verificar a aplicabilidade do modelo.

Na última edição das “Tabelas Brasileira para Aves e Suínos”, ROSTAGNO et al. (2005) agruparam dados de 30 estudos dose resposta, realizados com frangos de corte, e elaboraram uma equação para estimar quantidade de lisina necessária (g) por kg de ganho de peso, considerando o peso corporal médio (kg) como variável independente. Com base nisso, a exigência de lisina para ganho (g/dia) é obtida multiplicando-se o valor predito pela equação (g/kg), pelo ganho de peso esperado (kg/dia). À partir das publicações de FISHER (1998) e EDWARDS et al. (1999), foram estabelecidas as exigências de lisina para manutenção ($100 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$). As exigências de lisina digestível (g/dia) são estimadas à partir da soma das necessidade de lisina para manutenção e para ganho de peso.

Não resta dúvida que o modelo proposto por ROSTAGNO et al. (2005) tem contribuído sobremaneira para o estabelecimento das exigências de aminoácidos de frangos de corte no Brasil. Entretanto, o modelo proposto por estes autores é fundamentado no ganho de peso das aves e sabe-se que a proporção entre proteína e gordura, principais componentes do ganho de peso, varia com o crescimento e é afetada por diversos fatores, além disso, existem relatos que não há demanda de aminoácidos para deposição e manutenção do tecido gorduroso (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; GOUS, 2007; NONIS & GOUS, 2008). Assim, o desenvolvimento de modelos de predição das exigências de lisina digestível, fundamentados na deposição de proteína ou lisina corporal, poderá

contribuir para o aperfeiçoamento dos programas nutricionais recomendados para frangos de corte, possibilitando a obtenção de benefícios econômicos e ambientais para a atividade.

O presente estudo objetivou: (1) elaborar modelos para estimar as exigências de lisina digestível de frangos de corte utilizando o método fatorial e (2) avaliar os modelos utilizando como referencial o modelo proposto por ROSTAGNO et al. (2005).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram elaborados dois modelos para predizer as exigências de lisina digestível (mg/dia) de frangos de corte, partindo-se do pressuposto que estas aves necessitam de quantidades diárias de lisina para suprir suas necessidades de manutenção e crescimento, sendo fundamentados em diferentes abordagens para definir cada um destes componentes. O Modelo 1 não fez distinção entre a composição das penas e do corpo depenado, utilizando como variáveis independentes o peso corporal (kg) e o ganho de peso (g/dia) das aves. O Modelo 2 (M-2) envolveu os princípios do modelo de crescimento proposto por EMMANS (1981), dividindo os componentes de manutenção e crescimento em frações específicas para o corpo depenado e para as penas, sendo as variáveis independente, pesos (g) e deposições (g/dia) de proteína no corpo depenado e nas penas (g/dia), estimadas por meio de equações não lineares, dentre elas a de GOMPERTZ (1825).

Descrição dos Modelos

O Modelo 1 (M-1) foi estruturalmente semelhante ao modelo proposto por ROSTAGNO et al. (2005), sendo o peso corporal e o ganho de peso considerados as variáveis independentes, de modo que as exigências de lisina para manutenção e crescimento foram estimadas para o corpo como um todo, ignorando as diferenças na composição do corpo depenado e das penas, estando representado na Figura 1.

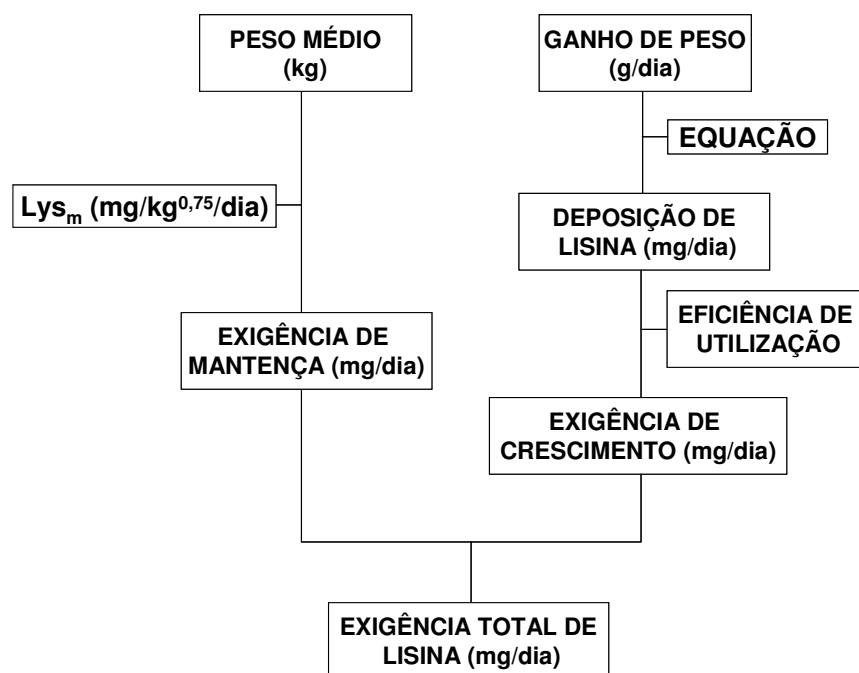


Figura 1. Diagrama esquemático do Modelo 1.

O parâmetro que expressa a exigência de lisina para a manutenção ($Lys_m = 45,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$) foi estimado em ensaios de metabolismo com galos adultos (Capítulo 2), sendo as necessidades de manutenção obtidas à partir do peso metabólico ($\text{kg}^{0,75}$) da ave.

As informações necessárias para determinar as exigências de lisina para crescimento foram obtidas à partir dos experimentos realizados com frangos de corte de 1 a 42 dias de idade (Capítulo 3). Os dados de deposição de lisina corporal (DLysC; g) e ganho de peso (GP; g) de cada fase foram convertidos em unidades diárias (mg/dia e g/dia, respectivamente) servindo de base para a obtenção da equação que compõe o M-1. Desse modo, a DLysC (mg/dia), também interpretada como sendo a exigência líquida de lisina para o crescimento, foi estimada utilizando-se o ganho de peso (GP; g/dia) como variável independente, por meio do modelo de regressão linear simples: $DLysC \text{ (mg/dia)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot GP \text{ (g/dia)} + \varepsilon$; onde, β_0 e β_1 são os parâmetros da equação e ε é o erro aleatório. Para verificar o ajuste da equação considerou-se o nível de

significância do teste “F” sob as hipóteses $H_0: \beta_1 = 0$ e $H_1: \beta_1 \neq 0$, utilizando-se o procedimento “GLM” do software SAS 9.0.

A eficiência de utilização da lisina digestível foi considerada como sendo 76,9%, com base nos argumentos apresentados no Capítulo 3. As exigências de lisina para crescimento foram estimadas pela razão entre a deposição diária de lisina corporal ou exigência líquida (DLysC; mg/dia), e a eficiência de utilização da lisina (k_{Lys}).

As exigências totais de lisina digestível foram obtidas pela soma das exigências de lisina digestível para manutenção e para crescimento, conforme descrição do modelo:

$$\mathbf{M- 1: Lys (mg/dia) = (Lys_m \cdot P^{0,75}) + (DLysC / k_{Lys});}$$

Em que, Lys é a exigência de lisina digestível (mg/dia); Lys_m é a exigência de lisina para a manutenção (45,1 mg/kg^{0,75}/dia); P é o peso corporal (kg); k_{Lys} é a eficiência de utilização da lisina para a deposição corporal (76,9%); DLysC é a deposição de lisina corporal (mg/dia) ou exigência líquida diária, estimada em função do ganho de peso (g/dia).

O Modelo 2 (M-2) envolveu os princípios do modelo de crescimento proposto por EMMANS (1981), sendo análogo ao modelo desenvolvido por MARTIN et al. (1994) para determinar as exigências de aminoácidos de frangas de postura.

Os componentes de manutenção e crescimento do corpo foram fracionados em proporções específicas para o corpo depenado e para as penas, partindo-se do pressuposto que a composição em aminoácidos das penas difere acentuadamente da composição do corpo depenado (EMMANS & FISHER, 1986), e, além disso, as características de crescimento das penas diferem em relação ao crescimento do resto do corpo, sendo afetadas pela linhagem, sexo e idade da ave, entre outros fatores. Neste contexto, foram definidas como variáveis independentes os pesos e as deposições de proteína no corpo depenado e nas penas (g/dia), conforme ilustrado na Figura 2.

O parâmetro que define a exigência de lisina para a manutenção da proteína do corpo depenado ($Lys_{mc} = 151,2 \text{ mg/PB}_m^{0,73} \cdot \text{u/dia}$) foi estimado à partir de ensaios de

metabolismo com galos adultos (Capítulo 2), sendo as exigências obtidas com base no peso de proteína corporal à maturidade (PB_m) e no grau de maturidade da proteína corporal na idade t ($u = PB_t/PB_m$), conforme proposto por EMMANS & FISHER (1986).

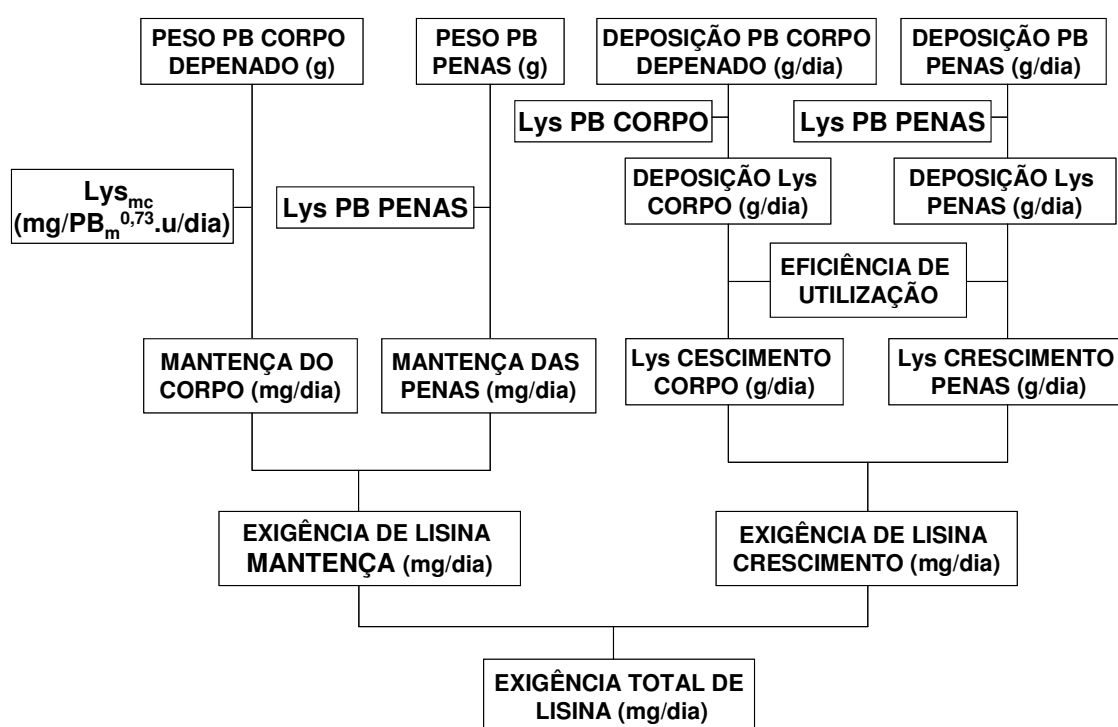


Figura 2. Diagrama esquemático do Modelo 2.

As exigências de proteína para a manutenção das penas podem ser consideradas como sendo proporcionais às perdas de pena (MARTIN et al., 1994), e de acordo com EMMANS (1989) estas perdas equivalem a 0,01g/g de pena por dia. Assim, as exigências de lisina para a manutenção das penas (Lys_{mp}) foram obtidas pela expressão: $Lys_{mp} \text{ (mg/dia)} = 0,01 \cdot PPB_{pt} \cdot Lys_p$, sendo PPB_{pt} (g) o peso de proteína das penas na idade t e Lys_p é o conteúdo de lisina na proteína das penas, sendo considerado 18 mg/g (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS, 1989). A exigência de lisina para a manutenção (mg/dia) foi obtida pela soma da Lys_{mc} com a Lys_{mp} .

As informações necessárias para estimar as exigências de lisina para crescimento do corpo depenado e das penas foram obtidas com base nos dados de experimentos realizados com frangos de corte de 1 a 42 dias de idade (Capítulo 3). Os pesos do corpo, de proteína do corpo depenado e proteína das penas das aves com 1, 8, 22, 35 e 42 dias de idade foram utilizados para ajustar o modelo de Gompertz modificado (MARTIN et al., 1994): $P_t = P_m \cdot \exp [- \exp ((\ln (-\ln (P_0/P_m)) - (B \cdot \text{idade})))$]; onde P_t é o peso da variável (g) estimado na idade t ; P_m é o peso da variável (g) à maturidade, P_0 é o peso da variável (g) no nascimento; B é a taxa de maturidade (por dia), sendo a idade da ave dada em dias. Os parâmetros das equações ajustadas para cada variável foram estimados utilizando-se o método Gauss-Newton, por meio do procedimento “NLIN” do software SAS 9.0.

Para obter as deposições diárias de proteína no corpo depenado e nas penas utilizou-se a derivada da equação de Gompertz expressa em função do peso de proteína no tempo t : $DPB = B \cdot P_t \cdot \ln (P_m/P_t)$; onde DPB é a deposição diária de proteína no corpo depenado ou nas penas (g/dia). As deposições diárias de lisina no corpo depenado e nas penas foram obtidas multiplicando-se a deposição de proteína pelo conteúdo de lisina na proteína do corpo depenado e das penas, respectivamente. As concentrações de lisina na proteína do corpo depenado e das penas foram consideradas como sendo 75 e 18 mg/g, respectivamente (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS, 1989).

As exigências de lisina para o crescimento do corpo depenado e das penas foram estimadas considerando-se a eficiência de utilização da lisina de 76,9% (Capítulo 3), tendo em vista a escassez de informações específicas acerca da eficiência de utilização da lisina para deposição nas penas. As exigências de lisina digestível para crescimento foram obtidas pela soma das quantidades necessárias para o crescimento do corpo depenado e das penas. As exigências totais de lisina digestível foram obtidas pela soma das exigências de lisina para manutenção e para crescimento, conforme descrição:

$$\text{M-2: Lys (mg/dia)} = [(\text{Lys}_{mc} \cdot \text{PB}_m^{0,73} \cdot u) + (0,01 \cdot \text{PP} \cdot \text{Lys}_p)]$$

+

$$[(Lys_c \cdot DPB_c / k_{Lysc}) + (Lys_p \cdot DPB_p / k_{Lysp})]$$

Em que, Lys é a exigência de lisina digestível (mg/dia); Lys_{mc} é a exigência de lisina para a manutenção da proteína do corpo depenado (151,2 mg/ $PB_m^{0,73} \cdot u$ /dia; Capítulo 2); PB_m é o peso de proteína corporal à maturidade (kg); u é o grau de maturidade da proteína corporal ($u = PB_t / PB_m$); PP é o peso de proteína das penas (g); Lys_p é o conteúdo de lisina na proteína das penas (mg/g); Lys_c é o conteúdo de lisina na proteína do corpo depenado (75 mg/g); DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado (g/dia); DPB_p é a deposição de proteína nas penas (g/dia), k_{Lysc} é a eficiência de utilização da lisina para deposição no corpo depenado e k_{Lysp} é a eficiência de utilização da lisina para deposição nas penas, sendo $k_{Lysc} = k_{Lysp} = 76,9\%$ (Capítulo 3). O componente do modelo que se refere às exigências de lisina para a manutenção do corpo depenado ($Lys_{mc} \cdot PB_m^{0,73} \cdot u$) pode ser rearranjado matematicamente resultando na expressão: $Lys_{mc} \cdot PB_m^{-0,27} \cdot PB_t$.

Estimativa das Exigências de Lisina Digestível

Para estimar as exigências diárias de lisina digestível para frangos de corte Cobb 500 de 1 a 42 dias de idade, foram utilizados os parâmetros (P_m , P_0 e B) das equações ajustadas para os dados de peso corporal, peso de proteína no corpo depenado e nas penas (Capítulo 3), obtendo-se, deste modo, as variáveis independentes (“entrada”) necessárias para a utilização dos modelos.

Avaliação dos Modelos

Para avaliar os modelos propostos, inicialmente foi realizada uma comparação das exigências estimadas pelos modelos M-1 e M-2 com aquelas obtidas com base no método dose resposta para cada fase de criação (Capítulo 3).

Posteriormente, os modelos foram avaliados considerando-se como referencial o modelo apresentado nas Tabelas Brasileira para Aves e Suínos (MTB) (ROSTAGNO et al., 2005):

$$\text{MTB: Lys (mg/dia)} = [(0,1 \cdot P^{0,75}) + (g \text{ LisDig} / \text{kg Ganho}) \cdot G] \cdot 1000;$$

Em que, Lys é a exigência de lisina digestível (mg/dia); o valor 0,1 representa o coeficiente de lisina para a manutenção ($100 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$); P é o peso corporal médio (kg); $(g \text{ LisDig} / \text{kg Ganho}) = 14,28 + 2,0439 \cdot P$; e G é o ganho de peso (kg/dia).

As variáveis de “entrada” necessárias para a utilização dos diferentes modelos foram estimadas, para cada idade, com base em parâmetros de curvas de crescimento do peso corporal, peso de proteína no corpo depenado e nas penas, de frangos de corte de diferentes linhagens, obtidos de diferentes estudos (HANCOCK et al., 1995; SAKOMURA et al., 2005; MARCATO, 2007), possibilitando a comparação das exigências (“saída”) estimadas pelos modelos em condições diferentes daquelas em que os modelos foram parametrizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É amplamente aceito que as concentrações de aminoácidos em dietas de frangos de corte podem variar em função de fatores inerentes às aves, dentre eles, potencial genético, idade e sexo, fatores ambientais envolvendo nutrição, temperatura, manejo e biosegurança, além variarem em função de aspectos econômicos. Por essas razões, as concentrações de aminoácidos nas dietas estabelecidas com base em estudos dose resposta possuem aplicabilidade restrita às condições semelhantes às aquelas em que os estudos foram realizados (OVIEDO-RONDÓN & WALDROUP, 2002; SAKOMURA & ROSTAGNO, 2007). Neste contexto, vem crescendo o interesse pelo desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam prever as necessidades nutricionais de aves de diferentes potenciais genéticos, criadas sob diferentes condições.

No presente estudo, os modelos de predição das exigências de lisina para frangos de corte foram elaborados com base em abordagens distintas, nas quais, considerou-se, ou não, as diferenças entre a composição e as características de crescimento do corpo depenado e das penas.

O Modelo 1 (M-1) foi estruturalmente simples, não considerando as diferenças entre corpo depenado e penas. Neste modelo, o parâmetro que define as exigências de lisina para a manutenção foi expresso por unidade de peso metabólico ($\text{kg}^{0,75}$), considerando o valor de $45,1 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{dia}$, estimado em ensaios de metabolismo com galos adultos (Capítulo 2). À partir dos dados de ganho de peso e deposição de lisina obtidos nos experimentos com frangos de corte de 1 a 42 dias de idade (Capítulo 3), obteve-se a equação, resultante de 240 observações: $\text{DLysC} = -23,142 + 13,39 \cdot \text{GP}$ ($P < 0,0001$; $r^2 = 0,936$), em que DLysC é a deposição de lisina corporal (mg/dia) e GP é o ganho de peso (g/dia) (Figura 3).

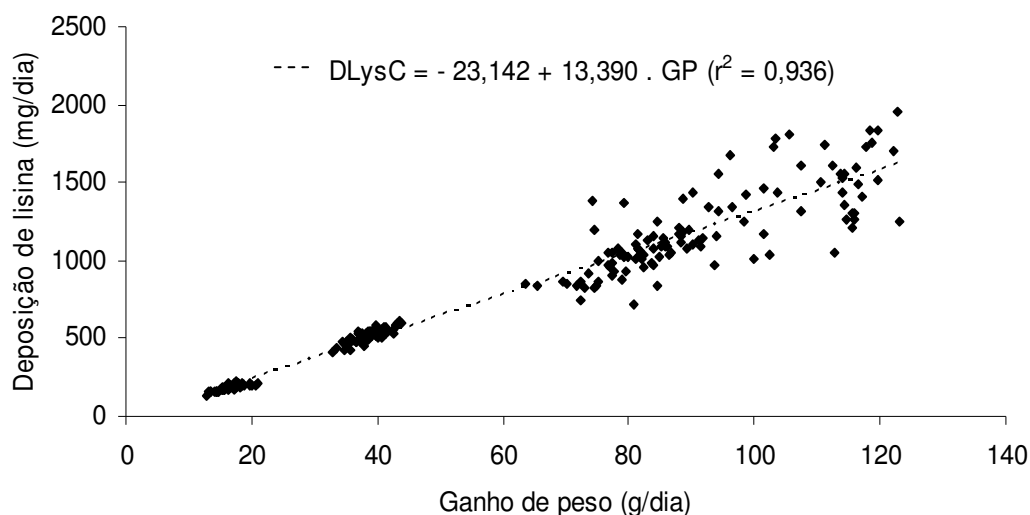


Figura 3. Regressão linear da deposição de lisina corporal (DLysC) pelo ganho de peso (GP) de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade.

Com base nestes resultados propôs-se o Modelo 1:

$$\mathbf{M-1: Lys = [45,1 \cdot (P^{0,75})] + \{[-23,142 + (13,39 \cdot GP)] / 0,769\};}$$

Em que, Lys é exigência de lisina digestível (mg/dia); P é o peso corporal médio (kg); GP é o ganho de peso (g/dia), o valor 0,769 refere-se a eficiências de utilização da lisina ($k_{Lys} = 76,9\%$), obtida com base nos resultados discutidos no Capítulo 3.

Devido ao fato da composição em aminoácidos da proteína corporal diferir da composição das penas, mais acurácia pode ser alcançada nos cálculos das exigências de aminoácido, se o crescimento da proteína do corpo depenado for considerado separadamente do crescimento da proteína das penas (EMMANS & FISHER, 1986). Com base nisso, o Modelo 2 (M-2) fracionou as exigências de manutenção e crescimento em proporções específicas para o corpo depenado e para as penas, objetivando isolar esta variação.

Em virtude de não haver demanda de aminoácidos para a manutenção das reservas lipídicas (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; GOUS, 2007; NONIS & GOUS, 2008), EMMANS & FISHER (1986) sugeriram expressar as exigências de lisina para manutenção com base no peso de proteína corporal à maturidade (PB_m) e no grau de maturidade da proteína corporal (u). O parâmetro que define a exigência de lisina para a manutenção da proteína do corpo depenado foi estimado em $151,2 \text{ mg}/PB_m^{0,73} \cdot u/\text{dia}$, com base em ensaios de metabolismo com galos adultos (Capítulo 2). As exigências de proteína para a manutenção das penas foram consideradas como sendo proporcionais às perdas de pena (EMMANS, 1989).

No M-2, as estimativas das exigências de lisina para o crescimento foram fundamentadas nas deposições de proteína do corpo depenado e das penas, tendo em vista que o conteúdo de lisina na proteína destes componentes difere substancialmente (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS, 1989; MARTIN et al., 1994) e, além disso, a contribuição da proteína das penas para a proteína total do corpo pode variar em função do potencial genético, idade e sexo, dentre outros fatores.

Com base nestas informações propôs-se o Modelo 2:

$$\text{M-2: Lys} = [(151,2 \cdot \text{PB}_m^{0,73} \cdot u) + (0,01 \cdot \text{PPB}_p \cdot 18)] + [(75 \cdot \text{DPB}_c / 0,769) + (18 \cdot \text{DPB}_p / 0,769)]$$

Em que, Lys é exigência de lisina digestível (mg/dia); PB_m é o peso de proteína corporal à maturidade (1,0917 kg); u é o grau de maturidade da proteína corporal onde $u = \text{PPB}_c / \text{PB}_m$; PPB_p é o peso de proteína das penas (g); DPB_c é a deposição de proteína no corpo depenado (g/dia); DPB_p é a deposição de proteína nas penas (g/dia). Tendo em vista a escassez de informações específicas acerca da eficiência de utilização da lisina para deposição nas penas, esta foi considerada como sendo igual à eficiência para deposição no corpo (76,9%), determinada no Capítulo 3.

Com base nos dados de peso corporal, peso de proteína no corpo depenado e nas penas, obtidos no Capítulo 3, foram estimados os parâmetros das equações de Gompertz (Tabela 1) que descrevem o crescimento destes componentes.

Tabela 1. Parâmetros do modelo de Gompertz, ajustados para os dados de peso corporal, peso de proteína do corpo depenado e das penas de frangos de corte Cobb 500.

Variável	Parâmetros ⁽¹⁾		
	P_m (g)	P_0 (g)	B (por dia)
Peso corporal	7968,5	42,99	0,0343
Proteína corpo depenado	1091,7	6,076	0,0357
Proteína penas	641,7	0,802	0,0274

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

Com base nestes parâmetros foram geradas curvas de crescimento do peso corporal, da proteína do corpo depenado e das penas, obtendo-se as variáveis de “entrada” necessárias para a utilização dos diferentes modelos (Figuras 4 e 5).

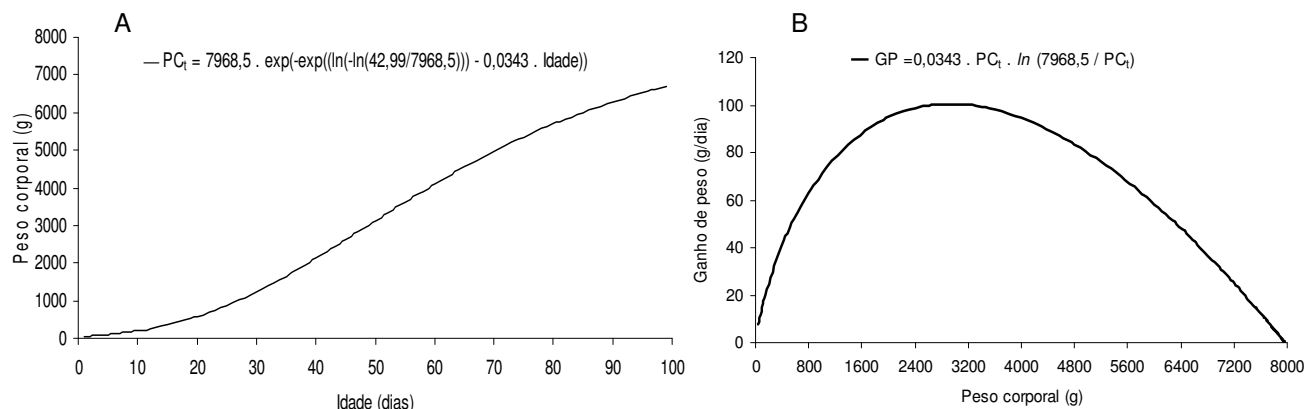


Figura 4. Representação gráfica do peso corporal (PC_t ; A) e do ganho de peso (GP; B) de frangos de corte Cobb 500, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1.

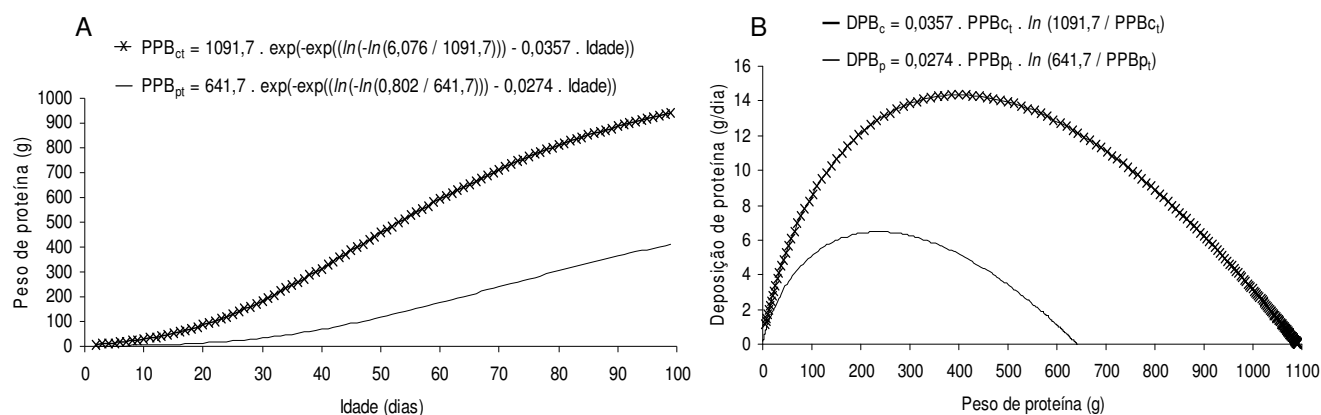


Figura 5. Representação gráfica do peso de proteína do corpo depenado (PPB_{ct}) e peso de proteína das penas (PPB_{pt}) (A), e deposição de proteína no corpo depenado (DPB_c) e nas penas (DPB_p) (B) de frangos de corte Cobb 500, estimados com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1.

Com base nos valores das variáveis independentes obtidos para cada idade, foram estimadas as exigências de lisina digestível de frangos de corte Cobb 500 pelos dois modelos propostos, estando os resultados apresentados na Tabela 2.

Observou-se que as recomendações obtidas com o uso do M-1 foram superiores às aquelas obtidas com o M-2 em qualquer idade avaliada, de modo que as diferenças aumentaram gradativamente com o avançar da idade das aves (Figura 6).

Tabela 2. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Cobb 500 estimadas com base nos modelos de predição.

Idade (dias)	Variáveis independentes						Exigências	
	P (g)	GP (g/dia)	PPB _{ct} (g)	DPB _c (g/dia)	PPB _{pt} (g)	DPB _p (g/dia)	Lys M-1 ⁽¹⁾ (mg/dia)	Lys M-2 ⁽²⁾ (mg/dia)
1	51,2	8,86	7,29	1,30	0,96	0,171	129	132
7	130,9	18,45	19,15	2,76	2,58	0,389	301	282
14	314,6	34,88	46,82	5,26	6,75	0,842	596	541
21	627,2	54,68	93,93	8,23	14,94	1,539	954	855
28	1079,0	74,00	161,58	11,02	28,80	2,449	1306	1161
35	1653,4	89,19	246,52	13,10	49,50	3,475	1589	1404
42	2312,9	98,13	342,57	14,17	77,41	4,486	1763	1497

⁽¹⁾Lys M-1 = $[45,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + \{[-23,142 + (13,39 \cdot GP)] / 0,769\}$.

⁽²⁾Lys M-2 = $[151,2 \cdot (1,0917^{0,73}) \cdot PPB_{ct}/1000/1,0917] + (0,01 \cdot PPB_{pt} \cdot 18) + [(75 \cdot DPB_c / 0,769) + (18 \cdot DPB_{pt} / 0,769)]$.

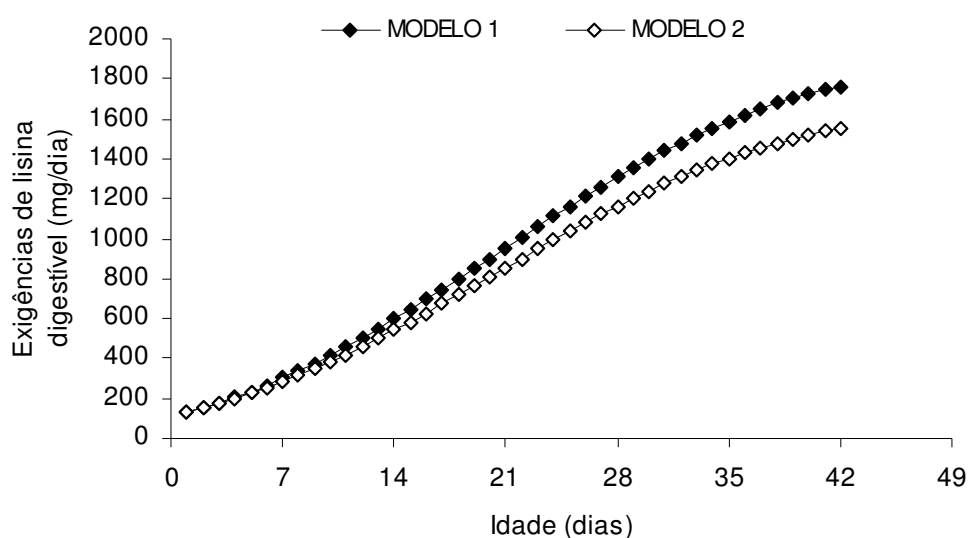


Figura 6. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Cobb 500 obtidas com o uso dos modelos de predição.

A diferença entre as recomendações preditas pelos modelos pode ser justificada com base na estrutura dos modelos e nas equações de Gompertz ajustadas para o crescimento de proteína do corpo depenado e das penas (Figura 5). Evidenciou-se que a proteína presente nas penas representa elevada proporção do conteúdo total de proteína corporal, e esta proporção varia com a idade da ave. Além disso, as equações

de crescimento demonstraram que a máxima deposição proteína no corpo depenado (14,34 g/dia) é atingida por volta do 46º dia de idade, ao passo que nas penas a máxima deposição (6,47 g/dia) será atingida posteriormente, por volta do 69º dia. Considerando que a proteína do corpo depenado contém aproximadamente 75 mg/g de lisina, enquanto a proteína das penas contém apenas 18 mg/g (EMMNAS & FISHER, 1986; EMMANS, 1989), a quantidade de lisina necessária para formar um grama de penas será inferior à quantidade necessária para formar um grama de corpo depenado. Assim, as menores recomendações, obtidas com o uso do M-2 podem ser justificadas, tendo em vista que este modelo considerou as diferenças de crescimento e composição existentes entre o corpo depenado e as penas.

As recomendações estimadas com base nos modelos de predição foram comparadas com as recomendações diárias obtidas pelo método dose resposta para as fases pré-inicial (1 a 8 dias), inicial (8 a 22 dias), crescimento (22 a 35 dias) e terminação (35 a 42 dias) (Capítulo 3), utilizando-se, para tanto, variáveis de “entrada” definidas no 4º, 15º, 28º e 39º dia, correspondentes à idade média de cada fase (Figura 7).

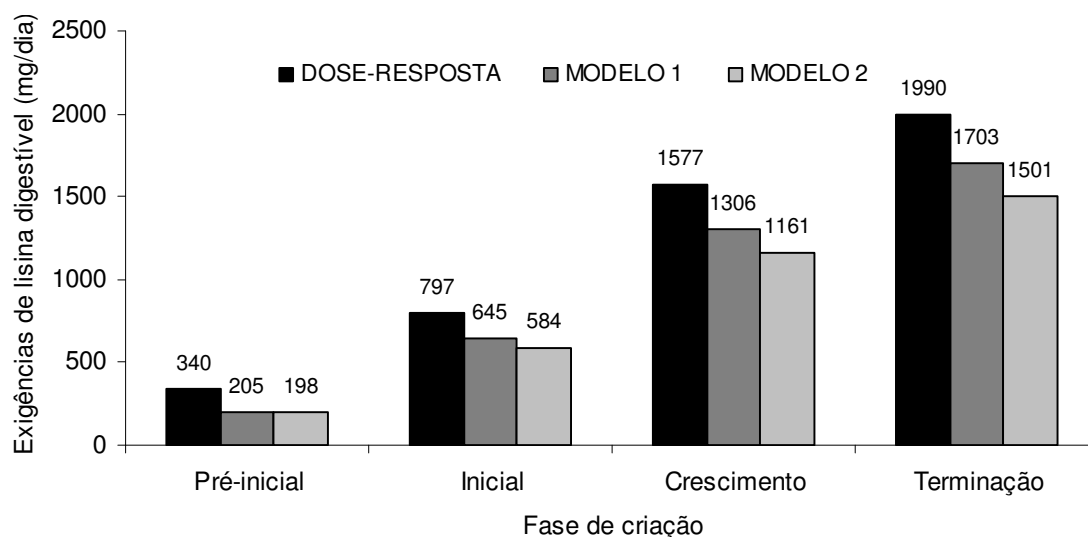


Figura 7. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Cobb 500 em diferentes fases de criação, estimadas com base no método dose resposta e nos modelos de predição.

Observou-se que as recomendações obtidas pelos modelos foram inferiores em relação às obtidas com base no método dose resposta, independentemente da fase de criação, obtendo-se os menores valores com o uso do M-2. Estas diferenças podem ser justificadas considerando os princípios inerentes aos diferentes métodos de determinação das exigências. As recomendações obtidas pelo método dose resposta (Capítulo 3) foram correspondentes às quantidades de lisina necessárias para proporcionar a melhor resposta de desempenho (CA ou GP) em cada fase de criação, enquanto os modelos foram elaborados à partir de dados de deposição de lisina no corpo como um todo (M-1) ou deposições de proteína no corpo depenado e nas penas (M-2).

Considerando que a relação proteína: gordura, principais componentes do ganho, reduz sistematicamente com o avançar da idade (EMMANS & FISHER, 1986; BURNHAM & GOUS, 1992), e tendo em vista que as exigências de lisina restringem-se a manutenção e crescimento do tecido protéico, não havendo demanda para o tecido gorduroso (EMMANS & FISHER, 1986; EMMANS & OLDHAM, 1988; BURNHAM & GOUS, 1992; GOUS, 2007; NONIS & GOUS, 2008), estes resultados não foram surpreendentes, evidenciando a coerência dos modelos.

De acordo com SAKOMURA & ROSTAGNO (2007), a avaliação de modelos pode ser realizada por meio de ensaios de desempenho, por simulação ou por comparação de valores preditos com valores observados em situações reais, constituindo uma etapa determinante para verificar a aplicabilidade dos modelos. Além disso, a avaliação dos modelos deve envolver comparações com resultados de modelos já existentes, em condições definidas, diferentes daquelas utilizadas para obter os parâmetros dos modelos (FRANCE & DIJKSTRA, 2006). No presente estudo, os modelos foram avaliados com base em dados obtidos em diferentes publicações (HANCOCK et al., 1995; SAKOMURA et al., 2005; MARCATO, 2007), utilizando-se como referencial o modelo apresentado nas Tabelas Brasileira para Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2005), visto que este é atualmente considerado padrão para pesquisas envolvendo nutrição de frangos de corte no Brasil.

À partir dos parâmetros da equação de Gompertz para o peso corporal, proteína do corpo depenado e proteína das penas, extraídos das diferentes publicações, foram geradas curvas de crescimento destes componentes, obtendo-se as variáveis de “entrada” necessárias para a utilização dos diferentes modelos. A análise gráfica dos valores estimados pelos diferentes modelos permitiu comparar as recomendações obtidas para aves de diferentes genótipos, em cada idade, possibilitando avaliações para condições distintas daquelas observadas no presente estudo.

HANCOCK et al. (1995) estimaram os parâmetros de crescimento do peso corporal, proteína do corpo depenado e das penas de seis linhagens comerciais de frangos de corte (Ross 708, Ross 788, Ross 608, Ross 688, Hubbard e Hybro), sendo estes utilizados para a avaliação dos modelos (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo depenado e nas penas de seis linhagens comerciais de frangos de corte (HANCOCK et al., 1995)

Linhagem	Variáveis	Parâmetros ⁽¹⁾		
		P _m (g)	B (por dia)	t* (dias)
Ross 708	Peso corporal	5414	0,0365	42,4
	Proteína corpo depenado	835	0,0349	44,1
	Proteína penas	178,8	0,0402	45,1
Ross 788	Peso corporal	5688	0,0369	42,4
	Proteína corpo depenado	928	0,0340	46,3
	Proteína penas	159,0	0,0439	41,9
Ross 608	Peso corporal	6145	0,0355	42,4
	Proteína corpo depenado	927	0,0367	45,8
	Proteína penas	152,4	0,0416	41,7
Ross 688	Peso corporal	5847	0,0371	42,1
	Proteína corpo depenado	929	0,0351	45,4
	Proteína penas	165,1	0,0384	44,9
Hubbard	Peso corporal	5171	0,0367	42,5
	Proteína corpo depenado	790	0,0352	45,0
	Proteína penas	153,5	0,0429	44,0
Hybro	Peso corporal	5507	0,0370	41,9
	Proteína corpo depenado	924	0,0341	47,0
	Proteína penas	191,0	0,0358	48,7

⁽¹⁾Parâmetros ajustados para o modelo de Gompertz: $P_t = P_m \cdot \exp(-\exp(-B \cdot (idade_t - t^*)))$; onde P_t = peso da variável estimado na idade t, P_m = peso da variável à maturidade, B = taxa de maturidade, t* = idade em que a taxa crescimento é máxima ou idade em que P_t = P_m/e, sendo e = 2,718282.

Com base nas curvas de crescimento de cada componente, geradas à partir dos parâmetros apresentados na Tabela 3, foram estimadas as variáveis de “entrada”, obtendo-se as estimativas das exigências de lisina digestível para frangos de corte de diferentes linhagens e potenciais genéticos, de acordo com a idade as aves (Tabela 4).

Independentemente da linhagem, observou-se que as recomendações obtidas pelo M-1 foram bastante próximas daquelas obtidas pelo modelo de ROSTAGNO et al. (2005) (MTB), até idades em torno dos 28 dias, obtendo-se estimativas inferiores para idades mais avançadas (Figura 8). Este comportamento provavelmente está associado aos diferentes princípios utilizados na elaboração dos modelos. O MTB fundamentou-se na quantidade de lisina necessária por quilograma de ganho de peso (GP), não considerando o fato que a relação proteína: gordura reduz com o avançar da idade da ave (EMMANS & FISHER, 1986; BURNHAM & GOUS, 1992). O M-1, apesar de utilizar o GP como variável independente, fundamentou-se na deposição de lisina corporal, isolando as variações inerentes ao conteúdo de gordura. Deste modo, os resultados mostraram-se coerentes, partindo-se do princípio que a proporção de gordura no GP aumenta em idades mais avançadas. Já o M-2, proporcionou as menores recomendações para todas as linhagens e idades avaliadas, provavelmente devido ao maior nível de refinamento em relação aos outros modelos (M-1 e MTB).

Os modelos de predição foram reavaliados da mesma forma, utilizando-se os parâmetros de crescimento do peso corporal, proteína do corpo depenado e peso das penas de frangos de corte Ross 308, publicados por SAKOMURA et al. (2005) (Tabela 5). Tendo em vista que o M-2 considera como “entrada” o peso de proteína das penas, e que estes autores apresentaram os parâmetros ajustados para o peso das penas, estimou-se o crescimento da proteína das penas, considerando um teor de proteína bruta nas penas de 90% (MN), possibilitando deste modo, a obtenção das recomendações pelo M-2.

Tabela 4. Exigências de lisina digestível de frangos de corte de seis linhagens comerciais estimadas por diferentes modelos de predição

Linhagem	Idade (dias)	Variáveis independentes						Exigências		
		P (g)	GP (g/dia)	PPB _{ct} (g)	DPB _c (g/dia)	PPB _{pt} (g)	DPB _p (g/dia)	Lys M-1 ⁽¹⁾ (mg/dia)	Lys M-2 ⁽²⁾ (mg/dia)	Lys MTB ⁽³⁾ (mg/dia)
Ross 708	1	58,3	9,03	9,27	1,37	0,50	0,11	133	138	142
	7	142,1	17,98	21,70	2,64	1,75	0,30	293	268	285
	14	322,8	32,13	47,86	4,62	5,45	0,73	549	476	523
	21	609,6	47,54	88,95	6,80	12,83	1,31	829	709	807
	28	997,5	60,79	144,52	8,73	24,48	1,92	1073	922	1092
	35	1460,7	69,43	211,37	10,07	39,86	2,38	1239	1076	1332
	42	1962,6	72,65	284,69	10,67	57,60	2,62	1310	1155	1495
Ross 788	1	56,8	9,03	8,74	1,30	0,39	0,09	132	130	142
	7	141,7	18,36	20,67	2,55	1,55	0,29	300	259	291
	14	328,4	33,38	46,26	4,56	5,29	0,75	571	470	543
	21	628,6	49,95	87,30	6,85	13,01	1,38	871	716	848
	28	1037,8	64,29	144,03	8,99	25,23	2,00	1136	949	1157
	35	1528,6	73,67	213,70	10,58	41,06	2,42	1315	1128	1420
	42	2061,6	77,17	291,66	11,44	58,75	2,57	1391	1230	1599
Ross 608	1	79,5	11,56	5,23	0,92	0,66	0,14	178	94	182
	7	183,0	21,82	14,56	2,09	2,21	0,36	363	215	348
	14	396,5	37,39	37,32	4,22	6,43	0,81	643	437	614
	21	724,7	53,87	77,26	6,85	14,31	1,37	943	714	928
	28	1159,9	67,82	135,66	9,40	26,01	1,88	1201	986	1241
	35	1674,0	76,85	209,67	11,33	40,65	2,22	1374	1195	1507
	42	2228,5	80,21	293,62	12,35	56,76	2,33	1449	1313	1693
Ross 688	1	59,1	9,42	8,03	1,25	0,75	0,14	139	127	148
	7	147,9	19,19	19,79	2,54	2,27	0,35	315	259	304
	14	342,9	34,86	45,76	4,67	6,24	0,75	597	481	567
	21	655,9	52,05	88,18	7,11	13,50	1,26	909	739	886
	28	1081,8	66,84	147,28	9,38	24,36	1,76	1182	982	1208
	35	1591,3	76,38	219,98	11,03	38,25	2,13	1364	1165	1481
	42	2143,0	79,78	301,07	11,88	53,99	2,31	1439	1267	1666
Hubbard	1	52,7	8,30	7,14	1,11	0,27	0,07	119	111	130
	7	130,5	16,77	17,50	2,23	1,15	0,22	272	226	266
	14	300,3	30,31	40,21	4,07	4,10	0,60	516	418	492
	21	572,2	45,20	77,06	6,16	10,50	1,16	787	642	764
	28	942,2	58,10	128,10	8,08	21,06	1,76	1025	852	1037
	35	1385,7	66,56	190,59	9,47	35,25	2,20	1186	1009	1267
	42	1867,4	69,76	259,99	10,15	51,63	2,41	1257	1094	1422
Hybro	1	58,7	9,23	7,60	1,17	0,77	0,14	136	118	145
	7	144,9	18,57	18,48	2,35	2,23	0,33	304	240	294
	14	332,4	33,38	42,42	4,30	5,98	0,71	571	443	543
	21	630,7	49,47	81,60	6,59	12,89	1,21	863	685	841
	28	1034,1	63,18	136,62	8,76	23,43	1,73	1116	920	1138
	35	1514,6	71,93	205,02	10,43	37,31	2,16	1284	1105	1386
	42	2033,4	74,95	282,26	11,38	53,58	2,43	1352	1218	1552

⁽¹⁾Lys M-1 = $[45,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + \{[-23,142 + (13,39 \cdot GP)] / 0,769\}$. ⁽²⁾Lys M-2 = $[151,2 \cdot (1,0917^{0,73}) \cdot PPB_{ct}/1000/1,0917 + (0,01 \cdot PPB_{pt} \cdot 18)] + [(75 \cdot DPB_c / 0,769) + (18 \cdot DPB_p / 0,769)]$. ⁽³⁾Lys MTB = $\{[0,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + [(14,28 + (2,0439 \cdot P / 1000)) \cdot (GP/1000)]\} \cdot 1000$. (ROSTAGNO et al., 2005).

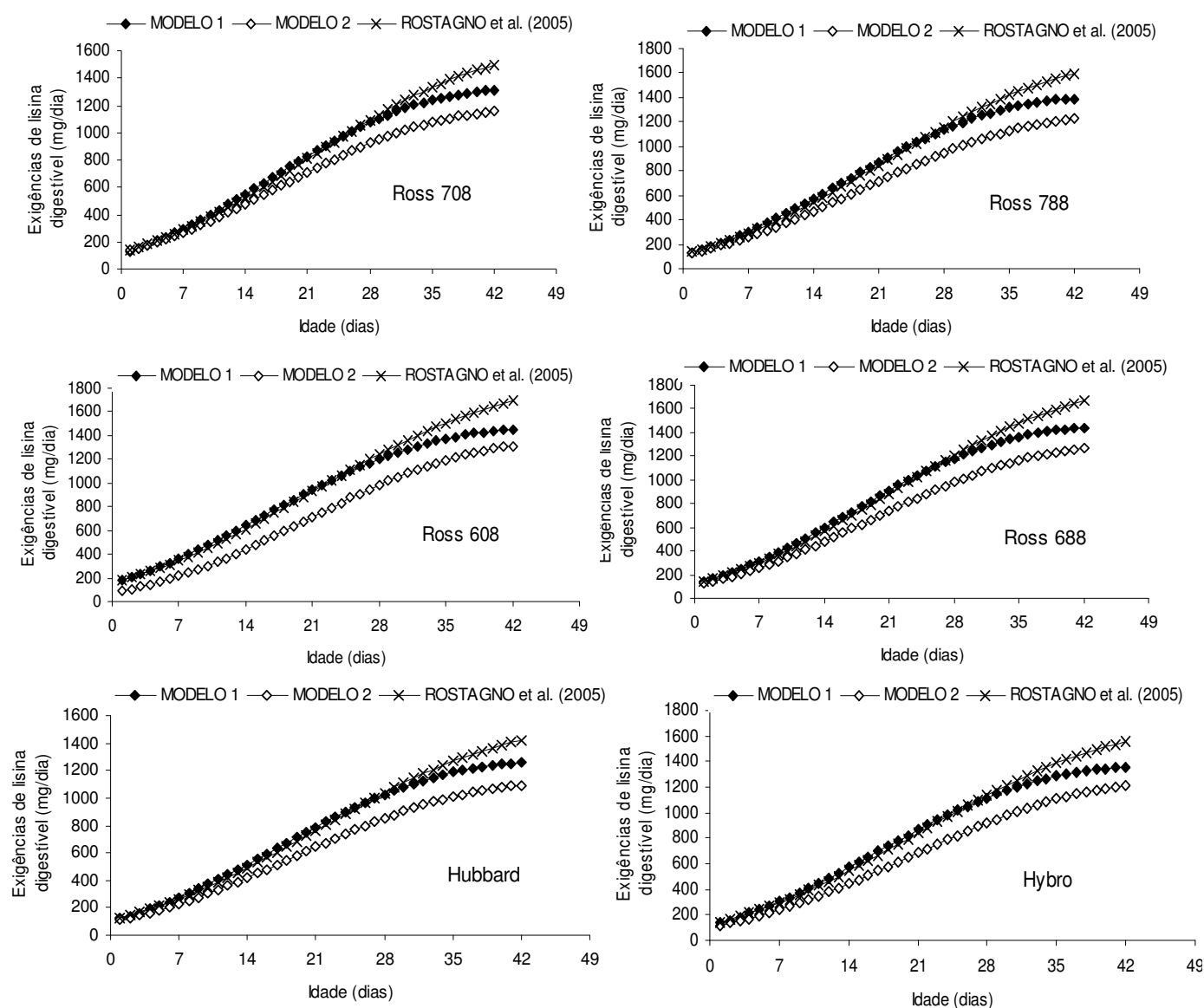


Figura 8. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangos de corte de seis linhagens comerciais estimadas por diferentes modelos de predição com base nos dados de HANCOCK et al. (1995)

Tabela 5. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo depenado e peso das penas de frangos de corte Ross 308 (SAKOMURA et al., 2005)

Variáveis	Parâmetros ⁽¹⁾		
	P _m (g)	B (por dia)	T* (dias)
Peso corporal	6050	0,0389	39,0
Proteína corpo depenado	616	0,0483	31,0
Peso das penas	213,0	0,0653	31,0

⁽¹⁾Parâmetros ajustados para o modelo de Gompertz: $P_t = P_m \cdot \exp(-\exp(-B \cdot (\text{idade}_t - t^*)))$; onde P_t = peso da variável estimado na idade t , P_m = peso da variável à maturidade, B = taxa de maturidade, t^* = idade em que a taxa crescimento é máxima ou idade em que $P_t = P_m/e$, sendo $e = 2,718282$.

Os resultados seguiram a mesma tendência anteriormente observada, de modo que as recomendações obtidas pelo M-1 foram similares àquelas obtidas pelo MTB, até por volta dos 25 dias, obtendo-se estimativas inferiores à partir desta idade. As menores recomendações foram novamente obtidas pelo M-2 em todas as linhagens e idades avaliadas (Tabela 6; Figura 9), sendo justificadas com base nos princípios envolvidos na elaboração dos diferentes modelos, conforme discutido anteriormente.

Tabela 6. Exigências de lisina digestível de frangos de corte Ross 308 estimadas por diferentes modelos de predição

Idade (dias)	Variáveis independentes						Exigências		
	P (g)	GP (g/dia)	PPB _{ct} (g)	DPB _c (g/dia)	PPB _{pt} ⁽¹⁾ (g)	DPB _p (g/dia)	Lys M-1 ⁽²⁾ (mg/dia)	Lys M-2 ⁽³⁾ (mg/dia)	Lys MTB ⁽⁴⁾ (mg/dia)
1	75,4	12,86	8,71	1,79	0,16	0,06	200	177	200
7	187,8	25,37	25,43	3,91	1,59	0,44	425	396	401
14	429,8	44,21	63,45	6,97	9,22	1,71	764	730	723
21	807,3	63,25	121,79	9,54	28,07	3,41	1110	1033	1093
28	1304,8	77,86	193,90	10,83	56,80	4,48	1381	1199	1442
35	1880,8	85,48	270,14	10,76	88,75	4,49	1531	1210	1710
42	2484,8	86,01	342,20	9,72	117,72	3,81	1557	1109	1863

⁽¹⁾Valores estimados com base nos parâmetros de peso das penas (Tabela 5) considerando-se 90% de PB (MN). ⁽²⁾Lys M-1 = $[45,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + \{[-23,142 + (13,39 \cdot GP)] / 0,769\}$. ⁽³⁾Lys M-2 = $[151,2 \cdot (1,0917^{0,73}) \cdot PPB_{ct}/1000 + (0,01 \cdot PPB_{pt} \cdot 18)] + [(75 \cdot DPB_c / 0,769) + (18 \cdot DPB_p / 0,769)]$. ⁽⁴⁾Lys MTB = $\{[0,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + [(14,28 + (2,0439 \cdot P / 1000)) \cdot (GP/1000)]\} \cdot 1000$. (ROSTAGNO et al., 2005).

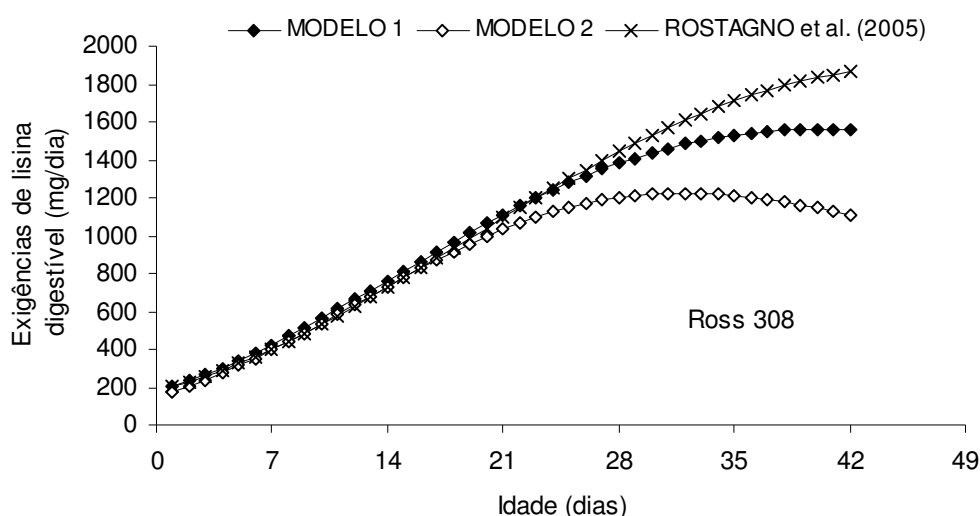


Figura 9. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangos de corte Ross 308, estimadas por diferentes modelos de predição com base nos dados de SAKOMURA et al. (2005)

É interessante notar que as estimativas obtidas pelo M-2 foram relativamente próximas àsquelas obtidas pelos outros modelos (M-1 e MTB) até por volta do 20º dia, distanciando-se, até que decresceu à partir do 32º dia. Um dos componentes centrais do M-2 é a deposição diária de proteína no corpo livre de penas (DPB_c), sendo o fator que representa a maior proporção das exigências totais de lisina digestível no M-2. Ao contrário dos estudos de HANCOCK et al (1995), nos estudos de SAKOMURA et al. (2005) a máxima deposição de proteína no corpo depenado ocorreu antes do máximo GP, no 31º dia (Tabela 5). Assim, o decréscimo das recomendações obtidas pelo M-2 à partir dos 32 dias foram coerentes, e podem ilustrar as diferenças no nível de refinamento dos diferentes modelos.

Os modelos de predição passaram por uma terceira avaliação, utilizando-se os parâmetros de peso corporal, peso de proteína do corpo depenado e das penas de frangos de corte de duas linhagens comerciais (Cobb 500 e Ross 308), obtidos nos estudos de MARCATO (2007) (Tabela 7). Pelos procedimentos anteriormente descritos, foram obtidas as variáveis independentes necessárias para a utilização dos diferentes modelos, estando os resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 7. Parâmetros da equação de Gompertz para peso corporal, proteína no corpo depenado e nas penas de duas linhagens comerciais de frangos de corte (MARCATO, 2007)

Linhagem	Variáveis	Parâmetros ⁽¹⁾		
		P _m (g)	B (por dia)	t* (dias)
Cobb 500	Peso corporal	7592	0,0410	40,6
	Proteína corpo depenado	1042	0,0470	37,2
	Proteína penas	192,8	0,0630	31,1
Ross 308	Peso corporal	7832	0,0380	42,0
	Proteína corpo depenado	1309	0,0370	44,0
	Proteína penas	327,9	0,0380	45,6

⁽¹⁾Parâmetros ajustados para o modelo de Gompertz: $P_t = P_m \cdot \exp(-\exp(-B \cdot (idade_t - t^*)))$; onde P_t = peso da variável estimado na idade t, P_m = peso da variável à maturidade, B = taxa de maturidade, t* = idade em que a taxa crescimento é máxima ou idade em que $P_t = P_m/e$, sendo $e = 2,718282$.

Tabela 8. Exigências de lisina digestível de frangos de corte de duas linhagens comerciais estimadas por diferentes modelos de predição

Linhagem	Idade (dias)	Variáveis independentes						Exigências		
		P (g)	GP (g/dia)	PPB _{ct} (g)	DPB _c (g/dia)	PPB _{pt} ⁽¹⁾ (g)	DPB _p (g/dia)	Lys M-1 ⁽¹⁾ (mg/dia)	Lys M-2 ⁽²⁾ (mg/dia)	Lys MTB ⁽³⁾ (mg/dia)
Cobb 500	1	47,7	9,92	4,35	1,12	0,24	0,10	147	112	153
	7	144,2	23,43	16,71	3,25	1,99	0,57	388	333	365
	14	387,6	47,28	53,24	7,44	10,17	1,88	815	780	762
	21	814,2	74,53	122,56	12,33	29,04	3,46	1306	1307	1274
	28	1421,1	97,63	223,32	16,17	57,04	4,38	1729	1722	1808
	35	2158,7	111,30	343,93	17,92	88,06	4,35	1988	1916	2259
	42	2954,2	114,32	469,27	17,59	116,45	3,70	2062	1893	2548
Ross 308	1	67,7	12,22	9,63	1,75	1,41	0,29	189	179	189
	7	178,3	25,63	25,59	3,73	4,29	0,71	429	384	403
	14	431,3	47,52	62,81	7,06	11,81	1,49	821	735	774
	21	849,0	71,68	125,59	10,89	25,66	2,48	1258	1143	1236
	28	1426,5	92,31	214,39	14,35	46,53	3,45	1636	1520	1718
	35	2123,3	105,31	323,93	16,73	73,42	4,18	1883	1791	2137
	42	2880,1	109,48	445,46	17,76	104,14	4,54	1976	1923	2429

⁽¹⁾Lys M-1 = $[45,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + \{[-23,142 + (13,39 \cdot GP)] / 0,769\}$. ⁽²⁾Lys M-2 = $[151,2 \cdot (1,0917^{0,73}) \cdot PPB_{ct}/1000 + (0,01 \cdot PPB_{pt} \cdot 18)] + [(75 \cdot DPB_c / 0,769) + (18 \cdot DPB_p / 0,769)]$. ⁽³⁾Lys MTB = $\{[0,1 \cdot (P/1000)^{0,75}] + [(14,28 + (2,0439 \cdot P / 1000)) \cdot (GP/1000)]\} \cdot 1000$. (ROSTAGNO et al., 2005).

Para a linhagem Cobb 500, as estimativas obtidas pelos diferentes modelos foram bastante similares até o 26º dia de idade, observando-se valores superiores à partir desta idade, com o uso do MTB. Um padrão similar foi observado para a linhagem Ross 308, embora o M-2 tenha proporcionado recomendações levemente inferiores

(Figura 10). Deste modo, confirmaram-se as tendências observadas nas avaliações anteriores, obtendo-se recomendações inferiores com a utilização do M-1 e do M-2 em idade mais avançadas, em relação ao MTB.

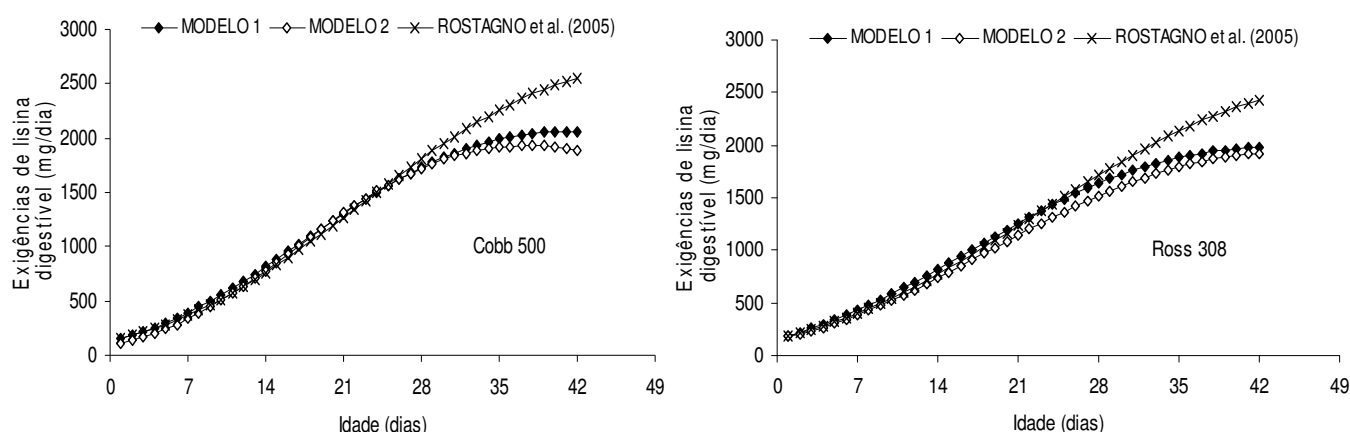


Figura 10. Representação gráfica das exigências de lisina digestível de frangos de corte de duas linhagens comerciais, estimadas por diferentes modelos de predição com base nos dados de MARCATO (2007)

A avaliação de modelos de predição não é um processo completamente objetivo, de modo que qualquer exercício de modelagem deve ter sua legitimidade analisada, considerando-se as finalidades para as quais os modelos foram construídos (FRANCE & DIJKSTRA, 2006). Os modelos propostos no presente estudo alcançaram os objetivos para os quais foram elaborados, uma vez que proporcionaram estimativas compatíveis com o MTB, que é considerado o atual padrão para as pesquisas brasileiras envolvendo nutrição de frangos de corte. Além disso, as variações observadas entre as recomendações dos diferentes modelos, especialmente em idade mais avançadas, puderam ser justificadas com base nos princípios de cada modelo.

De um modo geral, os modelos propostos sugeriram que os níveis de lisina digestível recomendados para frangos de corte podem ser inferiores à partir da segunda metade do ciclo de produção, por volta dos 25 dias. Pelo conceito de “proteína ideal”, as concentrações de aminoácidos essenciais nas dietas de frangos de corte são estabelecidas com base em relações fixas destes aminoácidos com a lisina (BAKER & HAN, 1994; BAKER et al., 2002; ROSTAGNO et al., 2005), de modo que qualquer

redução do nível de lisina resultaria em redução de todos os outros aminoácidos essenciais, podendo minimizar a inclusão do farelo de soja nas dietas. Observações práticas e experimentais têm demonstrado que aproximadamente 75% do consumo de ração de frangos de corte ocorre entre 21 e 42 dias de idade, e que neste período a produção de dejetos aumenta acentuadamente. Nesse sentido, a redução dos níveis de lisina durante este período traria benefícios econômicos e ambientais para a atividade.

A seleção genética exercida durante décadas sobre as linhagens de frangos de corte tem possibilitado o aumento das taxas de crescimento protéico, resultando em aves cada vez mais precoces para essa característica. Com base nisso, espera-se que a deposição diária de proteína decresça à partir de idades cada vez mais reduzidas, tendo impacto direto sobre as necessidades de aminoácidos destas aves. Deste modo, evidenciou-se que os modelos propostos foram capazes de detectar estas modificações, com menor (M-1) ou maior (M-2) grau de sensibilidade.

CONCLUSÕES

A variação nas recomendações obtidas com o uso dos modelos propostos foi previsível, tendo em vista os princípios envolvidos na elaboração de cada um deles.

Os modelos foram capazes de prever as exigências de lisina digestível de frangos de corte de diferentes linhagens e idades, sugerindo menores exigências de lisina digestível após a segunda metade do ciclo de produção, por volta dos 25 dias de idade. Com base nisso, poderão contribuir para o aperfeiçoamento dos programas nutricionais utilizados na avicultura de corte, possivelmente gerando benefícios econômicos e ambientais para a atividade.

REFERÊNCIAS

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

BAKER, D.H.; BATAL, A.B.; PARR, T.M.; AUGSPURGER, N.R.; PARSONS, C.M. Ideal ration (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, Savoy, v.81, p.485-494, 2002.

BURNHAM, D., GOUS, R. M. Isoleucine requirements of the chicken: requirement for maintenance. **British Poultry Science**, Abington, v.33, p.59-69, 1992.

D'MELLO, J. P. F . Responses of growing poultry to amino acids. In: D'MELLO, J. P. F. **Amino acids in animal nutrition**, 2th ed, CABI Publishing. p.237-263, 2003.

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**, Savoy, v.78, p.1412-1417, 1999.

EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: HILLYER, G.M.; WHITTEMORE, C.T.; GUNN, R.G. **Computers Animal Production**. Edinburgh. British Society of Animal Production, 1981. p. 106-110.

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

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

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

FISHER, C. Amino Acid Requirements of Broiler Breeders. **Poultry Science**, Savoy, v.77, p.124-133, 1998.

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

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

GOUS, R. M. Methodologies for modeling energy and amino acid responses in poultry. **Brazilian Journal of Animal Science**, v36: 263-274. 2007. Suplemento.

HANCOCK, C.E.; BRADFORD, G.D.; EMMANS, G.C.; GOUS, R.M. The evaluation of the growth parameters of six strains of commercial broiler chickens. **British Poultry Science**, Abington, v.36, p.247-264, 1995.

MARCATO, S.M. **Características do crescimento corporal, dos órgãos e tecidos de duas linhagens comerciais de frangos de corte**. 2007. 207 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

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

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

OVIEDO-RONDÓN, E.O.; MURAKAMI, A.E.; SAKAGUTI, E.S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.4, p.199-207, 2002.

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

OWENS, F.N.; PETTIGREW, J.E. Subdividing amino acid requirements into portions for maintenance and growth. In: FRIEDMAN, M. **Absorption and utilization of amino acids**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.1, p.15-30.

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

SAKOMURA, N.K.; LONGO, F.A.; OVIEDO-RÓNDON, E.O.; BOA-VIAGEM, C.; FERRAUDO, A. Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens. **Poultry Science**, Savoy, v.84, p.1363-1369, 2005.

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

ZOONS, J.; BUYSE, J.; DECUYPERE, E. Mathematical models in broiler raising. **World's Poultry Science Journal**. v. 47, p243–255. 1991.

CAPÍTULO 5 – IMPLICAÇÕES

A lisina é um aminoácido essencial cujas exigências nutricionais estão intimamente relacionadas com o potencial de deposição de proteína corporal, sendo considerada o segundo aminoácido limitante para frangos de corte quando dietas “práticas” são utilizadas. Por estes e outros motivos, foi eleita o aminoácido referência para a aplicação do conceito de “proteína ideal”, que preconiza o estabelecimento das concentrações dos aminoácidos nas dietas com base em relações fixas com a lisina. Desse modo, alterações na concentração de lisina das dietas resultarão em modificações nas exigências de todos os outros aminoácidos essenciais, o que salienta a importância da obtenção de estimativas acuradas e precisas das exigências de lisina para frangos de corte.

As respostas de frangos de corte aos níveis de lisina das dietas vêm sendo estudadas há décadas, e embora exista considerável número de publicações acerca deste tema, as recomendações dos diferentes estudos são amplamente contrastantes. Este cenário é resultante da diversidade de fatores que influenciam a determinação das exigências de lisina, destacando-se aqueles de caráter metodológico.

O método tradicionalmente utilizado para determinar as exigências de lisina digestível de frangos de corte é o dose resposta, e sabe-se que a aplicabilidade deste método restringe-se às condições semelhantes àquelas em que os estudos foram realizados. Neste contexto, é crescente o interesse pelo método fatorial, por possibilitar a elaboração de modelos matemáticos que permitem prever as necessidades nutricionais de aves de diferentes potenciais genéticos, criadas sob diferentes condições.

Entretanto, a implementação do método fatorial é dependente dos coeficientes que definem as exigências de lisina para manutenção e crescimento, sendo estas informações escassas na literatura. Diante disso, o presente trabalho investigou

aspectos metodológicos envolvidos na determinação das exigências de lisina para a manutenção e crescimento, resultando na elaboração de modelos de predição das exigências de lisina digestível para frangos de corte.

Os coeficientes de manutenção foram determinados em ensaios de metabolismo, comparando-se as respostas de aves de diferentes genótipos e composições corporais, constituindo estudo pioneiro neste aspecto. Com base neste estudo evidenciou-se que as conclusões, no que se refere às diferenças entre genótipos, podem não ser as mesmas, dependendo da unidade utilizada para expressar as exigências de lisina para manutenção. Assim, surge uma diretriz para a realização de novos estudos que busquem investigar a influência do peso e composição corporal das aves sobre os coeficientes que expressam as exigências de lisina para manutenção.

Os experimentos com aves em crescimento sugeriram que técnica da diluição das dietas favoreceu o potencial produtivo das aves, contrastando com os resultados de outros autores, que atribuíram equivalência entre diluição e suplementação. Tendo em vista que dietas experimentais resultantes da técnica da diluição normalmente demandam baixa inclusão de aminoácidos cristalinos, e considerando que o custo destes aminoácidos muitas vezes inviabiliza a realização de estudos sobre nutrição protéica, sugere-se a utilização da técnica da diluição para avaliar as exigências de lisina para frangos de corte, o que resulta em dietas experimentais economicamente mais viáveis.

Por fim, destaca-se que os modelos de predição das exigências constituem a base para o desenvolvimento de softwares capazes de simular consequências decorrentes de modificações nos programas nutricionais das aves. Com base nisso, estes modelos poderão contribuir para: o desenvolvimento do aprendizado, podendo ser considerados ferramentas didáticas para o ensino da nutrição, uma vez que facilitam a percepção dos fatores que influenciam os fenômenos biológicos envolvidos no processo de modelagem; o planejamento e delineamento estatístico de experimentos envolvendo nutrição de frangos de corte, uma vez que permitem prever as exigências de aves de diferentes idades e genótipos; o aperfeiçoamento dos

programas nutricionais utilizados na avicultura de corte, sendo importantes ferramentas auxiliares em decisões práticas.