

Modelo de *Reading* para estimar a ingestão ótima econômica de aminoácidos para aves

Reading model to estimate optimum economic intakes of amino acids for poultry

Edney Pereira da Silva¹ Nilva Kazue Sakomura^{*} Luciano Hauschild¹ Robert Mervyn Gous¹¹

– REVISÃO BIBLIOGRÁFICA –

RESUMO

A utilização de procedimento linear-platô para descrever a resposta de um indivíduo a ingestão de um nutriente na população tem sustentação teórica, uma vez que cada indivíduo tem seu máximo potencial de produção determinado geneticamente, e qualquer aumento no consumo de nutriente limitante acima de manutenção resulta numa resposta linear na massa de ovo até atingir o potencial genético e, portanto, atendendo a exigência do indivíduo. No entanto, por causa da distribuição do peso corporal e da massa de ovos na população, a resposta média da população é curvilínea, a qual anula a possibilidade de definir uma “exigência” para o nutriente limitante, e, ao invés disso, leva à possibilidade de definir uma ingestão ótima econômica do nutriente. O Reading Model descreve a resposta da população à ingestão do nutriente limitante, integrando as respostas dos indivíduos que constituem a população. A resposta da população é obtida invertendo um modelo fatorial simples, usando parâmetros para descrever o peso corporal, máximo potencial de produção e as respectivas distribuições (normal) e covariância. Reading Model descreve a resposta da população à ingestão do nutriente limitante, integrando as respostas dos indivíduos que constituem a população. A resposta da população é obtida invertendo um modelo fatorial simples, usando parâmetros para descrever o peso corporal, máximo potencial de produção e as respectivas distribuições (normal) e covariância. A resposta média da população é representada por um modelo linear-platô com uma forma sigmoide. O Reading Model tem sido amplamente utilizado para estimar a ingestão ótima econômica de aminoácidos para poedeiras comerciais, com diferenças no peso corporal e massa de ovo.

Palavras-chave: massa de ovos, modelo matemático, ótimo econômico, população.

ABSTRACT

The use of a linear-plateau procedure to describe the response of an individual in the population has theoretical support.

since the maximum potential performance of each individual is genetically determined, and any increment in intake of the limiting nutrient above maintenance will result in a linear response in output until this genetic potential, and hence requirement, is reached. However, because of the distribution of body weights and maximum potential outputs in the population, the mean response of the population is curvilinear, which negates the possibility of defining a 'requirement' for the limiting nutrient, and instead leads to the possibility of defining an optimum economic intake of the nutrient. The Reading model describes the response of a flock to a limiting nutrient by integrating the responses of the individuals making up the population. The response of the population is obtained by inverting a simple factorial model using parameters to describe the mean body weight and maximum output of the flock, their distributions (normal) and covariance. The average response of the population is represented by a linear plateau model with a sigmoidal shape. This model has been widely used to predict the optimum economic intake of amino acids for commercial laying flocks varying in body weight and potential egg output.

Key words: egg mass, mathematical model, optimal economic, population.

INTRODUÇÃO

O *Reading Model* pode ser aplicado para explicar as relações entre estímulo e respostas de animais e plantas (CURNOW, 1973), entretanto, esta revisão aborda apenas sua aplicação para estudos com aminoácidos para poedeiras comerciais. O *Reading Model* foi desenvolvido pelos pesquisadores da Universidade Reading com objetivo de resolver problemas relacionados com a indecisão que se gerava para determinar a ingestão ideal do

¹Departamento de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista (UNESP), via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail: sakomura@fcav.unesp.br. *Autor para correspondência.

¹¹Animal and Poultry Science, University of KwaZulu-Natal (UKZN), Durban, South Africa.

aminoácido quando os modelos lineares, polinomiais e exponenciais eram ajustados aos dados de estudos dose resposta (CURNOW, 1973, FISHER et al., 1973, PILBROW & MORRIS, 1974). Em comum, os modelos lineares, polinomiais e exponenciais apresentavam boas estatísticas de ajuste e isso impossibilitava distinguir entre eles o melhor ou mais adequado por ferramentas estatísticas, disponíveis até então. Por outro lado, a ingestão ideal do aminoácido era influenciada pelo modelo (FISHER et al. (1973).

Segundo FISHER et al. (1973), os modelos lineares, polinomiais e exponenciais não admitem pressupostos importantes para compreender a relação entre dose e resposta, como, por exemplo: o uso de modelo linear não caracteriza a máxima resposta da ave, e portanto subestima a ingestão do nutriente. Por outro lado, as curvas mais conhecidas (equações polinomiais e exponenciais) superestimam a ingestão do nutriente para um nível de produção próximo às condições práticas. A sub e superestimação da ingestão do nutriente afeta a resposta das aves e, certamente, exercerá impacto econômico no sistema produtivo. Além disso, a natureza empírica dos modelos lineares, polinomiais e exponenciais impossibilita extrapolar recomendação para populações com diferentes níveis de produção de ovos e peso corporal (FISHER et al., 1973).

Para que essas limitações fossem contornadas, os modelos lineares, polinomiais e exponenciais deveriam possibilitar: 1ª) restrição biológica em nível de indivíduo, incluindo as relações básicas entre entrada e saída; 2ª) considerara resposta da população como sendo a média integrada dos indivíduos; e 3ª) considerar a variação entre os indivíduos na população. Matematicamente, esses princípios foram incorporados ao *Reading Model* por CURNOW (1973). Essa revisão tem como objetivo descrever e demonstrar a aplicabilidade do *Reading Model* para estimar a ingestão ótima econômica de aminoácidas para poedeiras comerciais, conforme a descrição de FISHER et al. (1973) e PILBROW & MORRIS (1974).

Descrição do Modelo *Reading*

O *Reading Model* possibilita calcular a ingestão ótima de aminoácidos (I_{opt}) para grupos de poedeiras, conforme a expressão geral: $I_{opt} \text{ mg.dia}^{-1} = \mu + y.z$ em que μ representa a equação para calcular a ingestão média; y representa a equação para calcular o desvio das exigências, e z representa o índice econômico, sugere quantas vezes y deve ser somado à μ . A equação μ calcula a ingestão média e representa o indivíduo médio da população, que segue

o mesmo princípio do modelo linear-platô e fatorial. A ingestão do aminoácido (I) é obtida pelo somatório da exigência de manutenção do peso corporal (PC) e produção de massa de ovo (MO), conforme a equação: $I \text{ mg.dia}^{-1} = a.MO + b.PC$, em que a e b são constantes nutricionais. Essa parte da equação possibilita impor restrições no modelo e prever as consequências, invertendo a equação da seguinte forma: $MO = (I - (b.PC))/a$, logo, qualquer restrição nos parâmetros (I , PC , b e a) afeta a MO e pode ser calculada.

Para calcular a ingestão do aminoácido é necessário gerar uma população com distribuição normal para MO e PC . Gera-se separadamente uma população aleatória para variável MO e PC . A linguagem computacional utilizada para gerar a população dependerá do *software* utilizado. Conforme FISHER et al. (1973), 500 indivíduos é um número razoável. Aumentar o número de indivíduo na simulação acarreta em aumento no tempo de processamento dos cálculos, para maiores informações ver GOUS & BERHE (2006).

Com base nos indivíduos simulados, aplica-se a equação $\mu (I \text{ mg.dia}^{-1} = a.MO + b.PC)$.

Para calcular a ingestão da população simulada, sem considerar os aspectos econômicos, por exemplo, calcula-se a ingestão extra para atender os indivíduos mais produtivos que estão acima da média, da seguinte forma: $I \text{ mg.dia}^{-1} = a.MO + b.PC + y$. Em que y é desvio das exigências individuais de MO e PC , calculada pela expressão: $y \text{ mg.dia}^{-1} = \text{raiz quadrada } [a^2.\sigma MO^2 + b^2.\sigma PC^2]$, quando σMO é o desvio padrão da MO e σPC é o desvio padrão do PC . Essa descrição considerou como 0 o valor da correlação (covariância) entre a MO e PC , conforme sugerido por MORRIS & WETHLI (1978).

A magnitude do y depende da exigência do aminoácido e da variância populacional. Portanto, quanto maior a variabilidade na MO e PC , maior será o fornecimento do aminoácido para atender todos os indivíduos da população. A extrapolação para população é feita com base no desvio normal padrão z . A distribuição normal padrão é descrita pela média ($\mu=0$) e desvio padrão y ($\sigma=1$). Na prática, calcula-se o desvio y das exigências do aminoácido e multiplica-se pelo desvio normal padrão z , que pode variar de 1 a 3 (em números arredondados). Quando o valor de z é exatamente em 1, 2 e 3, o fornecimento extra do aminoácido atende 68,26% ($\mu \pm 1.y$), 95,44% ($\mu \pm 2.y$) e 99,74% da população ($\mu \pm 3.y$).

O *Reading Model*, além de estimar a ingestão para média da população (μ) e o ótimo biológico ($\mu + y$), permite ainda obter o ótimo econômico ($I_{opt} = \mu + z.y$) para cada granja. O nível

ótimo econômico do aminoácido é considerado o ponto em que a inclinação da curva resposta iguala a relação entre o custo de uma unidade extra do aminoácido para o retorno de uma unidade extra de massa de ovos.

O desvio y é corrigido por fatores econômicos. A relação custo benefício do fornecimento do aminoácido (k) é obtida da seguinte forma: $k = [\text{Custo por mg do aminoácido (R\$mg}^{-1}) / \text{valor da g de ovo (R\$mg}^{-1})]$. A ingestão extra economicamente viável é dada pela seguinte expressão: $z.y$, em que z é desvio normal padrão, conforme mencionado acima. Mas aqui seu valor é calculado da seguinte forma: $z = 0,5 - a.k$, (0,5 se a tabela de distribuição for até 0,5). Esse índice sugere o quanto de y deve ser somado à μ (PILBROW & MORRIS, 1974). Do ponto de vista estatístico, o parâmetro z significa o desvio normal padrão que corta uma área $a.k$ em uma das extremidades da curva da distribuição normal e é expresso em unidades padrão, obtido a partir de tabelas da distribuição normal ou em *softwares* específicos.

A quantidade extra de aminoácido obtido por $z.y$ destina-se proporcionalmente aos indivíduos que ainda não atingiram sua capacidade máxima de produção, corrigida pela taxa de produção e pelo valor marginal da produção de uma unidade de massa de ovo. Assim, a ingestão ótima ocorre quando o custo marginal do fornecimento de uma unidade de aminoácido for igual ao valor da resposta obtida por unidade do aminoácido fornecido.

A extrapolação para população é sustentada pelos mesmos pressupostos estatísticos descritos para ótimo biológico, a única diferença é que o valor de z no ótimo econômico é condicionado pelo k , que deve ser considerada para cada granja e cenário econômico. Considerando todos os parâmetros, o modelo completo é expresso pela a equação:

$$I_{opt} \text{ mgdia}^{-1} = a.MO + b.PC + z.(\text{raiz quadrada } [a^2.\sigma MO^2 + b^2.\sigma PC^2])$$

Em que MO é média da massa de ovos, gdia^{-1} ; σMO desvio padrão de MO ; PC é média de peso corporal; σPC é desvio padrão da população; a e b são quantidades de aminoácidos associado a uma unidade de MO (a) e uma unidade de PC (b), respectivamente.

Quando o objetivo é maximizar a produção de ovos, é conveniente considerar no modelo a máxima produção de massa de ovos (MO_{max}). O modelo pressupõe que cada indivíduo tem um nível MO_{max} , portanto, $MO < MO_{max}$ então: $I = a.MO + b.PC$. Para $I < b.PC$, $I = 0$, excluindo os valores negativos de produção. As relações para um indivíduo são ilustradas na figura 1a. Quando uma população é considerada, a resposta é a média dos indivíduos (Figura 1b). A resposta curvilínea sempre ocorrerá, exceto no caso improvável que todas as respostas para os indivíduos são exatamente paralelas, que exige, entre outros requisitos, uma correlação perfeita entre MO e PC .

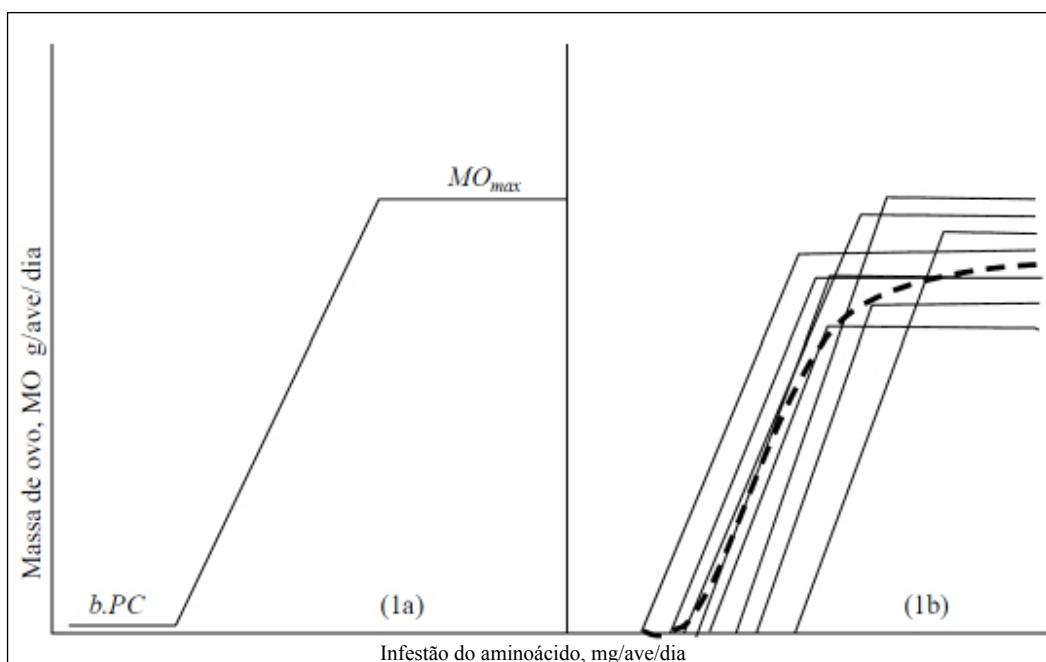


Figura 1- Representação teórica do Reading Model para resposta de galinhas poedeiras para a ingestão de aminoácido. Resposta individual (1a) e média das respostas para um pequeno grupo de aves (1b). Adaptado de FISHER et al. (1973).

Aplicação do modelo de *Reading*

Em ensaios nutricionais para estudar as respostas das aves, é imprescindível obter respostas “claras” das aves aos níveis do aminoácido na dieta para aplicar o modelo *Reading*. Quanto maior a amplitude dos níveis testados maior será a faixa, gama ou representação das respostas das aves e, conseqüentemente, melhor será o ajuste do modelo. Os níveis experimentais são estabelecidos em relação ao referencial, tabelas de recomendações, por exemplo. De modo geral, os níveis variam de 30% a 130% da recomendação, conforme BENDEZU et al. (2013). Com base nesse pressuposto, poucos estudos foram publicados com delineamento próprio para ajustar o *Reading Model*.

Para demonstrar o ajuste desse modelo, algumas publicações foram selecionadas e reanalisadas. Os estudos de PILBROW & MORRIS (1974), GOUS et al. (1987) e VENTURINI (2011) foram delineados para ajustar o *Reading Model*. Em comum, esses estudos tiveram uma vasta gama de níveis dietéticos de lisina, permitindo representar o estado de manutenção (coeficiente b), fase linear de resposta (coeficiente a) e estabilidade de resposta da ave (MO_{max}), conforme a tabela 1. Por outro lado, os estudos de LATSHAW (1976), NATHANAEL &

SELL (1980), BARBOSA et al. (1999) e SCHMIDT et al. (2008) experimentaram níveis de lisina que compreenderam apenas a fase linear de resposta (coeficiente a) e estabilidade de resposta da ave (MO_{max}), e, dessa forma, o *Reading Model* não ofereceu bom ajuste para todos os parâmetros, que pode ser visualizado pelo baixo valor do coeficiente b estimado, utilizando estes dados (Tabela 1).

Um diferencial do *Reading Model* é a interpretação dos seus parâmetros. Com base nos valores ajustados, são possíveis interpretações nutricionais e fisiológicas, além da estimativa da ingestão ideal do aminoácido. A partir do coeficiente a, é possível calcular a eficiência de utilização do aminoácido para produção de ovos. Considerando que cada grama de ovo contém 7,5mg de lisina, a eficiência de utilização pode ser obtida pela divisão entre a deposição (D, 7,5mg/g) e a ingestão do aminoácido por grama de ovo (a, mgg^{-1}), logo $D/a = \text{eficiência}$.

Numa comparação entre os estudos apresentados na tabela 1, é possível verificar redução no peso corporal das aves, como conseqüência do melhoramento genético. Verifica-se também que o aumento da produção de massa de ovo não afetou o coeficiente a, que representa a exigência de lisina por grama de massa de ovo. Por outro lado, o coeficiente b,

Tabela 1 - Parâmetros do *Reading Model* e estimativas da ingestão de lisina para poedeiras comerciais.

Itens	Estudos											Média
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	
	----- Parâmetros -----											
MO_{max} , $g\text{dia}^{-1}$	46	50	44	48	49	46	46	42	43	56	61	49
PC, kg	1,8	1,9	2,3	2,3	2,6	1,9	1,9	1,9	1,9	1,55	1,4	2,0
a, mgg^{-1}	10,2	8,5	9,1	10	8,3	11	9,9	9,51	12,7	12,9	9,5	9,8
b, $mgkg^{-1}$	73	120	95	70	105	37	0,8	1,6	0,1	6,6	22,2	52,6
σMO_{max} , $g\text{dia}^{-1}$	10,6	11,6	10,1	11,1	11,2	10,5	5,5	5,5	9,4	6,0	14,1	9,6
σPC , kg	0,29	0,31	0,37	0,36	0,42	0,31	0,19	0,19	0,13	0,10	0,23	0,28
	----- Interpretação do coeficiente a -----											
Lisina no ovo, mgg^{-1}	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
⁸ Eficiência, %	73,5	88,2	82,4	75	90,4	68,2	75,8	78,9	59,2	58,1	78,9	79,5
	----- Estimativas em $mg\text{dia}^{-1}$ -----											
μ	603	661	619	644	676	573	461	402	541	738	609	591
y	51	73	64	54	73	41	54	52	119	77	37	60
⁹ $\mu+1.y$	654	734	683	697	750	614	515	455	660	816	646	651
¹⁰ $\mu+2.y$	705	806	748	751	823	655	570	507	779	893	683	711
¹¹ $\mu+3.y$	757	879	812	805	896	697	624	559	898	971	720	772

E1,E2,E3,E4,E5 PILBROW & MORRIS (1974); E6 GOUS et al. (1987); E7 VENTURINI (2011); E8 LATSHAW (1976); E9 NATHANAEL & SELL (1980); E10 BARBOSA et al. (1999); E11 SCHMIDT et al. (2008); MO_{max} , máxima taxa de produção de massa de ovo, $g\text{dia}^{-1}$; PC, peso corporal; σMO_{max} , desvio da máxima taxa de produção de ovos, $g\text{dia}^{-1}$; σPC , desvio padrão do peso corporal, kg; a, exigência de lisina para produção de massa de ovo, mg de lisina por g de ovo; b, exigência de lisina para manutenção, mg de lisina por kg PC; Lisina no ovo, deposição de lisina no ovo, 7,5mg por g de ovo; Eficiência, eficiência de utilização = Lisina no ovo/a; μ , ingestão para média da população; y, desvio da exigência; $\mu+1.y$, corresponde 68,26% da população; $\mu+2.y$, corresponde 95,44% da população; $\mu+3.y$, corresponde 99,74% da população.

que representa a exigência de manutenção de lisina mudou consideravelmente, quando comparado com o valor determinado por VENTURINI (2011), apresentado na tabela 1.

Estimando o ótimo biológico de lisina para poedeiras de acordo com produção e variabilidade

Com base nos parâmetros ajustados para 11 estudos, foram realizados cálculos da ingestão de lisina (Tabela 1). A ingestão ótima “biológica” de lisina, ou seja, sem considerar fatores econômicos, foi considerada $\mu+1.y$, $\mu+2.y$, $\mu+3.y$. Os valores 1, 2 e 3 correspondem ao desvio normal padrão z , e s_y interpretados com a ingestão do aminoácido para atender 68,26%, 95,44% e 99,74% da população, respectivamente. A ingestão de lisina obtida com $z=3$, ($\mu+3.y$) possibilita maximizar o desempenho zootécnico de quase todos indivíduos da população de mesma linhagem, uma vez que a média e desvio da MO e PC são específicas para cada genótipo e, sobretudo, condição de criação.

Para exemplificar a aplicação do modelo de acordo com a produção e variabilidade, foram considerados os valores de média e desvio da MO e PC de JARDIM FILHO et al. (2010). Esses autores estudaram as respostas de poedeiras à ingestão de lisina e obtiveram coeficientes de variação de 2,1 e 9,8% para MO e PC, respectivamente. Para calcular o I_{opt} , foram considerados os coeficientes a e b apresentados na tabela 1.

Com base na média e desvio de $48,43 \pm 1,02 \text{ g dia}^{-1}$ para MO e $1,34 \pm 0,132 \text{ kg}$ de JARDIM FILHO et al. (2010), foi aplicada a equação para μ ($545 \text{ mg dia}^{-1} = 9,8 \times 48,43 + 52,6 \times 1,34$), e para y ($12 \text{ mg} = \text{raiz}[9,8^2 \times 1,02^2 + 52,6^2 \times 0,132^2]$). A I_{opt} para $z=1$ foi calculada em 557 mg dia^{-1} ($545+12$), para $z=2$ em 569 mg dia^{-1} ($545+24$) e para $z=3$ de 582 mg dia^{-1} ($545+36$).

Admitindo que um lote comercial apresenta os mesmos valores médios para MO e PC descritos por JARDIM FILHO et al. (2010), mas coeficiente de variação um pouco maior, em torno de 10% para MO ($48,43 \pm 4,84 \text{ g dia}^{-1}$) e PC ($1,34 \pm 0,134 \text{ kg}$), para representar uma uniformidade de 90%. Foram feitos os mesmos cálculos, permanecendo inalterada a ingestão para μ , no entanto, y foi calculado em 48 mg , e a I_{opt} para $z=1$ foi calculada em 593 mg dia^{-1} ($545+48$), para $z=2$ em 641 mg dia^{-1} ($545+96$) e para $z=3$ de 689 mg dia^{-1} ($545+144$). O aumento do coeficiente de variação de 2 para 10% na MO aumentou o fornecimento de lisina em $36,72$ e 108 mg dia^{-1} para atender 68,26%, 95,44% e 99,74% do lote, respectivamente. Nessa simulação, a ave mais produtiva do lote estaria produzindo 63 g dia^{-1} ($48,43 + 3 \times 4,84 \text{ g dia}^{-1}$) e a ingestão de

689 mg dia^{-1} suportaria essa produção ($MO = [689 - (52,6 \times 1,34)] / 9,8$). No entanto, dependendo do cenário econômico, essa medida de considerar o ótimo “biológico” não é interessante, por existir indivíduos com potencial produtivo abaixo da média e que não responderão ao extra de lisina fornecido.

Estimando a ingestão ótima econômica de aminoácidos na dieta para poedeiras

Na tabela 2, estão os resultados obtidos para ingestão ótima econômica de lisina. Os valores absolutos apresentados na tabela 2 são válidos para cenários econômicos semelhantes aos simulados aqui. Foram simulados 20 valores de L-Lisina HCl e, fixando o preço do grama de ovo em $0,0019 \text{ R\$ g}^{-1}$. Considerando o maior preço do aminoácido sintético como cenário econômico menos favorável, ainda é viável o fornecimento de $63,9 \text{ mg dia}^{-1}$, além da ingestão média da população.

Este resultado sustenta a hipótese de aumentar o fornecimento do aminoácido, além da média para atender a ingestão das aves que produzem acima da média da população. O fornecimento extra de lisina destina-se proporcionalmente às aves que ainda não atingiram sua capacidade máxima de produção. Diferentemente de outros modelos, o *Reading Model* permite corrigir o extra do aminoácido pela taxa de produção e valor marginal da produção de uma unidade de massa de ovo. A resposta adicional da população iguala a relação entre o custo de uma unidade extra do aminoácido para o retorno de uma unidade extra de massa de ovos. A resposta adicional da população pode ser atraente em alguns cenários econômicos. Resultados de pesquisas indicam que, em cenários desfavoráveis, seja pelo valor dos insumos ou uniformidade da população, a utilização do potencial próximo à média de produção da população proporciona resultados mais vantajosos do ponto de vista econômico (BASAGLIA et al., 2005; HAUSCHILD et al., 2010).

Os dados na tabela 2 foram plotados conforme mostra a figura 2. Assim, torna-se possível visualizar que o extra de lisina aumenta de forma exponencial quando o cenário econômico é favorável, ou seja, com a menor relação custo/benefício ou menor valor de k . Os valores apresentados para relação k vs $z.y$ são válidos para desvio padrão da MO e PC semelhantes aos valores considerados aqui, uma vez que o desvio padrão das variáveis (MO e PC) é específico de cada granja e devem ser consideradas para calcular o y e, posteriormente $z.y$.

A relação k vs z pode ser utilizada para auxiliar na tomada de decisão. Os valores de z podem ser entendidos como índice de

Tabela 2 - Simulação da ingestão ótima econômica de lisina digestível para poedeiras comerciais considerando diferentes preços da L-Lisina HCl 78%.

L-Lisina R\$kg ⁻¹	k	a.k	z	z.y	$\mu+z.y$
20	0,0134	0,12709	1,1403	63,9	689,9
19	0,0127	0,12074	1,1713	65,6	691,6
18	0,0120	0,11438	1,2036	67,4	693,4
17	0,0114	0,10803	1,2371	69,3	695,3
16	0,0107	0,10167	1,2721	71,2	697,2
15	0,0100	0,09532	1,3087	73,3	699,3
14	0,0094	0,08896	1,3472	75,4	701,4
13	0,0087	0,08261	1,3877	77,7	703,7
12	0,0080	0,07625	1,4307	80,1	706,1
11	0,0074	0,06990	1,4765	82,7	708,7
10	0,0067	0,06355	1,5257	85,4	711,4
9	0,0060	0,05719	1,5788	88,4	714,4
8	0,0054	0,05084	1,6368	91,7	717,7
7	0,0047	0,04448	1,7009	95,2	721,2
6	0,0040	0,03813	1,7728	99,3	725,3
5	0,0033	0,03177	1,8554	103,9	729,9
4	0,0027	0,02542	1,9529	109,4	735,4
3	0,0020	0,01906	2,0735	116,1	742,1
2	0,0013	0,01271	2,2350	125,2	751,2
1	0,0007	0,00635	2,4918	139,5	765,5

Preço do ovo 0,0019R\$g⁻¹; ingestão média de lisina $\mu=626\text{mgdia}^{-1}$; Desvio das exigências $\gamma=56\text{mg}$; O preço da L-Lisina HCl foi corrigido para concentração de Lisina.

otimização e indica a magnitude do extra de aminoácido que deve ser fornecido para cada k. A amplitude dos valores de k considerados aqui simulou cenários econômicos extremos, situações cotidianas estão contempladas na simulação.

Com fins didáticos, a próxima simulação demonstra como usar os modelos para calcular a

ingestão de lisina, de acordo com a realidade de cada granja. Consideraram-se valores para representar a variação da MO (20%) e PC (15%). Simularam-se fatores presentes nas granjas, como MO variando de 45 a 60gdia⁻¹e PC entre 1,4 a 1,8kg. Na tabela 3, são apresentados os resultados da ingestão de lisina para 4 granjas com diferentes potenciais de produção.

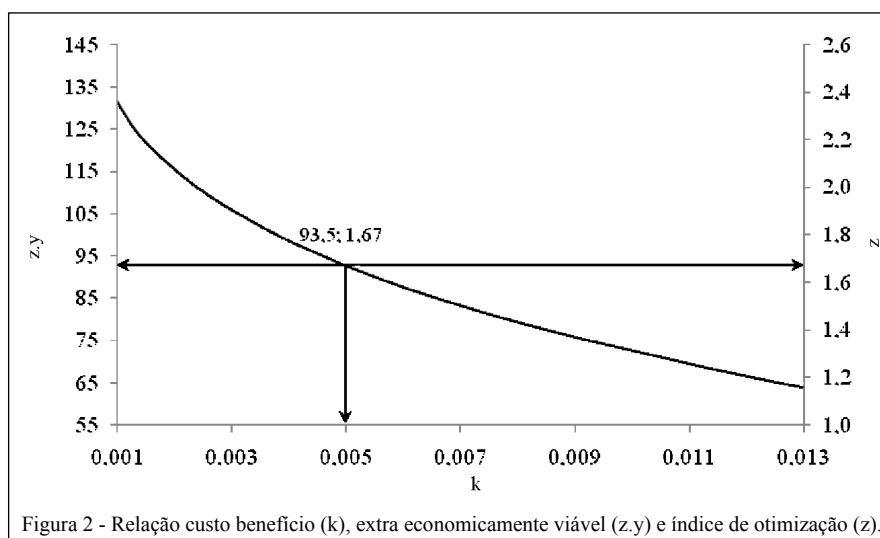


Tabela 3 - Simulação do ótimo econômico de lisina digestível para diferentes condições de produção e custo benefício¹.

Granjas	Variáveis		k			
	MO	PC	0,005	0,004	0,003	0,002
1	60	1,8	789,6	794,9	801,5	810,2
	60	1,7	782,1	787,4	794,0	802,7
	60	1,6	774,6	780,0	786,5	795,3
	60	1,5	767,1	772,5	779,0	787,8
	60	1,4	759,7	765,0	771,6	780,3
2	55	1,8	742,1	747,4	754,0	762,7
	55	1,7	734,6	739,9	746,5	755,2
	55	1,6	727,1	732,5	739,0	747,8
	55	1,5	719,6	725,0	731,5	740,3
	55	1,4	712,2	717,5	724,1	732,8
3	50	1,8	694,6	699,9	706,5	715,2
	50	1,7	687,1	692,4	699,0	707,7
	50	1,6	679,6	685,0	691,5	700,3
	50	1,5	672,1	677,5	684,0	692,8
	50	1,4	664,7	670,0	676,6	685,3
4	45	1,8	647,1	652,4	659,0	667,7
	45	1,7	639,6	644,9	651,5	660,2
	45	1,6	632,1	637,5	644,0	652,8
	45	1,5	624,6	630,0	636,5	645,3
	45	1,4	617,2	622,5	629,1	637,8

MO, massa de ovo, gdia⁻¹; PC, peso corporal, kg; k, relação custo benefício; ¹ Variabilidade para MO e PC foi de 20 e 15%, respectivamente.

Na granja 1, considerou-se uma produção de 60g.dia⁻¹ de MO e cinco faixas de PC. Observa-se que a ingestão ótima econômica muda conforme o peso corporal da ave, devido à influência da maior exigência de manutenção. Portanto, nesta simulação, fica clara a importância do significado biológico do modelo matemático, uma vez que o *Reading Model* tem como parâmetro a exigência de manutenção que permite considerar as diferenças do peso corporal das aves. A exigência de manutenção da ave é prioridade metabólica, portanto, o não atendimento da exigência de manutenção reduzirá a quantidade de aminoácido disponível para produção de ovos, que afetará consequentemente a máxima produção da ave. Esta afirmação pode ser inferida às demais granjas (2, 3 e 4).

As ingestões para o ótimo econômico apresentado na tabela 3 ratificam a hipótese de se utilizar níveis adequados para cada realidade de produção. Se o potencial da granja é de produzir 45g.dia⁻¹MO com uma ingestão de 617,2mgdia⁻¹ e, involuntariamente, essas aves passam a receberem os níveis de aminoácidos de alto potencial de produção (789,6mgdia⁻¹), na

presente simulação, algo em torno de 0,02R\$ave⁻¹. diaseria perdido na margem de lucro na granja.

As informações apresentadas aqui fornecem ao nutricionista mais uma alternativa fundamentada em princípios matemáticos, biológicos e econômicos para calcular a ingestão de aminoácidos para poedeiras comerciais. Apesar de permitir uma melhor estimativa da ingestão do aminoácido de um lote do que as abordagens de dose-resposta, outros fatores como a temperatura ambiental, atividade física (se gaiola ou piso), status sanitário não estão incluídos nesse modelo. Portanto, o uso do *Reading Model* associado aos submodelos que contemplam os efeitos de temperatura ambiental, atividade física e status sanitário, no futuro, pode ser uma ferramenta para calcular a ingestão ideal do aminoácido de acordo com os demais fatores que afetam o sistema de produção de ovos.

Foram demonstradas algumas das aplicações do *Reading Model* sucintamente. Este modelo matemático foi criado na década de 70 para estudar a relação nutriente-resposta e, quando comparado com as equações polinomiais (Os Elementos, Euclides, 300

anos a.C..) e exponenciais (MITSCHERLICH, 1909), pode ser considerado recente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *Reading Model* é uma alternativa para pesquisadores e nutricionistas calcularem a ingestão do aminoácido, bem como estudar o padrão de resposta da população em questão, além de possibilitar estimativas da ingestão do aminoácido de acordo com o cenário econômico da cada granja.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro (nº/13/25761-4) e concessão de bolsas de estudo e pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, B.A.C. et al. Exigência nutricional de lisina para galinhas poedeiras de ovos brancos e ovos marrons, no segundo ciclo de produção: 2. Características produtivas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.534-541, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35981999000300014>>. Acesso em: maio 2011. doi:10.1590/S1516-35981999000300014.
- BASAGLIA, R. et al. Programas de alimentação para poedeiras baseado em modelo para predição das exigências de proteína. **ARS Veterinária**, v.21, p.15-21, 2005. Disponível em: <<http://www.arsveterinaria.org.br/index.php/ars/article/viewFile/36/27>>. Acesso em: mar. 2011.
- BENDEZU, H.C.P. et al. Response of laying hens to amino acid intake. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: MODELLING IN PIG AND POULTRY PRODUCTION, 2013, Jaboticabal, SP. **Proceedings...** Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-FCAV/UNESP, 2013.CD.
- CURNOW, R.N. A smooth population response curve based on an abrupt threshold and plateau model for individuals. **Biometrics**, v.29, p.1-10, 1973. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2529671>>. Acesso em: maio 2011.
- FISHER, C. et al. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. **British Poultry Science**, v.14, p.469-484, 1973. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00071667308416054>>. Acesso em: maio 2011. doi:10.1080/00071667308416054.
- GOUS, R.M.; BERHE, E.T. Modelling populations for purposes of optimization. In. GOUS, R.M.; MORRIS, T.; FISHER, C. **Mechanistic modelling in pig and poultry production**. Wallingford: CABI Publishing, 2006. Chap.5, p.76-96.
- GOUS, R.M. et al. Effect of dietary energy concentration on the response of laying hens to amino acids. **British Poultry Science**, v.28, p.427-436, 1987. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00071668708416977>>. Acesso em: mar. 2011. doi:10.1080/00071668708416977.
- HAUSCHILD, L. et al. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v.4, p.714-723, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/S1751731109991546>>. Acesso em: mar. 2011. doi:10.1017/S1751731109991546.
- JARDIM FILHO, R.M. et al. Níveis de lisina digestível para poedeiras Hy-Line W-36 em produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.787-79, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000400013>>. Acesso em: mar. 2014. doi:10.1590/S1516-35982010000400013.
- LATSHAW, J.D. Lysine requirement of hens fed diets with corn as the major cereal grain. **Poultry Science**, v.55, p.2348-2353, 1976. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3382/ps.0552348>>. Acesso em: jun. 2012. doi:10.3382/ps.0552348.
- MITSCHERLICH, E.A. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. **Landw. Jahrbücher**, v.XXXVIII, p.537, 1909.
- MORRIS, T.R.; WETHLI, E. The tryptophan requirements of young laying pullets. **British Poultry Science**, v.19, p.455-466, 1978. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00071667808416501>>. Acesso em: mar. 2011. doi:10.1080/00071667808416501.
- NATHANAEL, A.S.; SELL, J.L. Quantitative measurements of the lysine requirement of the laying hen. **Poultry Science**, v.59, p.594-597, 1980. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3382/ps.059059>>. Acesso em: jun. 2012. doi:10.3382/ps.059059.
- PILBROW, P.J.; MORRIS, T.R. Comparison of lysine requirements amongst eight stocks of laying fowl. **British Poultry Science**, v.15, p.51-73, 1974. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00071667408416081>>. Acesso em: mar. 2011. doi:10.1080/00071667408416081.
- SCHMIDT, M. et al. Exigência nutricional de lisina digestível para poedeiras leves no segundo ciclo de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1029-1035, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000600012>>. Acesso em: jun. 2012. doi:10.1590/S1516-35982008000600012.
- VENTURINI, K.S. **Modelos para estimar as exigências de lisina digestível para poedeiras comerciais**. 2011. 57f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, SP.
- WETHLI, E.; MORRIS, T.R. Effects of age on the tryptophan requirement of laying hens. **British Poultry Science**, v.19, p.559-565, 1978. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00071667808416513>>. Acesso em: mar. 2011. doi:10.1080/00071667808416513.