

## EXIGÊNCIA DE LISINA, PLANOS NUTRICIONAIS E MODELOS MATEMÁTICOS NA DETERMINAÇÃO DE EXIGÊNCIAS DE FRANGOS DE CORTE

[Requirements of lysine, nutritional plans and mathematical models for determination of the requirements of broilers]

Charles Bernardo Buteri<sup>1</sup>, Fernando de Castro Tavernari<sup>2</sup>, Horacio Santiago Rostagno<sup>3,\*</sup>, Luiz Fernando Teixeira Albino<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor da Escola Agrotécnica Federal de Salinas, EAFSALINAS, Salinas, MG, CEP 39560-000.

<sup>2</sup>Pós-graduação em Zootecnia – UFV, Viçosa, MG, CEP 36570-000.

<sup>3</sup>Departamento de Zootecnia – UFV, Viçosa, MG, CEP 36570-000.

**RESUMO** - Dentre os diversos nutrientes que podem interferir no desempenho e na qualidade da carcaça, a lisina parece exercer os efeitos mais pronunciados, pois a suplementação adicional desta melhora o ganho de peso, a conversão alimentar e reduz a gordura abdominal. Tratando-se especificamente de aminoácidos, a deficiência na fase inicial impede a máxima deposição protéica enquanto o excesso no final da fase, além de representar desperdício, gera gasto calórico adicional relativo à excreção destes na forma de ácido úrico. A solução apresentada para este impasse nutricional tem sido a recomendação da adoção de um maior número de dietas durante o ciclo de vida das aves, conhecido como programa de alimentação múltiplo, onde as diferenças entre o exigido e o fornecido são menores. Na formulação das dietas para os programas de alimentação múltiplos, os pesquisadores têm adotado modelos matemáticos desenvolvidos a partir das exigências estabelecidas via experimentos de desempenho ou da curva de crescimento e deposição de proteína das aves. Dentre os modelos matemáticos disponíveis, a equação de Gompertz, é a que melhor descreve o crescimento dos frangos, bem como dos diversos tecidos. O uso de modelos matemáticos para descrever o crescimento das aves permite informação adequada do peso *versus* idade e minimiza qualquer efeito aleatório causado, por exemplo, pelo ambiente. Predizer a performance das aves submetidas a diferentes condições alimentares e de manejo ou mesmo de diferentes linhagens é uma informação que o uso da equação de Gompertz pode fornecer aos profissionais da área.

**Palavras-Chave:** Aminoácidos, equação de Gompertz, nutrição em fases.

**ABSTRACT** - Among the different nutrients that can interfere with performance and carcass quality, lysine appears to exert the most pronounced effect, since this additional supplementation improves weight gain, feed conversion and reduces abdominal fat. Specifically about amino acids, the deficiency in the initial phase prevents the maximum proteic deposition while the excess at the end of the phase, beyond it represents waste, it spends additional energy with excretion in the form of uric acid. The solution proposed for this nutritional impasse has been the recommendation of the adoption of a larger number of diets during the life of birds, known as phase-feeding program, where the differences between required and supplied are lower. In formulating the diets for the phase-feeding, researchers have used mathematical models developed from the requirements set by performance experiments or growth curve and deposition of protein in birds. Among the models available, the Gompertz equation is that best describes the growth of chickens and various tissues. The use of mathematical models to describe the growth of birds allows adequate information of weight *versus* age and minimizes any random effect caused, for example, by the environment. Predict the performance of birds under different feeding conditions and management or even of different strains is information that the use of the Gompertz equation can provide the professionals of the area.

**Keywords:** Amino acids, Gompertz equations, phase feeding.

\* Autor para correspondência. E-mail: rostagno@ufv.br.

## INTRODUÇÃO

A evolução genética que vem ocorrendo nos frangos de corte traz como consequência, além da melhora dos parâmetros zootécnicos, uma necessidade constante de ajustes nas exigências nutricionais a fim de permitir a completa expressão do potencial genético da ave. Associada à evolução genética, tem-se observado tendência de redução no consumo de frangos inteiros em detrimento ao maior consumo de cortes e de produtos pós-processados, que se deve à melhora da qualidade de vida dos consumidores e praticidade destes (Cotta, 1997). Buscando atender esta demanda, a qualidade da carcaça passou a ser mais pesquisada, tendo como principais objetivos, a redução da quantidade de gordura e o aumento do rendimento de carne magra (Leeson, 1995). Neste sentido tem crescido o interesse pelos efeitos da nutrição sobre a carcaça. Dentre os diversos nutrientes que podem interferir no desempenho e na qualidade da carcaça, a lisina parece exercer os efeitos mais pronunciados, pois a suplementação adicional desta tem melhorado o ganho de peso, a conversão alimentar e reduzido a gordura abdominal.

As exigências nutricionais dos frangos de corte têm sido tradicionalmente estabelecidas via experimentos, nos quais há a adição de um nutriente limitante na dieta mantendo os demais em níveis adequados. O nível do nutriente estudado que maximiza o ganho de peso e/ou a eficiência alimentar é considerado a exigência para a fase estudada. Estes níveis estabelecidos representam o valor médio da exigência para a fase avaliada, isto significa que, no princípio da fase, as aves recebem dieta com nível sub-ótimo do nutriente e, no final, recebem-no em excesso. Tratando-se especificamente de aminoácidos, a deficiência na fase inicial impede a máxima deposição protéica enquanto o excesso no final da fase, além de representar desperdício, gera gasto calórico adicional relativo à excreção destes na forma de ácido úrico. A solução apresentada para este impasse nutricional tem sido a recomendação da adoção de um maior número de dietas durante o ciclo de vida das aves, conhecido como programa de alimentação múltiplo ("phase-feeding"), onde as diferenças entre o exigido e o fornecido tornar-se-iam menores. Este procedimento permite maior deposição protéica, menor gasto com aminoácidos durante as diversas fases e contribui para reduzir a excreção de nitrogênio, considerado importante poluente nos dias atuais. Pesquisas neste sentido, utilizando programa de alimentação múltiplo, com troca da dieta a cada dois ou sete dias, foram testadas para frangos de corte em diferentes períodos. Os diversos autores concluem que estes programas não prejudicam o

desempenho nem a qualidade de carcaça das aves, mas permitem redução significativa do custo com a alimentação (Warren & Emmert, 2000; Pope & Emmert, 2001; Pope et al., 2001).

Na formulação das dietas para os programas de alimentação múltiplos, os pesquisadores têm adotado modelos matemáticos desenvolvidos a partir das exigências estabelecidas via experimentos (Emmert & Baker, 1997; Rostagno et al., 2005) ou da curva de crescimento e deposição de proteína das aves (Ivey, 1999). Dentre os modelos matemáticos disponíveis a equação de Gompertz é a que melhor descreve o crescimento dos frangos, bem como dos diversos tecidos (Freitas et al., 1983; Hancock et al., 1995; Ivey, 1999; Gous et al., 1999; Fialho, 1999; Mignon-Grasteau et al., 1999; Brito, 2007; Tavernari, 2009).

O uso de modelos matemáticos para descrever o crescimento das aves permite informação adequada do peso versus idade e minimiza qualquer efeito aleatório causado, por exemplo, pelo ambiente (Knížetová et al., 1991). De acordo com Hancock et al. (1995), prever o desempenho das aves submetidas a diferentes condições alimentares e de manejo ou mesmo de diferentes linhagens é um problema para a criação avícola que o uso da equação de Gompertz pode auxiliar a solucionar. Desta forma serão abordados nesta revisão aspectos ligados a exigência de lisina, a planos nutricionais e a modelos matemáticos usados na determinação de exigências nutricionais para frangos de corte.

## EXIGÊNCIA DE LISINA PARA FRANGOS DE CORTE

A determinação da real exigência de lisina é fator de grande importância para a moderna avicultura, pois permite a aplicação do conceito de proteína ideal à formulação de dietas para frangos de corte. A exigência de lisina pode ser influenciada por diversos fatores, dentre os quais se destaca a composição do ganho corporal que é responsável pela diferença entre as exigências de machos e de fêmeas e entre aves de diferentes linhagens. A exigência de lisina de frangos de corte machos é maior que a das fêmeas para ganho de peso e conversão alimentar. Não há diferença na exigência de lisina entre aves mais leves ou pesadas de uma mesma linhagem em relação ao ganho de peso ou de diferentes genéticas, desde que a composição do ganho seja igual em proteína e gordura. Dietas contendo níveis de lisina maiores que o exigido para o máximo ganho de peso resultam em melhor conversão alimentar (Leclercq, 1998).

Outro fator muito importante é o uso de níveis adequados de aminoácidos nas dietas empregadas para a determinação das exigências de lisina. Caso isso não seja observado, a utilização de lisina pelas aves será comprometida pelo aminoácido limitante. Esse efeito foi demonstrado por Conhalato (1998) onde em um de seus experimentos estabeleceu a exigência de lisina digestível para frangos de corte machos, no período de 1 a 21 dias em 1,05% para ganho de peso e 1,03% para conversão alimentar utilizando formulação convencional da dieta. Num outro experimento, o autor verificou exigência de 1,20% para os mesmos parâmetros quando trabalhou com dietas formuladas dentro do conceito de proteína ideal, demonstrando assim que no primeiro experimento havia algum aminoácido que limitava a utilização da lisina, afetando a determinação da exigência.

Han & Baker (1993; 1994) estabeleceram as exigências de lisina digestível de frangos de corte para ganho de peso e conversão alimentar, respectivamente em 1,02 e 1,12% para machos e 0,92 e 1,02% para fêmeas, no período de 8 a 22 dias. Na fase de 22 a 42 dias, a exigência de lisina digestível para os mesmos parâmetros foi de 0,85 e 0,89% para machos e 0,77 e 0,85% para fêmeas. Os autores esclarecem que após atingir o nível máximo do consumo de ração, incrementos adicionais de lisina provocam gradual redução no consumo, mas mantêm o ganho de peso relativamente constante. Logo a exigência para conversão alimentar ocorre em um nível de lisina superior ao estabelecido para ganho de peso. Esse efeito justifica também o aumento da proteína corporal e a redução da gordura abdominal observados com o aumento dos níveis de lisina na dieta (Velu et al., 1972 citados por Baker, 1991).

Assim, com base em diversos trabalhos são feitas tabelas com médias de exigências de lisina, como as Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2005), que servem de referência para adequada formulação das dietas. Na Tabela 1 é apresentada as exigências de lisina para frangos de corte de acordo com a idade segundo Rostagno et al. (2005).

Com o objetivo de estimar as exigências de lisina digestível para fases mais curtas do desenvolvimento das aves, Emmert & Baker (1997), utilizaram as exigências das fases convencionalmente estudadas (1-21 dias; 22-42 dias e 43-56 dias) e ajustaram a equação  $Y = 1,151 - 0,008X$ , onde Y é a exigência de lisina digestível (%) e X a idade das aves em dias, permitindo estimar as exigências de lisina para programas de alimentação múltiplos que contribuiriam para a redução da excreção de

nitrogênio e aumentariam a eficiência do uso dos nutrientes o que por consequência reduziria os custos com a alimentação.

De forma semelhante Rostagno et al. (2005) estimaram a equação:

$$\text{Lis. Dig (g/dia)} = 0,1 \times P^{0,75} + (\text{g Lis. Dig. / Kg Ganho}) \times G$$

onde,

P = Peso corporal médio em Kg; g Lis. Dig. / Kg ganho = 14,28 + 2,0439 (peso médio); e G = ganho / dia em kg.

### PROTEÍNA IDEAL EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

Até recentemente as dietas de frangos ajustadas para o máximo desempenho com base na proteína bruta continham excesso de aminoácidos, que poderiam estar prejudicando o desempenho das aves devido ao desbalanço e ao gasto adicional de energia para a excreção deste excesso na forma de ácido úrico (cerca de 335 cal/mol de ácido úrico sintetizado segundo Buttery & Boorman (1976), citados por Nieto et al. (1995).

Os esqueletos de carbono resultantes da desaminação do excesso de aminoácidos podem afetar a composição da carcaça do frango, uma vez que são utilizados como fonte de energia ou armazenados na forma de gordura (Scheuermann et al., 1995).

Sabe-se que as exigências de um determinado aminoácido estão diretamente relacionadas às exigências dos outros, pois o aumento nos níveis de um determinado aminoácido na dieta melhorará o desempenho das aves até que outro se torne o primeiro limitante. Surge então o conceito de proteína ideal, que é definida como um perfeito balanceamento de aminoácidos essenciais e não essenciais, sem falta nem excesso que vai maximizar o desempenho das aves, com a mínima excreção de nitrogênio. Nesse conceito, as exigências dos diferentes aminoácidos essenciais são expressas como porcentagem da exigência de lisina. O aminoácido lisina foi escolhido como padrão uma vez que é utilizado basicamente para a síntese protéica. Existe considerável número de trabalhos sobre a digestibilidade de lisina em diversos alimentos, sendo que a análise laboratorial para este aminoácido é relativamente simples (Baker & Han, 1994).

Tabela 1. Exigências de lisina digestível para frangos de corte

Desempenho	Idade, dias				
	1-7	8-21	22-33	34-42	43-46
<b>Machos</b>					
Regular	1,302	1,113	1,049	0,992	0,929
Médio	1,330	1,146	1,073	1,017	0,970
Superior	1,363	1,189	1,099	1,048	1,015
<b>Fêmeas</b>					
Regular	1,299	1,076	0,969	0,886	0,818
Médio	1,316	1,126	0,997	0,904	0,857
Superior	1,330	1,151	1,020	0,939	0,902

As relações entre os aminoácidos segundo Rostagno, et al. (2005) são apresentadas na Tabela 2.

#### **INFLUÊNCIA DOS NÍVEIS DE LISINA SOBRE A COMPOSIÇÃO DA CARÇA DE FRANGOS DE CORTE**

De acordo com Kessler (1999) a grande capacidade de consumo das atuais linhagens de frangos de corte

associado ao inadequado balanceamento dietético são os principais responsáveis pela maior deposição de gordura observada na carcaça das aves.

Scheuermann et al. (1995) e Wiseman & Lewis (1998) afirmam que alto teor de gordura nas carcaças é motivo de queda no rendimento industrial (perda de parte desse tecido durante as várias etapas do processamento) e no valor comercial dos cortes.

Tabela 2. Relação aminoácido/lisina utilizada para estimar as exigências de frangos de corte

Aminoácido	Idade, dias					
	1-21		22-42		43-56	
	Dig.	Total	Dig.	Total	Dig.	Total
Lisina, %	100	100	100	100	100	100
Metionina, %	39	39	40	40	40	40
Met + Cis, %	71	71	72	72	72	72
Triptofano, %	16	16	17	17	17	17
Treonina, %	65	68	65	68	65	68
Arginina, %	105	102	105	102	105	102
Gli + Ser, %	-	150	-	140	-	135
Valina, %	75	76	77	78	77	78
Isoleucina, %	65	66	67	68	67	68
Leucina, %	108	108	109	109	109	109
Histidina, %	36	36	36	36	36	36
Fenilalanina, %	63	63	63	63	63	63
Fen + Tir, %	115	114	115	114	115	114

Mcleod (1982) acrescenta que a presença de resíduos de gordura junto à água utilizada durante todo o processo industrial dificulta o adequado tratamento dos efluentes.

O desempenho associado à qualidade da carcaça tem se tornado o grande objetivo das pesquisas realizadas nas áreas de nutrição e melhoramento genético. Devido ao grande valor atribuído à carne de peito em comparação com outras, cresce o interesse no aumento do rendimento da mesma através da nutrição, especialmente com o uso de lisina suplementar, pois vários trabalhos têm demonstrado que maiores níveis de lisina aumentam o rendimento de peito e reduzem o de gordura abdominal (Leclercq, 1998). Já a deficiência de lisina afeta o crescimento das aves reduzindo principalmente, a deposição de proteína nos músculos do peito (fibras tipo IIb – glicolíticas) entretanto afeta também os músculos das asas e pernas (Nascimento, 2003).

De acordo com Nieto et al. (1995) o aumento no ganho de peso observado nas aves com a suplementação adicional de lisina não se dá por alteração na taxa de síntese protéica dos músculos, mas pela redução do catabolismo das proteínas.

Muitos fatores influenciam a qualidade da carcaça dos frangos (deposição de gordura e proteína) entre eles destacam-se: idade de abate, sexo, linhagem, ambiente térmico, programas de alimentação, energia disponível, proteína bruta, fibra, sal, relação energia:proteína, qualidade da proteína fornecida e níveis de lisina nas dietas (Leenstra, 1986; Nieto et al., 1995; Moran Jr., 1999). Outros fatores tais como: o sistema de alojamento (piso ou gaiola) e programa de luz afetam a deposição de gordura abdominal, porém em menor escala (Leenstra, 1986).

A energia dietética tem maior efeito sobre a deposição de gordura, quando são baixos os níveis de lisina na dieta. O aumento dos níveis deste aminoácido reduz a quantidade de gordura abdominal. Nascimento (2003) completa afirmando que a suplementação de lisina acima da exigência para o maior ganho de peso resulta no aumento da síntese protéica. Algumas razões de ordem biológica fazem com que a ave tenha maior capacidade de acúmulo de gordura, são elas: 1) As aves possuem pequena capacidade de armazenar carboidratos e proteína e um tecido adiposo que acumula grande quantidade de gordura (energia); 2) O excesso de carboidratos e/ou proteína são convertidos em gordura, porém não ocorre o inverso; 3) O mecanismo genético que determina a síntese de proteína é muito mais complexo que o da síntese de

gordura; e 4) A seleção para o maior ganho de peso aumentou a capacidade de consumo das aves e o excesso de nutrientes ingeridos, além das exigências de manutenção e deposição de proteína, são utilizados na síntese de gordura (Carden et al., 1978; Lin, 1981).

Quando à concentração dietética de proteína e/ou aminoácidos decrescem, o conteúdo de gordura da carcaça aumenta (Gous & Morris, 1985). Já com o uso de dietas com alta concentração de proteína (aminoácidos), faz com que os frangos de corte apresentem uma melhor conversão alimentar e menor proporção de gordura corporal (Gous et al., 2002). Mcleod (1982) explica que a redução dos níveis de gordura na carcaça é devido ao grande gasto energético requerido para eliminar o excesso de nitrogênio do corpo pela síntese de ácido úrico (entre 6 e 18 ATP's por aminoácido de acordo com Macleod (1997), citado por Sklan & Plavnik, 2002). Sklan & Plavnik (2002) acrescentam, no entanto, que o excesso de aminoácidos nas dietas de frangos de corte deve ser evitado, pois reduz a eficiência de utilização e aumenta a exigência dos aminoácidos essenciais. Especificamente sobre a lisina, Brokes et al., (1972), citados por Baker (1991), observaram que a taxa de oxidação da lisina é baixa até que a exigência seja atingida. Níveis adicionais provocam aumento acentuado na taxa de degradação desse aminoácido.

Trabalhos publicados por Ajinomoto (2009) alertam que diferenças entre linhagens podem levar a respostas diferentes em relação aos incrementos de determinados nutrientes, como por exemplo, a lisina.

Segundo Sibbald & Wolynetz (1986) os frangos necessitam de maiores níveis de lisina para incrementar a composição protéica do que para maximizar o ganho de peso. O uso de dieta deficiente em lisina faz com que a ave aumente a ingestão de ração, a fim de atingir a sua exigência do aminoácido limitante e manter o seu crescimento, esse comportamento piora a conversão alimentar e o maior consumo de energia aumenta a deposição de gordura na carcaça (Hurwitz et al., 1998). Esse efeito é comprovado por experimento conduzido por Gous & Morris (1985), onde frangos de corte no período de 7 a 21 dias alimentados com dieta contendo 1,01% de lisina consumiram 10% mais ração do que as aves que receberam dieta contendo 1,34%. Os autores acrescentam que não houve diferença no ganho de peso, mas sim na composição do ganho onde a dieta de menor nível de lisina proporcionou maior acúmulo de gordura na carcaça. Trabalho desenvolvido por Yeh & Leveille (1969) e citado por Rosebrough & Steele (1985), mostra que

a adição de lisina em dietas de baixa proteína melhorou a taxa de crescimento das aves sem, no entanto, reduzir a lipogênese hepática *in vitro*.

Kubena et al. (1972) avaliaram a composição das carcaças de frangos de corte alimentados com dietas formuladas para conter 60, 100 e 130% da exigência de lisina, em 2 ambientes térmicos distintos (7,2 e 32,2 °C), no período de 8 a 35 dias. Observaram que em ambas as temperaturas as aves alimentadas com as dietas deficientes em lisina apresentaram significativamente maiores níveis de gordura que aquelas em que o nível de lisina estava acima ou dentro do recomendado, as últimas não diferiram entre si. A elevação do nível de lisina não teve efeito sobre o teor de proteína na carcaça a 32,2 °C, mas reduziu a 7,2 °C. A redução do nível de lisina foi acompanhada pela redução dos teores de proteína nos dois ambientes térmicos testados.

Holsheimer (1980), trabalhando com 4 níveis de lisina (1,20; 1,00; 0,85 e 0,75%) em dietas para frangos de corte machos no período de 4 a 8 semanas, observou que a redução dos níveis de lisina reduziu a porcentagem de proteína e aumentou a de gordura na carcaça.

A suplementação de L-lisina e DL-metionina em dietas de baixo nível protéico (16%) reduziu a deposição de gordura na carcaça de frangos de corte no período de 28 a 49 dias (UZU, 1982). Gous & Morris (1985) observaram que quando a concentração de lisina da dieta de pintos de corte machos, no período de 7 a 21 dias, aumentou de 0,66 para 1,65%, o teor de gordura da carcaça declinou de aproximadamente 17 para 6,6%, enquanto o ganho de peso declinou apenas em 6,0%.

Sinurat & Balnave (1985), citados por Ajinomoto (2009), concluíram que o conteúdo de gordura abdominal reduz com o aumento dos níveis de lisina na dieta para frangos de corte no período de 22 a 45 dias. Cabe ressaltar que existem divergências quanto a correlação entre a gordura abdominal e o teor de gordura da carcaça, alguns pesquisadores como Sonaiya (1985) observaram uma alta correlação, enquanto Summers et al. (1992) afirmam que a gordura abdominal não é um bom indicador da deposição de gordura na carcaça.

O aumento dos níveis de lisina em 0,28% para frangos de corte nas fases inicial (1-4 semanas) e crescimento (4-7 semanas) não exerceram efeito sobre porcentagem de gordura na carcaça, com base na matéria seca, em relação à dieta controle

(Summers & Leeson, 1985).

Sibbald & Wolynetz (1986) verificaram que frangos de corte machos no período de 10 a 18 dias, recebendo dietas com 5 níveis de lisina (0,77; 0,85; 0,93; 1,01; e 1,09%), apresentaram uma exigência de lisina para ganho de peso igual a 0,96%, mas os aumentos subsequentes do nível de lisina apesar de não alterar o ganho, permitem alteração na qualidade do ganho (maior teor de proteína e menor teor de gordura na carcaça).

A composição da carcaça de frangos de corte nos períodos de 0 a 3 e de 3 a 6 semanas, alimentados com dietas que variavam nos níveis metionina e lisina (80; 100 e 120%) foi avaliada por Summers et al. (1992). Na fase inicial, as aves que receberam o nível de 80% apresentaram menor porcentagem de proteína e maior de gordura na carcaça em relação aos níveis 100 e 120%, que não diferiram entre si. Na segunda fase de criação, o maior e o menor nível dos aminoácidos não diferiram entre si e apresentaram os menores teores de proteína e maiores de gordura na carcaça em relação ao nível 100%. Estudando os efeitos de diversos níveis de lisina (0,65 a 1,13%) sobre as taxas de síntese e de degradação protéica no músculo do peito, Tesseraud et al. (1992), concluíram que a maior deposição de proteína observada em pintos de corte machos no período de 1 a 3 semanas alimentados com dieta de maior suplementação de lisina, é resultado da redução do turnover protéico.

Holsheimer & Ruesink (1993), usando machos da linhagem Ross nos períodos de 1 a 14 e 15 a 49 dias, submetidos a dietas que variavam no seu conteúdo de lisina, observaram que a maior deposição de proteína e a menor de gordura na carcaça foi obtida com os maiores níveis de lisina na fase de 1 a 14 dias. No período de 15 a 49 dias, o aumento dos níveis de lisina (1,10; 1,20 e 1,30%) não teve efeito sobre a deposição de gordura, porém a maior deposição de proteína foi observada nas dietas contendo 1,20 e 1,30%, que não diferiram entre si.

Scheuermann et al. (1995) observaram que os níveis de proteína corporal das aves aumentaram com o aumento dos níveis de lisina na dieta (0,9 a 1,4%), enquanto os níveis de gordura reduziram para frangos de corte machos e fêmeas nas fases inicial e crescimento. Entretanto, Tesseraud et al. (1996) verificaram que dietas deficientes em lisina reduzem a deposição de proteína nos músculos da asa, da perna e principalmente, do peito em pintos de corte de 2 a 4 semanas. Já Hurwitz et al. (1998),

observaram que pintos de corte machos, no período de 7 a 28 dias, reduziram ligeiramente a porcentagem de gordura da carcaça com o aumento dos níveis de lisina (0,69 a 1,37%) na dieta.

Estudos com frangos de corte alimentados com dietas formuladas no conceito de proteína ideal e de forma convencional, variando os níveis de lisina digestível (0,93 a 1,20%) foram realizados por Conhalato (1998). Observou-se que o aumento dos níveis de lisina não produziu diferença na composição da carcaça das aves (proteína e gordura) quando foram usadas dietas formuladas no conceito de proteína ideal, porém nas dietas formuladas de forma convencional, ocorreu aumento linear da gordura total da carcaça com o aumento dos níveis de lisina. No período de 22 a 42 dias, as dietas foram formuladas de forma convencional e variaram de 0,80 a 1,02% de lisina digestível. Os níveis de lisina não produziram diferenças na composição química das carcaças. Entretanto, Edwards et al. (1999) e Eits et al (2002) observaram que com a elevação dos níveis de lisina na dieta, aumentava linearmente a deposição de proteína na carcaça, de frangos de corte.

Trabalho com frangos de corte machos submetidos a 7 níveis de lisina total, apresentado em Ajinomoto (2009) mostra que o conteúdo protéico da carcaça das aves, durante a fase inicial, aumentou com o aumento do nível de lisina, mantendo-se num platô com o nível de 1,42% e a partir desse nível o conteúdo de gordura da carcaça (%) reduziu com o aumento dos níveis de lisina. Na fase de crescimento, o conteúdo protéico da carcaça (%) aumentou com os incrementos de lisina, enquanto o de gordura decresceu.

Tavernari et al. (2009) concluíram que a redução ou o aumento dos níveis de lisina digestível em 7,5% não são suficientes para resultar em alterações consistentes na composição corporal e deposição de proteína e gordura no período de 1 a 56 dias de aves machos ou fêmeas da linhagem Avian Farms.

#### **PROGRAMAS DE ALIMENTAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE**

Na avicultura, os gastos com alimentação representam 70% do custo total de produção. O preço da dieta é função dos preços de seus ingredientes e do nível de inclusão destes para atender às exigências das aves. Em geral, os frangos recebem diferentes dietas de acordo com a idade. Um conjunto de dietas fornecido a um lote de frangos é conhecido como programa de alimentação.

Dependendo das características nutricionais de cada uma das dietas que compõem o programa, os frangos desenvolvem-se de modo diferenciado. Essas diferenças fazem com que, em função do preço da carne do frango, um programa alimentar específico se sobressaia como o mais eficiente em termos econômicos (Buteri, 2003).

No Brasil, são utilizados principalmente os programas de 3 dietas (inicial, crescimento e terminação), de 4 dietas com a inclusão de uma dieta pré-inicial e ainda o programa de 5 dietas com uma pré-inicial e duas de crescimento. Entretanto, no passado, programas de 1 e 2 dietas também foram adotados. Atualmente, já estão sendo avaliados os programas de alimentação múltiplos ("phase-feeding"), nos quais um grande número de dietas é fornecido às aves durante sua criação (Buteri, 2003).

As exigências nutricionais dos frangos têm sido tradicionalmente estabelecidas via experimentos, nos quais há a adição de um nutriente limitante na dieta mantendo os demais em níveis adequados. O nível do nutriente que maximiza o ganho de peso e/ou a eficiência alimentar é considerado a exigência para a fase estudada (Buteri, 2003).

Estes níveis estabelecidos representam valor médio da exigência para a fase avaliada, isto significa que no princípio da fase as aves recebem dieta com nível sub-ótimo do nutriente e no final o recebem em excesso. A divisão do período de criação em um número maior de fases, ou seja, o uso de maior número de dietas, ajusta melhor o exigido com o fornecido.

Uma das alternativas para reduzir o desperdício de aminoácidos adicionados às dietas é o uso de programas de alimentação múltiplos. Kleyn (2009) acrescenta que o uso desses programas melhoram significativamente o desempenho das aves por melhorar a eficiência de utilização dos aminoácidos em relação aos convencionais de 3 dietas.

Diversos autores como Bertechini (1987; 1998), Loupe & Emmert (2000), Pope & Emmert (2001) e Pope et al. (2002) constataram que o aumento do número de dietas (fases) não influenciou o desempenho e o rendimento de carcaça de frangos de corte, entretanto, o procedimento reduziu o custo de produção.

A avaliação de 4 programas de alimentação sobre o desempenho e a composição de carcaça de frangos de corte machos e fêmeas, no período de 1 a 56 dias foi feito por Bertechini (1987). Os programas foram: 1) Dieta única (1-56 dias); 2) Duas dietas (1-28 e 29-56 dias); 3) Três dietas (1-28; 29-42 e 43-56 dias); e

4) Quatro dietas (1-14; 15-28; 29-42 e 43-56 dias). Ao final do experimento, o autor concluiu que os programas de alimentação não afetaram significativamente o ganho de peso, o consumo de ração, a conversão alimentar, o rendimento de carcaça e os teores de proteína e gordura corporal. Também Shiroma et al. (1996), concluíram que frangos de corte alimentados com os programas de 3, 4 e 5 dietas não apresentam diferenças no ganho de peso e conversão alimentar, mas os programas de 4 e 5 dietas reduziram o custo/kg de peso vivo em 2,7% em relação ao programa de 3 fases.

Emmert & Warren (2000), citados por Kleyn (2009), compararam o desempenho de frangos de corte no período de 1 a 21 dias submetidos a dietas formuladas de acordo com as recomendações do NRC (1994) e por um programa de alimentação múltiplo (1 dieta/semana). Não houve diferença de desempenho entre os programas, mas o uso do programa múltiplo proporcionou redução no uso de lisina e, conseqüentemente, no custo de produção das aves. Estudo realizado por Lana et al. (2001) não mostrou diferenças significativas no consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar e rendimento de carcaça, peito, coxas e sobrecoxas, em frangos de corte no período de 1 a 42 dias, submetidos a dois programas de alimentação (4 e 5 dietas). No entanto, detectaram tendência matemática de maior rendimento de carcaça, peito, coxa e sobrecoxa para o grupo de aves que recebeu o programa de alimentação com 5 dietas.

Comparando dois programas de alimentação, o recomendado pelo NRC (1994; 1-21 dias, 22-42 dias e 43-49 dias) e o comumente empregado pela indústria norte-americana (1-16 dias; 17-35 dias e 36 a 49 dias Cobb Café et al. (2002) verificaram que o programa alimentar exerceu influência sobre o peso médio aos 21 e aos 42 dias de idade; sobre o rendimento de carcaça e de peito aos 42 e 49 dias. Em ambos os casos o programa do NRC (1994) proporcionou os melhores resultados. Porém, para garantir maior rentabilidade tem sido recomendado a utilização de programas diários de arraçamento, o que ao nível da indústria avícola, ainda é inviável, mas no futuro novas tecnologias poderão ser criadas e os programas de alimentação múltiplos ("phase-feeding") se tornariam realidade.

O programa de alimentação múltiplo, Segundo Pope et al. (2002), foi desenvolvido por Emmert e Baker (1997) para atender às necessidades de definição das exigências nutricionais das aves aplicadas aos vários programas de alimentação. O uso programa de alimentação múltiplo tem como vantagens, eliminar o excesso de aminoácidos das dietas, e assim

reduzir, os custos de alimentação e a excreção de nitrogênio.

Pesquisas nesse sentido, utilizando programa de arraçamento múltiplo, com troca da dieta a cada dois ou sete dias foram testados para frangos de corte em diferentes períodos. Os autores concluíram que estes programas não prejudicavam o desempenho nem a qualidade de carcaça das aves, mas permitia redução significativa do custo com a alimentação (Warren & Emmert, 2000; Pope & Emmert, 2001; Pope et al., 2001).

Loupe & Emmert (2000) avaliaram 3 programas de alimentação sobre o desempenho e a qualidade de carcaça de frangos de corte machos. Utilizaram-se o programa de 2 fases (inicial e crescimento) de acordo com as recomendações do NRC (1994), um programa de alimentação múltiplo semanal ("phase-feeding") baseado em equações desenvolvidas por Emmert & Baker (1997) e um programa misto onde até o 21º dia as aves receberam a dieta para a fase inicial do programa NRC e a partir desta entraram no programa de alimentação múltiplo semanal. Ao final do experimento, as aves submetidas ao arraçamento múltiplo apresentaram maior ganho de peso e consumo de ração, não houve diferença no rendimento de carcaça e gordura abdominal. Os autores concluem que o programa de alimentação múltiplo permite adequado crescimento das aves e resulta em substancial economia na produção avícola e ainda alertam sobre a dificuldade de adoção do programa de alimentação múltiplo, pois aumentariam o custo de preparação das dietas associado aos maiores custos de estocagem e transporte para as granjas. Também Warren & Emmert (2000) compararam o desempenho de frangos de corte submetidos a um programa de alimentação múltiplo semanal, desenvolvido a partir de equações de regressão (Emmert & Baker, 1997) e dois outros programas, um baseado nas recomendações do NRC (1994) e o outro na da Universidade de Illinois (IICP - Illinois ideal chick protein). Na fase inicial, não foi observada diferenças significativas ( $P>0,05$ ) entre os programas para ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar. Na fase final, não foram observadas diferenças entre os tratamentos para ganho de peso e conversão alimentar, mas as aves que receberam o programa IICP apresentaram a pior conversão alimentar. O uso do programa de alimentação múltiplo propiciou menor custo de produção. Resultados semelhantes foram observados por Pope et al. (2001), onde avaliaram os efeitos de programa de alimentação múltiplo (7 dietas) com dieta única segundo recomendação do NRC (1994). Ao final do período experimental, não foram observadas diferenças entre os programas ( $P>0,05$ )



para ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar. Entretanto, os autores consideram que o uso de programa de alimentação múltiplo pode representar importante redução nos custos com alimentação das aves.

Em outro trabalho Pope & Emmert (2001) avaliaram a eficiência de programas de alimentação múltipla semanal ("phase-feeding") em relação às recomendações do NRC (1994), para frangos de corte no período de 43 a 71 dias de idade. As equações de Emmert & Baker (1997) foram utilizadas para determinar os níveis de nutrientes empregados no programa de alimentação múltipla. Derivado deste, 2 outros tratamentos foram avaliados, onde os níveis estabelecidos foram reduzidos em 10% e outro onde o coeficiente da regressão foi aumentado em 15%. Aos 71 dias, não foram observadas diferenças ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos no ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar e rendimento de carcaça, peito e pernas. A análise econômica do experimento demonstrou que o programa de alimentação múltiplo semanal proporcionou redução do custo com a alimentação e, conseqüentemente por unidade de ganho e de carne de peito.

A eficiência de programas de alimentação múltipla (11 dietas) em relação com às recomendações do NRC (1994), para frangos de corte foi avaliada por Pope et al. (2002). As equações lineares desenvolvidas por Emmert & Baker (1997) foram utilizadas para determinar os níveis de nutrientes empregados no programa de alimentação múltipla e a partir deste tratamento, foram estabelecidos outros 2, onde os níveis nutricionais do programa de alimentação múltipla foram reduzidos em 10% e outro onde o coeficiente da regressão foi aumentado em 15%. Aos 63 dias, não foram observadas diferenças ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos para ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar. A análise econômica do experimento não demonstrou diferença significativas entre os programas de alimentação múltipla e o NRC.

Pope & Emmert (2002) realizaram 3 experimentos com o objetivo de comparar os efeitos do programa de alimentação múltiplo (uma dieta a cada 2 dias) com o programa recomendado pelo NRC (1994), sobre o desempenho de frangos de corte nas fases de crescimento (23 a 42 dias) e final (42 a 56 ou 63 dias). No período de 23 a 42 dias, não foi observado diferenças entre os programas de alimentação para ganho de peso e consumo, o programa do NRC apresentou melhor conversão alimentar. Na fase final, não foram observadas diferenças no desempenho das aves. Os autores concluíram que o

programa de alimentação múltiplo proporcionou o mesmo desempenho (ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar) que o programa do NRC, porém com ligeira redução nos custos com a alimentação.

### MODELOS MATEMÁTICOS NA DETERMINAÇÃO DE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE FRANGOS DE CORTE

As empresas de melhoramento avícola têm trabalhado com diferentes critérios de seleção para as suas linhagens. Essas diferenças fazem com que as composições corporais das aves sejam diferentes, alterando as exigências nutricionais de cada uma delas (Han & Baker, 1993).

Há algum tempo, pesquisadores vêm buscando estabelecer as exigências de aminoácidos a partir de modelos matemáticos desenvolvidos com base na composição protéica dos tecidos. Gous et al. (1999) informam que a descrição do crescimento das aves é o primeiro passo para elaboração de modelos de simulação, capazes de prever as exigências nutricionais das aves e determinar os efeitos de diferentes programas nutricionais e de condições ambientais sobre a performance das aves.

Diversas são as equações matemáticas que têm sido usadas para a descrição do crescimento dos animais, dentre elas destacam-se: Robertson, Gompertz, Brody, Bertalanffy e Logística (Zoons et al., 1991). Dessas, a equação desenvolvida por Gompertz há quase 180 anos, descreve com grande eficiência o crescimento de frangos de corte como também o de outras espécies (Gous et al., 1999; Fialho, 1999; Mignon-Grasteau et al., 1999; Oviedo-Rondón & Murakami, 2002; Oviedo-Rondón & Waldroup, 2002).

Segundo Oviedo-Rondón & Waldroup (2002), os softwares de simulação de crescimento como o Fortell™ desenvolvido pelos pesquisadores da Universidade de Edinburgo (Escócia) e o EFG de Natal (África do Sul) utilizam a curva de Gompertz. Ela expressa o peso corporal em função da idade:

$$- B \cdot (t - C)$$

- e

$$M = A \cdot e$$

onde:

$M$  = peso corporal ou de tecido (g);

$t$  = idade (dias);

$A$  = peso corporal ou quantidade de tecido na idade adulta (g);

$B$  = taxa máxima de crescimento ou de deposição de tecido (g/dia por g);

$C$  = idade do máximo crescimento ou deposição (dias);

$e = 2,718282$  (base do logaritmo neperiano).

Essa mesma equação tem sido empregada também para descrever as alterações na composição da carcaça (deposição de proteína e de gordura) e no crescimento de tecidos como carne de peito e de penas (Hruby et al., 1995 e Gous et al., 1999). Martin et al. (1994), citados por Macleod (2000), utilizaram a equação de Gompertz para descrever a deposição de proteína na carcaça e nas penas. Além dessas variáveis, Wiseman & Lewis (1998) utilizaram a equação de Gompertz para descrever o consumo de ração de frangos de corte.

Segundo Fialho (1999), a curva de Gompertz tem propriedades desejáveis numa curva de crescimento, pois ao contrário de outras funções, a massa corporal inicial é sempre superior a zero, o que reflete o fato de que o animal já nasce com algum peso. O peso corporal tende a atingir valor máximo dado pelo parâmetro  $A$  da função, que teoricamente só seria alcançado após um tempo infinito, mas pode ser extrapolado a partir dos dados experimentais. As características da curva de Gompertz giram em torno do ponto de inflexão, em que a taxa de crescimento é máxima. A idade em que ocorre o ponto de inflexão é dada pelo parâmetro  $C$  da função. O outro parâmetro da função é  $B$  que indica a taxa de crescimento relativo no ponto em que o crescimento é máximo. O ganho diário de peso, em g/dia, é dado pela derivada da equação de Gompertz.

Hruby et al. (1996) utilizaram as funções: Gompertz, Logística e Polinomial de 4º grau para descrever as curvas de deposição de proteína em frangos de corte machos e fêmeas. Concluíram, a partir dos coeficientes de determinação (0,987 a 0,970 para machos e 0,978 a 0,937 para as fêmeas), que as 3 funções descrevem com boa acurácia o ganho protéico das aves. No entanto, a equação de Gompertz descreveu com mais precisão a quantidade de proteína nas diversas idades.

Com o objetivo de determinar o modelo matemático mais adequado para a simulação do crescimento de frangos de corte machos e fêmeas, Freitas et al. (1983) compararam 7 equações, sendo 4 não lineares (Gompertz, Richards, Logística e Bertalanffy) e a de regressão polinomial até o 3º grau. Baseando-se nos valores do coeficiente de determinação, quadrado médio residual e interpretabilidade biológica dos

parâmetros, concluíram que o modelo que mais se ajustou aos dados de pesagens em ambos os sexos, foi a equação de Gompertz, onde 99% da variação total existente durante a fase de crescimento das aves foi explicado pelo modelo. Os autores ainda sugerem que, em experimentos de nutrição, o modelo de Gompertz poderia ser ajustados aos dados de pesagens de cada tratamento e assim comparados entre si usando as curvas estabelecidas, substituindo as análises estatísticas tradicionais.

A equação de Gompertz foi utilizada por Wiseman & Lewis (1998) para comparar o desempenho, o consumo de ração e composição da carcaça de frangos submetidos a dietas com diferentes densidades nutricionais permitiu melhor visualização dos efeitos dos diferentes tratamentos para um mesmo peso (1000 a 3000 g), como consumo e composição da carcaça. Já Knížetová et al. (1991) optaram por utilizar a equação de Richards para descrever o crescimento de 9 linhagens de frangos de corte e concluíram que a equação utilizada é tão eficiente quanto a de Gompertz. O coeficiente de determinação das equações ajustadas para as fêmeas apresentaram valores ligeiramente inferiores aos dos machos (0,9972 a 0,9988 x 0,9986 a 0,9995, respectivamente) talvez pelo maior acúmulo de gordura dessas na fase final de criação.

A equação de Gompertz também foi usada por Hancock et al. (1995) para avaliar 6 linhagens de frangos de corte. Os parâmetros da equação determinados para as diversas linhagens foram: peso à maturidade ( $A$ ) de 5171 a 6145 g para machos e 4279 a 4705 g para fêmeas, taxa de crescimento máxima ( $B$ ) entre 0,0355 a 0,0371 para machos e 0,0363 a 0,0382 nas fêmeas e a idade no ponto de inflexão ( $C$ ) variou entre 39,2 a 41,8 para as fêmeas e 41,9 a 44,2 para os machos. Também Wiseman & Lewis (1998) utilizaram a equação de Gompertz para comparar o peso vivo, o consumo de ração e composição da carcaça de frangos submetidos a dietas com diferentes densidades nutricionais. Para peso vivo, os valores dos parâmetros da equação foram: peso à maturidade ( $A$ ) entre 4153,2 a 5170 g; idade do ponto de inflexão ( $C$ ) variou entre 33,3 a 43,7 dias e a taxa máxima de crescimento ( $B$ ) entre 0,0337 a 0,0523. Para a composição química das carcaças, os valores dos parâmetros para proteína foram:  $A = 722,1$  a  $972,6$  g;  $B = 0,0444$  a  $0,0650$  e  $C = 35,2$  a  $38,8$  dias. Para gordura foram:  $A = 540,2$  a  $1192,9$  g;  $B = 0,0215$  a  $0,0521$  e  $C = 42,1$  a  $75,6$  dias. Para consumo de ração foram:  $A = 15191$  a  $28978$  g;  $B = 0,0181$  a  $0,0290$  e  $C = 53,7$  a  $80,2$  dias. O coeficiente de determinação das equações ajustadas variaram de 0,990 a 1,000.

O desenvolvimento da carcaça, de peito e das penas e a deposição de proteína, de gordura, de água e de cinzas de duas linhagens de frangos de corte usando a curva de Gompertz foram descritos por Gous et al. (1999). Os valores dos parâmetros da equação determinados para peso vivo foram: peso à maturidade (*A*) entre 5888 a 6087 g para machos e 4805 a 5217 para fêmeas; idade do ponto de inflexão (*C*) variou entre 43,4 a 44,9 dias para as fêmeas e 42,7 a 43,5 para os machos e a taxa máxima de crescimento (*B*) entre 0,0375 a 0,0382 para machos e 0,035 a 0,0367 nas fêmeas. Para a composição química das carcaças, os valores dos parâmetros para proteína corporal foram: *A* = 1003 a 1010 g para machos e 697 a 717 g para fêmeas; *B* = 0,0354 a 0,0356 para machos e 0,0366 a 0,0372 para fêmeas; e *C* = 46,5 a 47,5 dias para machos e 43,3 a 43,6 dias para as fêmeas e para gordura: *A* = 923 a 1069 g para machos e 1221 a 1669 g para fêmeas; *B* = 0,0371 para machos e 0,0292 a 0,0320 para fêmeas; e *C* = 49,5 a 50,9 dias para machos e 60,5 a 65,7 dias para as fêmeas. Entre sexos, os machos apresentaram significativamente na fase final menor quantidade de lipídeos e maior quantidade de proteína e água que as fêmeas.

Os coeficientes da equação de Gompertz estimados por Hruby et al. (1995) para deposição de proteína em frangos (machos e fêmeas) em ambiente termoneutro foram: 1085 g, 0,212 e 7,269 semanas para machos e 792 g, 0,206 e 6,811 semanas para fêmeas, respectivamente para *A*, *B* e *C*. Os coeficientes de determinação obtidos foram de 0,988 para machos e 0,978 para as fêmeas.

Figueiredo et al. (1999) avaliaram o crescimento de 8 genótipos comerciais (machos e fêmeas) usando a equação de Gompertz. Os valores médios dos parâmetros *A*, *B* e *C* determinados para machos foram 4940 g, 0,0448 e 35,8 dias e para fêmeas 3910 g, 0,0453 e 33,7 dias, respectivamente.

Uma outra grande vantagem do uso das curvas de crescimento, como a de Gompertz, é que auxiliam na estimativa de peso vivo das aves, em idades nas quais não foram feitas pesagens, o que é muito importante para a análise econômica (Oviedo-Rondón et al., 2002).

A partir da curva de crescimento e da equação de Dritz et al. (1997),  $ELD = Em + (GPr \times PLT / EDL)$ ; onde: ELD = exigência de lisina digestível (g/dia); Em = exigência de lisina para manutenção (g); GPr = Ganho de proteína (g); PLT = % de lisina nos tecidos das aves e EDL = eficiência de deposição de lisina (%), a exigência diária de lisina em gramas pode ser calculada a partir da conhecimento dos

parâmetros: deposição diária de proteína, conteúdo de lisina na proteína corporal, eficiência de deposição e exigência de lisina para a manutenção. Para estes últimos parâmetros, Edwards et al. (1999) determinaram que a exigência de manutenção de lisina para zero de deposição de proteína é de 6,9 mg/dia/kg<sup>3/4</sup>, sua taxa de eficiência de retenção é 79,3% e representa 6,70% dos aminoácidos contidos na proteína corporal e segundo Eits et al. (2002), os frangos de corte de 200 a 1600 g, apresentam a mesma eficiência de utilização dos aminoácidos para deposição de proteína.

De modo geral, os modelos matemáticos estabelecem apenas as exigências de lisina para as condições de criação, os demais aminoácidos são incorporados à dieta com base na proteína ideal (Gous et al., 2002; Oviedo-Rondón & Waldroup, 2002).

Hurwitz et al. (1978) estabeleceram modelo matemático para calcular as exigências dos diversos aminoácidos para frangos de corte em crescimento, baseado em estudos de ganho de peso e composição protéica e aminoacídica da carcaça e penas. As exigências determinadas consistiram no somatório das exigências para manutenção e ganho de peso. As exigências calculadas foram muito similares aos recomendados por diversas fontes. O uso de dietas formuladas com base no modelo para frangos no período de 6 a 8 semanas apresentaram níveis de proteína e aminoácidos menores que o recomendado pelo NRC, mas proporcionaram igual ganho de peso, maior consumo de ração, pior conversão alimentar e maior acúmulo de gordura abdominal que as aves que receberam dietas formuladas com base no NRC.

O desempenho de frangos de corte alimentadas com dietas formuladas a partir das exigências estimadas pelo modelos matemáticos (Hurwitz et al., 1998) com outros que receberam os níveis de nutrientes recomendados pelo NRC (1971, 1977) no período de 6 a 9 semanas foram comparados por Hurwitz et al. (1978). As dietas formuladas a partir dos modelos, mesmo possuindo nível bem mais baixos de proteína, propiciaram as aves ganhos de peso semelhantes àquelas alimentadas com as recomendações do NRC, mas com maior acúmulo e gordura corporal e pior conversão alimentar.

Hurwitz et al. (1983) baseados no estudo da composição da carcaça e das penas de perus durante a fase de crescimento e experimentos de balanço de nitrogênio, estabeleceram um modelo matemático para calcular as exigências de proteína e aminoácidos. As exigências determinadas consistiram no somatório das exigências de:

manutenção, ganho de peso na carcaça sem penas e ganho em penas. Segundo os autores, os valores de aminoácidos encontrados foram muito similares aos recomendados pelo NRC (1977).

A equação de Gompertz para descrever o crescimento dos frangos (machos e fêmeas) e a deposição de proteína foi utilizada por Hruby et al. (1995). A partir desses modelos matemáticos os autores determinaram a exigência semanal dos frangos de corte para os diversos aminoácidos. Observaram que as exigências estimadas foram muito maiores que as recomendados pelo NRC (1994) durante as 2 primeiras semanas de vida e, depois desta, aproximaram-se bastante. Esses modelos permitem o ajuste diários das exigências nutricionais das aves, o que pode se refletir em economia para o produtor, pois evita o sobreconsumo de aminoácidos e reduz a poluição ambiental por nitrogênio.

Hancock et al. (1995) empregaram a equação de Gompertz para comparar o potencial de crescimento de 6 diferentes linhagens e, segundo os autores, esta descrição é essencial para conseguir determinar o mais econômico programa alimentar e condições ambientais para serem criadas as aves.

Os modelos matemáticos segundo Hruby et al. (1995) permitem a determinação dos níveis de nutrientes a serem empregados nas dietas, do consumo e do crescimento esperado de frangos de corte. As equações ou modelos são empregados como ferramenta pelas empresas avícolas para garantir o máximo retorno financeiro, frente às diversas condições (densidade, temperatura, etc). Esses tipos de modelos de simulação já estão sendo comercializados na forma de software por várias empresas. Oviedo-Rondón et al. (2002), utilizando o software OmniPro II<sup>®</sup>, estimaram as exigências de lisina total em 1,36, 1,16 e 1,03% para machos e 1,22, 1,11 e 0,96% para fêmeas, nos períodos de 1-14, 15-35 e 36-49 dias, respectivamente. Empregando níveis de lisina e demais nutrientes 10% mais altos e mais baixos para todas as fases, observaram que, para machos aos 49 dias, o aumento dos níveis nutricionais (110%) não proporcionou diferenças significativas no peso vivo e no consumo de ração, no entanto piorou a conversão alimentar em relação ao controle (100%), enquanto para as fêmeas o aumento do níveis nutricionais melhorou a conversão alimentar e o peso vivo. Os machos e fêmeas, submetidos ao níveis mais baixos de nutrientes (90%), apresentaram menor peso vivo, pior conversão alimentar, mas não diferiram em consumo de ração.

Talpaz et al. (1988), citados por Hruby et al. (1996), utilizaram a função de Gompertz para descrever o crescimento de frangos de corte e, a partir deste, desenvolveram um modelo matemático que permitiu redução entre 8 e 10% no custo de produção.

Os modelos de crescimento computadorizados podem ser usados como ferramenta para determinar os mais rentáveis níveis e balanço de aminoácidos dietéticos e de outros nutrientes para frangos de corte. Esses modelos determinam o máximo desempenho econômico e não o biológico (Oviedo-Rondón & Waldroup, 2002).

## CONCLUSÃO

Em função dos avanços no melhoramento genético se faz necessário a constante atualização da exigência de lisina. Os programas de alimentação em fase são extremamente importantes para garantir o melhor aproveitamento dos nutrientes. Predizer a performance das aves submetidas a diferentes condições alimentares e de manejo ou mesmo de diferentes linhagens é um problema para a criação avícola que o uso da equação de Gompertz pode auxiliar a solucionar.

## REFERÊNCIAS

- Ajinomoto. 2009. Feeding broilers different lysine to apparent metabolizable energy ratios during the 40 to 2000 gram live weight period. Capturado em 09 de abril 2009. Online. Disponível na internet <http://www.lysine.com/new/Technical%20Reports/Poultry/PRR12.pdf>
- Baker D.H. & Han Y. 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching. *Poult. Sci.* 73:1441-1447.
- Baker D.H. 1991. Partitioning of nutrients for growth and other metabolic functions: efficiency and priority considerations. *Poult. Sci.* 70:1797-1805.
- Bertechini A.G. 1987. Efeitos de programas de alimentação, nível de energia, forma física da ração e temperatura ambiente sobre o desempenho e custo por unidade de ganho de peso em frangos de corte. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 204p.
- Bertechini A.G. 1998. Nutrição de Monogástricos. Editora UFLA/FAEPE, Lavras, 273p.
- Brito C.O. 2007. Avaliação de dietas formuladas com aminoácidos totais e digestíveis e estimativas do crescimento e da deposição de nutrientes em frangos de corte. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 155p.
- Buteri C.B. 2003. Efeitos de diferentes planos nutricionais sobre a composição e o desempenho produtivo e econômico de frangos

- de corte. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 151p.
- Café M.B., Waldroup P.W., Junqueira O.M., Oviedo-Rondon E.O. & Fritts C.A. 2002. Interação entre diferentes níveis dietéticos de metionina e de lisina na nutrição de frangos de corte. Anais Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2002, Campinas, SP. 4:67.
- Carden A.E., Goenaga P.R. & Schang M.J. 1978. Efectos de sexo y raza sobre la composicion corporal en pollos parrilleros. I. Composicion tisular de la carcaza. [S.L.]: Instituto de Tecnologia Agropecuaria, 8p. (Informe Técnico, n. 145).
- Conhalato G.S. 1998. Exigência de lisina digestível para frangos de corte machos. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 79p.
- Costa F.G.P., Rostagno H.S. & Albino L.F.T. 1999. Níveis dietéticos de lisina para frangos de corte, no período de 22 a 40 dias de idade. Anais Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, Campinas, SP. 18p.
- Cotta J.T.B. 1997. Produção de carne de frango. Editora UFLA/FAEPE, Lavras, 197p.
- Dritz S.S., Tokach M.D. & Goodband R.D. 1997. Growing-finishing pig recommendations. Kansas State University. 12p.
- Edwards H.M., III, Fernandez S.R. & Baker D.H. 1999. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and protein in young chicks. Poul. Sci. 78:1412-1417.
- Eits R.M., Kwakkel R.P., Versteegen M.W.A., Stoutjesdijk P. & De Greef K.H. 2002. Protein and lipid deposition rates in male broiler chickens: separate responses to amino acid and protein-free energy. Poul. Sci. 81:472-480.
- Emmert J.L. & Baker D.H. 1997. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. J. Appl. Poul. Res. 6:462-470.
- Fialho F.B. 1999. Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. Comunicado Técnico 237. Embrapa-CNPSA. p.1-4.
- Figueiredo E.A.P., Rosa P.S., Guidoni A.L., Scheuermann G.N. & Schmidt G.S. 1999. Avaliação de parâmetros de crescimento de oito linhagens comerciais de frangos de corte. Anais reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, Porto Alegre, RS. 36 CD ROM.
- Freitas A.R., Albino L.F. & Rosso L.A. 1983. Estimativas do peso de frangos machos e fêmeas através de modelos matemáticos. Comunicado Técnico 68. Embrapa-CNPSA. p.1-4.
- Gous R.M. & Morris T.R. 1985. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. Br. Poultry Sci. 26:147-161.
- Gous R.M., Moran Jr. E.T., Stilborn H.R., Bradford G.D. & Emmans G.C. 2002. Modeling energy and amino acid requirements in order to optimise the feeding of commercial broilers. Anais Simpósio Internacional ACAV-Embrapa sobre Nutrição de Aves. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC. P.82-94.
- Gous R.M., Moran Jr E.T., Stilborn H.R. Bradford G.D. & Emmans G.C. 1999. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. Poul. Sci. 78:812-821.
- Han Y. & Baker D.H. 1994. Digestible lysine requirement of male and female broiler chicks during the period three to six weeks posthatching. Poul. Sci. 73:1739-1745.
- Han Y. & Baker D.H. 1993. Effects of sex, heat stress, body weight, and genetic strain on the dietary lysine requirement of broiler chicks. Poul. Sci. 72:701-708.
- Hancock C.E., Bradford G.D., Emmans G.C. & Gous, R.M. 1995. The evaluation of the growth parameters of six strains of comercial broiler chickens. Br. Poul. Sci. 36:247-264.
- Holsheimer J.P. & Ruensik E.W. 1993. Effect on performance, carcass composition, yield, and financial return of dietary energy and lysine levels in starter and finisher diets fed to broilers. Poul. Sci. 72:806-815.
- Holsheimer J.P. 1980. Performance and carcass composition of male broilers as influenced by phase feeding. Poul. Sci. 59:2060-2064.
- Hruby M., Hamre M.L. & Coon C.N. 1996. Non-linear and linear functions in body protein growth. J. Appl. Poul. Res. 5:109-115.
- Hruby M., Hanre M.L. & Coon C.N. 1995. Predicting amino acid requirements for broilers at 21,1°C and 32,2°C. J. Appl. Poul. Res. 4:395-401.
- Hurwitz S., Frish Y., Bar A., Eisner U., Bengal I. & Pines M. 1983. The amino acid requirements of growing turkeys. I. Model construction and parameter estimation. Poul. Sci. 62:2208-2217.
- Hurwitz S., Sklan D. & Bartov I. 1978. New approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. Poul. Sci. 57:197-205.
- Hurwitz S., Sklan D., Talpaz H. & Plavnik I. 1998. The effect of dietary protein level on lysine and arginine requirements of growing chickens. Poul. Sci. 77:689-696.
- Hurwitz S., Plavnik I., Bartov I. & Bornstein S. 1980. The amino acid requirements of chicks: experimental validation of model-calculated requirements. Poul. Sci. 59:2470-2479.
- Ivey F.J. 1999. Desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento para frangos de corte. Anais Simpósio Internacional ACAV-Embrapa Sobre Nutrição de Aves, Concórdia, SC. p.22-35.
- Kessler A.M. 1999. Programas alimentares para otimizar a deposição de carne e gordura em carcaças de frangos de corte. p.183-199. In: Ribeiro A.M.L., Bernardi M.L. & Kessler A.M. (ed.) Tópicos em produção animal. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Kleyn R. Cost effective broiler nutrition through improved formulation. Capturado em 09 de abril 2009. Online. Disponível na Internet <http://www.spesfeed.co.za>
- Knížetová H., Hyánek J., Kníže B. & Roubíček J. 1991. Analysis of growth curves of fowl. I. Chickens. Br. Poul. Sci. 32:1027-1038.
- Kubena L.F., Lott B.D., Deaton J.W., Reece F.N. & May J.D. 1972. Body composition of chicks as influenced by environmental temperature and selected dietary factors. Poul. Sci. 51:517-522.
- Lana G.R.Q., Silva Jr R.G.C., Valerio S.R., Lana A.M.Q. & Basto E.C. 2001. Efeito da densidade e de programas de alimentação sobre o desempenho de frangos de corte. Rev. Bras.

- Zoot. 30:1258-1265.
- Leclercq B. 1998. Specific effects of lysine on broiler production: comparison with threonine and valine. *Poult. Sci.* 77:118-123.
- Leenstra F.R. 1986. Effect of age, sex, genotype and environment on fat deposition in broiler chickens – A review. *Wrd. Poult. Sci. J.* 42:12-25.
- Leeson S. 1995. Nutrição e qualidade da carcaça de frangos de corte. Anais Conferência APINCO, Campinas, São Paulo. p.111-118.
- Lin C.Y. 1981. Relationship between increased body weight and fat deposition in broilers. *Wrd. Poult. Sci. J.* 37:106-110.
- Loupe L.N. & Emmert J.L. 2000. Growth performance of broiler chicks during the starter and grower phases in phase-feeding. *Discovery* 1:20-24.
- Macleod M.G. 2000. Modelling the utilization of dietary energy and amino acids by poultry. p.393-412. In: Theodorou M.K. & France J. (ed.). *Feeding systems and feed evaluation models*. CABI Publishing.
- Mcleod J.A. 1982. Nutritional factors influencing carcass and fat in broilers – A review. *Wrd. Poult. Sci. J.* 38:195-200.
- Mignon-Grasteau S., Beaumont C., Le Bihan-Duval E., Poivey J.P. & Rochambeau H. 1999. Genetic parameters of growth curve parameters in male and female chickens. *Br. Poult. Sci.* 40:44-51.
- Moran Jr E.T. 1999. Live production factors influencing yield and quality of poultry meat. p.179-195. In: Richardson R.I. & Mead G.C. (ed.) *Poultry meat science*. CABI Publishing.
- Nascimento A. 2003. Lisina – principal aminoácido para deposição protéica. *Aveworld* 1:56-60.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. 1994. Nutrient requirement of poultry. 9.ed. Washington, D.C.: National Academy, 155 p.
- Nieto R., Prieto C., Fernández-Figares I. & Aguilera J.F. 1995. Effect of dietary protein quality on energy metabolism in growing chickens. *Br. J. Nutr.* 74:163-172.
- Oviedo-Rondón E.O. & Waldroup P.W. 2002. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: A review. *Int. J. Poult. Sci.* 1(5):106-113.
- Oviedo-Rondón E.O., Fritts C.A. & Waldroup P.W. 2002. Accuracy of OmniPro II<sup>®</sup> estimations for amino acid requirements of broilers. *Int. J. Poult. Sci.* 1(5):119-126.
- Oviedo-Rondón E.O. & Murakami A.E. 2002. Modelos matemáticos: Heramienta para la alimentación avícola. *Alimentos Balanceados para Animales, noviembre-diciembre*, p.10-13.
- Pope H.R., Loupe L.N., Townsend J.A. & Emmert J.L. 2002. Growth performance of broilers using a phase-feeding approach with diets switched every other day from forty-two to sixty-three days of age. *Poult. Sci.* 81:466-471.
- Pope H.R., Townsend J.A. & Emmert J.L. 2001. Impact of phase-feeding on growth performance of broilers fed diets adjusted every other day for decreased amino acid content. *Poult. Sci.* 80(suppl.1):45.
- Pope T. & Emmert J.L. 2002. Impact of phase-feeding on the growth performance of broilers subjected to high environmental temperatures. *Poult. Sci.* 81:504-511.
- Pope T. & Emmert J.L. 2001. Phase-feeding supports maximum growth performance of broiler chicks from forty-three to seventy-one days of age. *Poult. Sci.* 80:345-352.
- Rosebrough R.W. & Steele N.C. 1985. Energy and protein relationships in the broiler. 1. Effect of protein levels and feeding regimens on growth, body composition, and in vitro lipogenesis of broiler chicks. *Poult. Sci.* 64:119-126.
- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Donzele J.L., Gomes P.C., Oliveira R.F., Lopes D.C., Ferreira A.S. & Barreto S.L.T. 2005. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 2ª ed. Minas Gerais: Viçosa, 186p.
- Shiroma N.N., Zanetti M.A. & Faria D. E. 1996. Efeito de programas de alimentação sobre o desempenho de frangos de corte machos durante o inverno. Anais Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, Campinas, SP, 28p.
- Scheuermann G.N., Maier J.C, Bellaver C. & Fialho F.B. 1995. Metionina e lisina no desenvolvimento de frangos de corte. *Rev. Bras. Agrocic. 1(2):75-86*.
- Sibbald I.R. & Wolynetz M.S. 1986. Effects of dietary lysine and feed intake on energy utilization and tissue synthesis by broiler chicks. *Poult. Sci.* 65:98-105.
- Sklan D. & Plavnik I. 2002. Interactions between dietary crude protein and essential amino acid intake on performance in broilers. *Br. Poult. Sci.* 43:442-449.
- Sonaiya E.B. 1985. Abdominal fat weight and thickness as predictors of total body fat in broilers. *Br. Poult. Sci.* 26:453-458.
- Summers J.D., Spratt D. & Atkinson J.L. 1992. Broiler weight gain and carcass composition when fed diets varying in amino acid balance, dietary energy, and protein level. *Poult. Sci.* 71:263-273.
- Summers J.D. & Leeson S. 1985. Broiler carcass composition as affected by amino acid supplementation. *Can. J. Anim. Sci.* 65:717-723.
- Tavernari F.C., Buteri C.B., Rostagno H.S. & Albino L.F.T. 2009. Effects of dietary digestible lysine levels on protein and fat deposition in the carcass of broilers. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 11:99-107.
- Tesseraud S., Larbier M., Chagneau A.M. & Geraert P.A. 1992. Effect of dietary lysine on muscle protein turnover in growing chickens. *Reprod. Nutr. Dev.* 32:163-171.
- Tesseraud S., Maa N., Peresson R. & Chagneau A.M. 1996. Relative responses of protein turnover in three different skeletal muscles to dietary lysine deficiency in chicks. *Br. Poult. Sci.* 37:641-650.
- Uzu G. 1982. Limit of reduction of the protein level in broiler feeds. *Poult. Sci.* 61:1557-1558.
- Warren W.A. & Emmert J.L. 2000. Efficacy of phase-feeding in supporting growth performance of broiler chicks during the starter and finisher phases. *Poult. Sci.* 79:764-770.
- Wiseman J. & Lewis C.E. 1998. Influence of dietary energy and nutrient concentration on the growth of body weight and of carcass components of broiler chickens. *J. Agri. Sci.* 131:361-371.
- Zoons J., Buyse J. & Decuyper E. 1991. Mathematical models in broiler raising. *Wrd. Poult. Sci. J.* 47:243-255.