

Modelos de superfície de resposta para predição do desempenho de frangos e elaboração de análise econômica¹

Response surface models to predict broiler performance and elaborate economic analysis

ARAUJO, Raquel Bighetti^{2*}; FARIA, Douglas Emygdio de²; FARIA FILHO, Daniel Emygdio de⁴; LIMA, César Gonçalves de³; TREVISAN, Renata Barbieri²; SOUZA, Karina Márcia Ribeiro de²; SAKAMOTO, Márcia Izumi²; SOUZA, Vanessa Nakagi de²

¹Projeto financiado pela FAPESP.

²Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Departamento de Zootecnia, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

³Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Básicas, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

⁴Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, Setor Acadêmico de Zootecnia, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil.

*Endereço para correspondência: raquel_bighetti@yahoo.com.br

RESUMO

O trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar modelos de superfície de resposta, a partir de dados da literatura, para prever o desempenho de frangos de corte machos e realizar análises econômicas. Trezentos e vinte oito estudos publicados entre 2005 e 2009 foram localizados por meio da técnica de revisão sistemática de literatura. Os dados de ganho de peso e consumo de ração foram coletados de doze estudos que atingiram os critérios de inclusão pré-estabelecidos e modelos de superfície de resposta foram ajustados tendo como variáveis independentes a temperatura ambiente, energia metabolizável da ração e idade de abate dos animais. Os modelos elaborados para ganho de peso ($R^2 = 0,88$) e consumo de ração ($R^2 = 0,87$) foram acurados, precisos e não viesados. Não houve interação energia metabolizável x temperatura, entretanto idade e temperatura apresentaram interação significativa tanto para ganho de peso quanto para consumo de ração. A interação energia x idade só foi significativa para ganho de peso. Foi possível determinar o máximo lucro, em função das variáveis incluídas no modelo, em diferentes cenários de mercado. Os modelos de superfície de resposta são eficientes para prever os resultados de desempenho de frangos de corte e úteis para otimização da lucratividade de acordo com os preços de mercado.

Palavras-chave: energia metabolizável, idade de abate, revisão sistemática de literatura, temperatura ambiente

SUMMARY

The study was carried out to elaborate response surface models through broiler performance data recovered from literature in order to predict performance and develop economic analysis. Three hundred and twenty eight studies published between 2005 and 2009 were retrieved using the systematic review of literature method. Average weight gain and feed intake data were collected from twelve studies that fulfilled the pre-established inclusion criteria, and response surface models were adjusted with metabolizable energy, environmental temperature, and slaughter age as independent variables. The models for weight gain ($R^2 = 0.88$) and feed conversion ($R^2 = 0.87$) were accurate, precise, and not biased. There was no interaction between metabolizable energy and environmental temperature on weight gain and feed intake. The independent variables age and temperature showed interaction for weight gain and feed conversion, whereas the interaction between age and metabolizable energy was detected only for weight gain. It was possible to elaborate economic analysis to determine maximum profit, as a function of the variables included in the model, in different market situations determined by changes in broiler and feed prices. Response surface models are effective to predict broiler chickens performance and allow the development of economic analysis to optimize profitability according to market prices.

Keywords: environmental temperature, metabolizable energy, slaughter age, systematic review of literature

INTRODUÇÃO

Atualmente a metodologia mais comum para se avaliar o desempenho de frangos em função dos nutrientes da dieta é a empírica. A concentração do nutriente que proporciona maior ganho de peso, melhor conversão alimentar, melhores características de carcaça ou adequados níveis plasmáticos é determinada como sendo o requerimento e expressa como uma concentração fixa na dieta. Estes valores fixos são compilados em tabelas de exigências e utilizados para formulação de custo mínimo. Entretanto, com recomendações fixas é impossível prever os efeitos da manipulação dos níveis nutricionais sobre o desempenho e características de carcaça e, portanto, realizar análises precisas de custo-benefício (Rondón & Waldroup, 2002a).

Neste contexto, os modelos matemáticos são uma importante ferramenta e alternativa para ajudar na tomada de decisões em situações que integram aspectos biológicos e econômicos, possibilitando simulações em computadores. Desta forma, além de permitirem ações mais rápidas frente às alterações do mercado, ainda diminuem a necessidade de reavaliação de respostas zootécnicas.

Rondón et al. (2002b) destacam a importância da escolha das variáveis envolvidas nos modelos, para que haja maior aplicabilidade. Os níveis de energia metabolizável da ração (Guevara, 2004; Mendes et al., 2004; Barbosa et al., 2008), idade de abate (Pesti & Miller, 1997), e temperatura ambiente (Faria Filho, 2006) são reconhecidamente determinantes tanto para o desempenho quanto para a rentabilidade da produção avícola. Em adição, aves de diferentes sexos respondem de maneira distinta às

variáveis citadas acima (Leandro et al., 2003; Mendes et al., 2004).

Dentre os possíveis modelos que podem ser utilizados, os modelos de superfície de resposta são de grande aplicabilidade prática, pois permitem modelar mais de um fator simultaneamente e testar a interação entre os fatores envolvidos na pesquisa (Freund & Littell, 2000). Além disso, para se obter uma compilação consistente das pesquisas publicadas, pode-se utilizar a técnica científica de revisão sistemática de literatura (Castro et al., 2002).

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver modelos de superfície de resposta, a partir de dados de literatura, em função das variáveis independentes, energia metabolizável da ração, temperatura ambiente e idade de abate, para predição do desempenho produtivo de frangos de corte machos e elaboração de análises econômicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura segundo Castro et al. (2002), por meio de buscas eletrônicas com as palavras-chave *temperatura ambiente e frangos de corte* nas bases de dados *Cab Abstracts*, *Pubmed*, *Isi Web of Knowledge*, *Scielo*, *Medline*, *Science Direct* e *Google Acadêmico* para o período de 2005 a 2009. Foram incluídos na análise os estudos que: testaram o efeito da temperatura ambiente (pós-eclosão) sobre o desempenho, utilizando temperatura controlada e constante; envolveram frangos de corte machos de linhagem comercial; indicaram a idade, número de repetições, número de aves por repetição e níveis nutricionais empregados; apresentaram numericamente os valores de

desempenho em tabelas, não incluídos artigos que apresentaram apenas o peso corporal; tiveram duração de pelo menos uma semana; não realizaram condicionamento térmico no período pré-experimental fora da temperatura termoneutra; não fossem artigos de revisão ou baseados em dados coletados a partir da revisão sistemática de literatura.

Para os artigos que atingiram os critérios de inclusão foram coletadas as médias de consumo de ração (g/ave/dia) e ganho de peso corporal (g/ave/dia), dos tratamentos que receberam ração e água *ad libitum*. Estes dados foram armazenados no Microsoft Excel® com os respectivos dados de temperatura (°C), sexo, idade média ([idade inicial + idade de abate] / 2; dias), energia metabolizável (kcal/kg de ração), número de repetições e de aves por repetição. Artigos que apresentaram como tratamentos a variação de fatores não considerados para a elaboração dos modelos, como proteína bruta, tiveram coletados apenas os dados do tratamento controle.

Em seguida, foram ajustados modelos de superfície de resposta, utilizando o procedimento RSREG do programa estatístico SAS® (Freund & Littell, 2000). O modelo proposto foi o seguinte:

$$Y_i = \beta_0 X_{i0} + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i1}^2 + \beta_3 X_{i2} + \beta_4 X_{i2}^2 + \beta_5 X_{i3} + \beta_6 X_{i3}^2 + \beta_7 X_{i1} X_{i2} + \beta_8 X_{i1} X_{i3} + \beta_9 X_{i2} X_{i3} + \varepsilon_i$$

Sendo que:

Y_i = consumo de ração (g/ave/dia) ou ganho de peso (g/ave/dia) da i-ésima amostra ($i = 1, 2 \dots n$);

$X_{i0} = 1$ (intercepto);

X_{i1} = idade média (dias);

X_{i2} = temperatura ambiente (°C);

X_{i3} = energia metabolizável (kcal/kg de ração);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9$ = parâmetros de regressão estimados

ε_i = erro aleatório associado a i-ésima observação.

Os dados foram submetidos à análise prévia para identificar a possível presença de dados discrepantes, testar a homogeneidade de variâncias e normalidade dos erros (Freund & Littell, 2000). Foram mantidos no modelo final o intercepto e os termos significativamente não nulos ao nível de significância $\alpha = 5\%$, além dos polinômios de primeiro grau das variáveis independentes que apresentaram interações significativas. A conversão alimentar pôde ser estimada pela divisão do consumo de ração pelo ganho de peso.

Os modelos desenvolvidos foram testados quanto à acurácia, precisão e viés, utilizando o programa Statistica 6.0® (2001). A acurácia verificou se existiu diferença entre os valores preditos pelo modelo e os valores observados. Para testar a acurácia, foi realizado um teste t para a hipótese de que a diferença entre os valores observados (na literatura) e os preditos pelo modelo é nula. A precisão verificou se o modelo prediz bem a distribuição em torno da média, sendo avaliada pelo gráfico dos erros padronizados *versus* valores observados. O viés representa falhas sistemáticas que o modelo pode apresentar e foi avaliado pelo gráfico dos valores preditos *versus* observados (Faria Filho et al., 2008).

A análise econômica foi realizada por meio da elaboração de um programa no Microsoft Excel® para, com o auxílio do otimizador Solver, determinar o nível de energia metabolizável, temperatura de criação e idade de abate que promovem o máximo lucro ou desempenho a partir da fase de crescimento (21 dias de idade), de acordo com variáveis de mercado (preço da ração e frango vivo). As equações desenvolvidas para consumo de ração e ganho de peso

foram utilizadas no cálculo da receita, custo e lucro, definidos como:

Receita *frango vivo* = (peso do frango vivo) x (preço pago pelo kg do frango vivo).

Custo = [(consumo de ração x preço da ração) / 0,70]. Assim, considerou-se que o custo de alimentação representa 70% do custo total de produção do frango vivo.

Lucro = receita *frango vivo* – custo.

O preço da ração e do frango vivo, assim como o peso no 21^o dia de idade e consumo de ração de 1 a 21 dias, foram estabelecidos como variáveis de entrada a serem definidas pelo usuário. A simulação para obtenção do maior lucro foi realizada considerando uma condição normal de mercado com o custo médio da ração de R\$0,584/kg (o preço real variou conforme o nível energia metabolizável da ração, segundo a equação $y = 6,8555.(10^{-7})x^2 - 3,8283.(10^{-3})x + 5,8636$) e preço pago pelo kg do frango de R\$1,50. Três situações desfavoráveis de mercado foram elaboradas: (A) preço da ração 10% maior; (B) preço pago pelo frango vivo 10% menor; (A+B) as duas situações anteriores ocorrendo simultaneamente. Essas situações de mercado foram aplicadas para otimização da idade de abate que promove máximo lucro para frangos criados em diferentes temperaturas, considerando a energia metabolizável a partir da fase de crescimento de 3100kcal/kg; e para a otimização dos níveis de energia metabolizável que geram máximo lucro quando se varia a idade de abate, considerando a temperatura de criação de 25°C. Adicionalmente, otimizou-se o ganho de peso e a conversão alimentar para as condições anteriormente descritas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 328 artigos nas bases de dados, sendo que 12 atenderam aos critérios de inclusão: Faria Filho et al. (2005); Gonzalez-Esquerria & Leeson (2005); Pelicano et al. (2005); Garriga et al. (2006); Faria Filho et al. (2006); Oliveira et al. (2006); Faria Filho et al. (2007); Lu et al. (2007); Rosa et al. (2007); Siqueira et al. (2007); Gu et al. (2008); Daneshyar et al. (2009). Os trabalhos envolveram frangos das linhagens Ross[®], Cobb[®], Arbor Acres[®] e Avian Farms[®], com idade entre 1 e 56 dias. A temperatura de criação variou entre 15 e 33°C e os níveis de energia metabolizável entre 2565 e 3245kcal/kg de ração.

Foram obtidas as estimativas dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para ganho de peso e consumo de ração de frangos de corte machos (Tabela 1). Os resultados são ilustrados para uma situação hipotética (frangos com 42 dias de idade, criados em ambiente com temperatura de 25°C e alimentados com ração contendo 3100kcal/kg), na qual se variou um dos três fatores, e manteve-se os demais constantes (Figura 1). A fase de simulação foi a de crescimento e terminação (a partir de 21 dias de idade), devido ao fato de que o conjunto de dados obtido foi mais representativo para esta faixa de idade. Dessa forma, considerou-se o consumo de ração de 1 a 21 dias e peso corporal aos 21 dias de idade de 1100g e 844g, respectivamente.

Com relação à temperatura de criação, melhores resultados de ganho de peso e conversão alimentar foram verificados com 20,2 e 19,1°C, respectivamente (Figura 1-1). Portanto, as variáveis podem ser otimizadas concomitantemente por meio da manipulação da temperatura

discordando de Faria Filho et al. (2008). Para estes autores, a temperatura ideal de criação é dependente da variável que se pretende otimizar, sendo mais alta para otimização da conversão alimentar (25,4°C) que para ganho de peso

(22,1°C). Segundo Cobb (2008a), a temperatura de criação ideal aos 42 dias de idade é de 18°C, e a média indicada para o período de 21 a 42 dias de idade é de 21,2°C, ou seja, próximas às obtidas na simulação proposta.

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros do modelo de superfície de resposta para frangos de corte machos

Variáveis	Ganho de peso			Consumo de Ração		
	Parâmetros	EP ¹	P ²	Parâmetros	EP	P
Intercepto	-33,0116	70,5602	0,6427	13008,8	3800,8	0,0019
Efeito linear						
Energia (EMAn)	-0,0439	0,0241	0,0765	-8,7510	2,4594	0,0014
Temperatura (TP)	11,5900	2,1205	<0,0001	18,5749	4,4413	0,0003
Idade (ID)	0,4205	2,2947	0,8556	23,3588	3,9137	<0,0001
Efeito quadrático						
EMAn	-	-	>0,05	0,0014	0,0004	0,0013
TP	-0,2020	0,0407	<0,0001	-0,3067	0,0866	0,0014
ID	-0,0742	0,0149	<0,0001	-0,2297	0,0509	0,0001
Interação						
EMAn x TP	-	-	>0,05	-	-	>0,05
EMAn x ID	0,0023	0,0009	0,0154	-	-	>0,05
TP x ID	-0,1091	0,0185	<0,0001	-0,1929	0,0611	0,0038
R ² *	0,88			0,87		
N**	44			36		

¹Erro padrão. ²Probabilidade. *R² = coeficiente de determinação. **N = número de observações.

As idades de abate que otimizaram a conversão alimentar e o ganho de peso foram, respectivamente, 35 e 49 dias (Figura 1-2). Como esperado, o ganho de peso foi maior para frangos abatidos mais tardiamente. De acordo com Cobb (2008b), o máximo ganho de peso diário ocorre por volta dos 52 dias de idade. Entretanto, Sakomura et al. (2005) determinaram parâmetros de crescimento de frangos de corte Ross[®] de 1 a 70 dias de idade e concluíram que a taxa de crescimento (g/dia) é máxima aos 42 dias de idade para machos. A conversão alimentar piora de

acordo com o aumento da idade (Cobb, 2008b), o que justifica o fato de que a idade que resulta em melhor conversão alimentar é menor que àquela que otimiza o ganho de peso. Os níveis de energia metabolizável que otimizaram ganho de peso e conversão alimentar foram 3230 e 3100kcal/kg, respectivamente (Figura 1-3). A melhora no ganho de peso com o aumento da energia na dieta está de acordo com outros autores (Pesti & Miller, 1997; Leandro et al., 2003; Silva et al., 2003; Sakomura et al., 2004). Embora o nível de energia

metabolizável que resulta no maior ganho de peso tenha sido próximo ao do NRC (1994), que recomenda 3200kcal/kg para a fase de crescimento, foi superior aos recomendados por Rostagno et al. (2005) de 21 a 33 dias de idade (3100kcal/kg) e de 34 a 42 dias (3150kcal/kg). Dessa forma, a energia

metabolizável determinada para obtenção da melhor conversão alimentar estaria mais próxima às recomendações de Rostagno et al. (2005). Tais resultados indicam que a definição do nível de energia depende da variável resposta que se pretende otimizar.

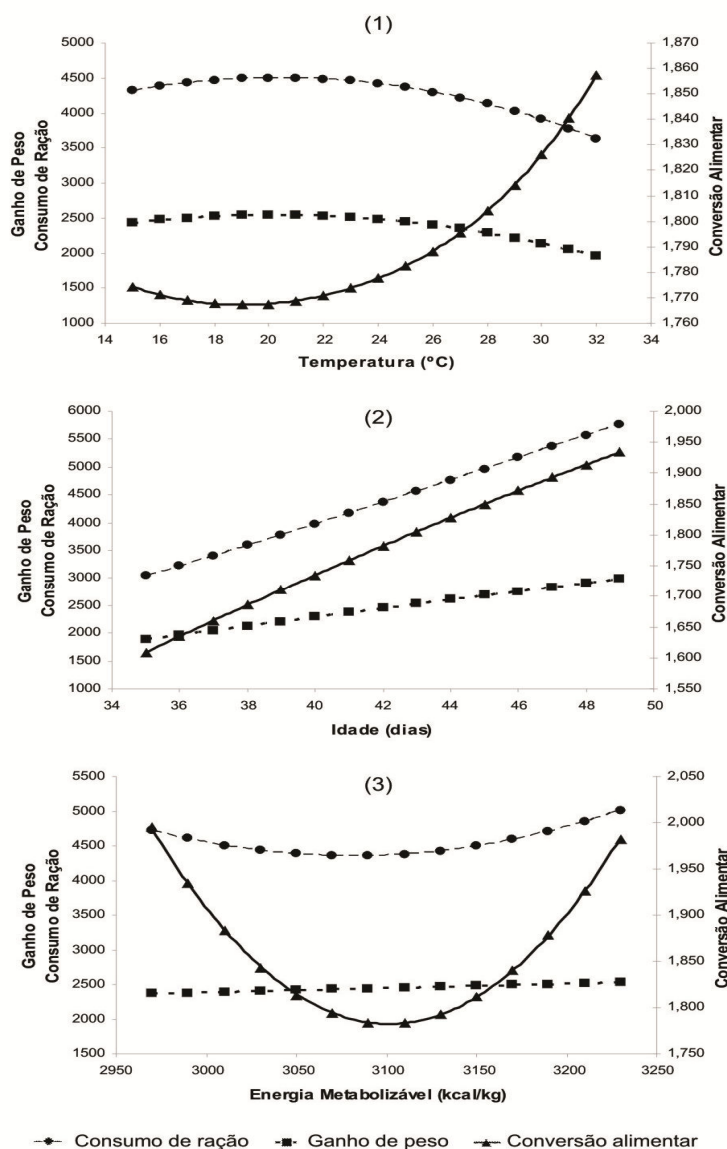


Figura 1. Ganho de peso (g), consumo de ração (g) e conversão alimentar (g/g) preditos em função da temperatura de criação (1), idade abate (2) e energia metabolizável da ração (3) para frangos de corte de 42 dias de idade criados em 25°C e alimentados com 3100 kcal/kg, em que se variou um dos três fatores mantendo-se os outros dois constantes

A temperatura ambiente e os níveis de energia metabolizável não apresentaram interação significativa sobre ganho de peso e consumo de ração (Tabela 1). Esta ausência de dependência entre os fatores indica que o efeito de determinado nível de energia é o mesmo para frangos criados em ambiente termoneutro ou quente. Se por um lado há certa resistência dos nutricionistas em elevar o nível de energia da ração em temperaturas de criação elevadas devido ao incremento calórico, por outro lado parece pertinente estabelecer um adensamento nutricional para recuperar a fração do desempenho que é perdida em função do baixo consumo de ração quando frangos são expostos ao calor (Faria Filho, 2006).

Houve interação significativa temperatura ambiente x idade de abate sobre consumo de ração (Figura 2-1) e ganho de peso (Figura 2-2). Observou-se que frangos com 35 dias de idade submetidos à temperatura ambiente de 32°C apresentaram menor consumo de ração (Figura 2-1). Este resultado era esperado, pois sabe-se que aves mais jovens consomem menos ração. Ao mesmo tempo, durante a fase de crescimento e terminação (após 21 dias de idade) frangos são muito susceptíveis ao calor devido à redução na relação área/volume, diminuindo a ingestão de alimento para minimizar a produção de calor metabólico. Além disso, à medida que os frangos crescem, o empenamento se completa, dificultando a manutenção da homeostasia térmica quando da exposição ao calor (Faria Filho, 2006). Pelo mesmo motivo, o ganho de peso foi mais negativamente afetado pelo estresse por calor em aves com idade avançada (Figura 2-2).

A energia metabolizável e idade de abate interagiram significativamente

sobre o ganho de peso (Figura 2-3). No gráfico de superfície de resposta observou-se que frangos de corte, machos, com 49 dias de idade apresentaram maior ganho de peso quando fornecidos altos níveis de energia, entretanto, esse efeito foi gradativamente desaparecendo com a diminuição da idade. Esses resultados estão de acordo com Rostagno et al. (2005), Cobb (2008b) e NRC (1994), que recomendam aumento dos níveis de energia na ração com o avanço da idade dos frangos. Longo et al. (2006) também verificaram aumento nas exigências de energia metabolizável (kcal/dia) de machos e fêmeas AgRoss 308[®] com o aumento da idade até 49 dias, e decréscimo no período de 50 a 56 dias na exigência total em decorrência da menor exigência para ganho com a diminuição na taxa de ganho de peso (g/dia) a partir dessa idade.

Os coeficientes de determinação encontrados na Tabela 1 indicaram que os modelos ajustados explicam de forma satisfatória a variação no conjunto de dados. Apenas 12 e 13% da variação não foram explicadas para ganho de peso e consumo de ração, respectivamente. A falta de ajuste pode ser atribuída aos fatores não inseridos no modelo, tais como níveis de proteína bruta, suplementação de aminoácidos, densidade de criação, umidade relativa do ar, dentre outros que não foram controlados (Faria Filho et al., 2008).

No teste t, realizado para testar a acurácia, ou seja, a hipótese de que a diferença entre os valores observados e os preditos pelo modelo é nula, não se recusou essa hipótese tanto para ganho de peso ($P=0,9993$), quanto para consumo de ração ($P=0,1492$), indicando boa acurácia do modelo.

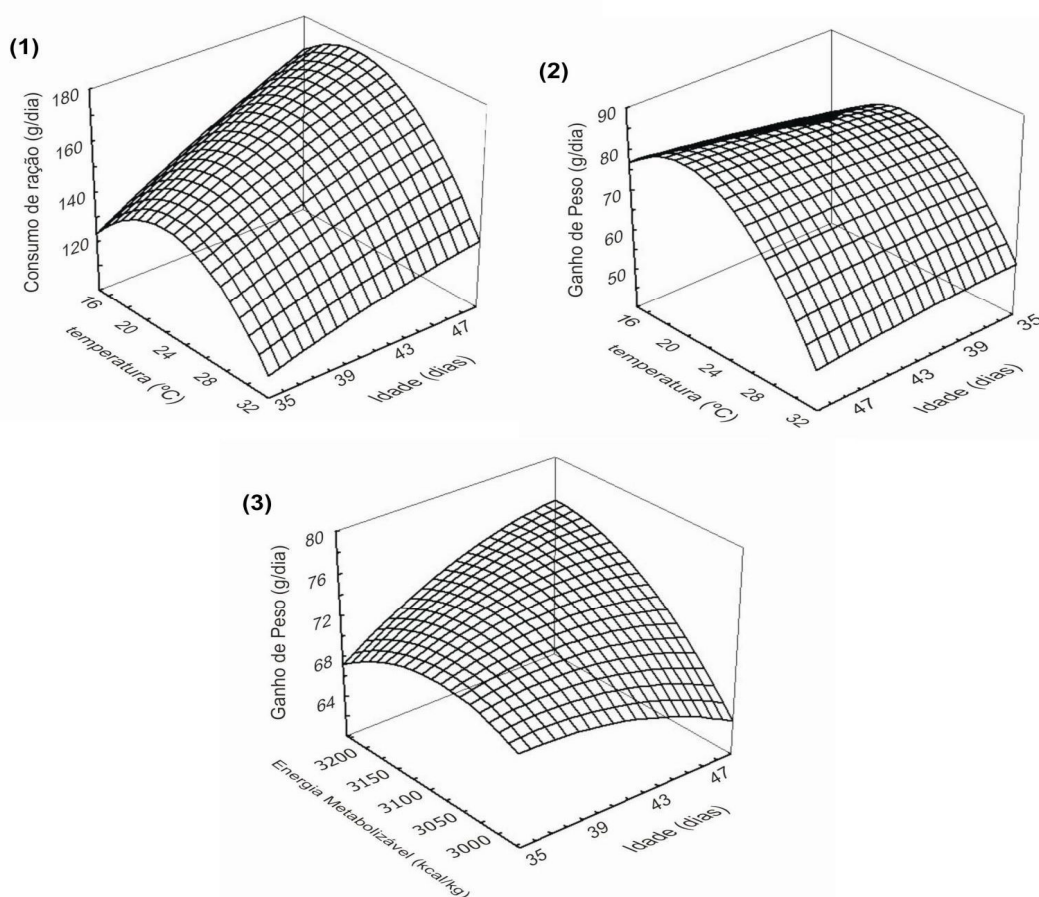


Figura 2. Interação temperatura ambiente x idade de abate sobre consumo de ração (1) e ganho de peso (2); e energia metabolizável x idade de abate sobre ganho de peso (3) para frangos de corte (modelo de superfície de resposta)

Além de prever a média (acurácia), o modelo deve prever bem a distribuição em torno da média (precisão) (Faria Filho et al., 2008). Os erros estudantilizados apresentaram satisfatória distribuição em torno da média para ambas as variáveis analisadas, demonstrando que os modelos são satisfatoriamente precisos (Figuras 3-1 e 3-3).

Os gráficos dos valores preditos pelos modelos *versus* valores observados permitem a verificação da presença de vieses (Figuras 3-2 e 3-4). Para um modelo não viesado esse gráfico deve ter o aspecto de uma linha reta (Faria

Filho et al., 2008). Dessa forma, a linha preenchida representa a situação ideal, enquanto que a pontilhada é a reta estimada. Observou-se que, tanto para ganho de peso quanto para consumo de ração, houve boa aproximação entre as linhas, o que indica a ausência de vieses.

Cabe ressaltar que os modelos matemáticos derivados de vários conjuntos de dados, como os obtidos por meio da revisão sistemática de literatura, são, teoricamente, mais precisos. Entretanto, Faria Filho et al. (2008) sugerem que esses modelos sejam testados em outros conjuntos de

dados, de preferência em dados obtidos a campo, para sua completa validação. No presente estudo, os testes de acurácia, precisão e viés foram realizados com mesmos dados utilizados na elaboração dos modelos, o que não caracteriza uma situação ideal.

Quanto à análise econômica, verificou-se que a idade de abate que promoveu melhor conversão alimentar, em função da temperatura de criação; e maior lucro, em função da temperatura de criação e para todas as condições de mercado, foi igual a 35 dias de idade.

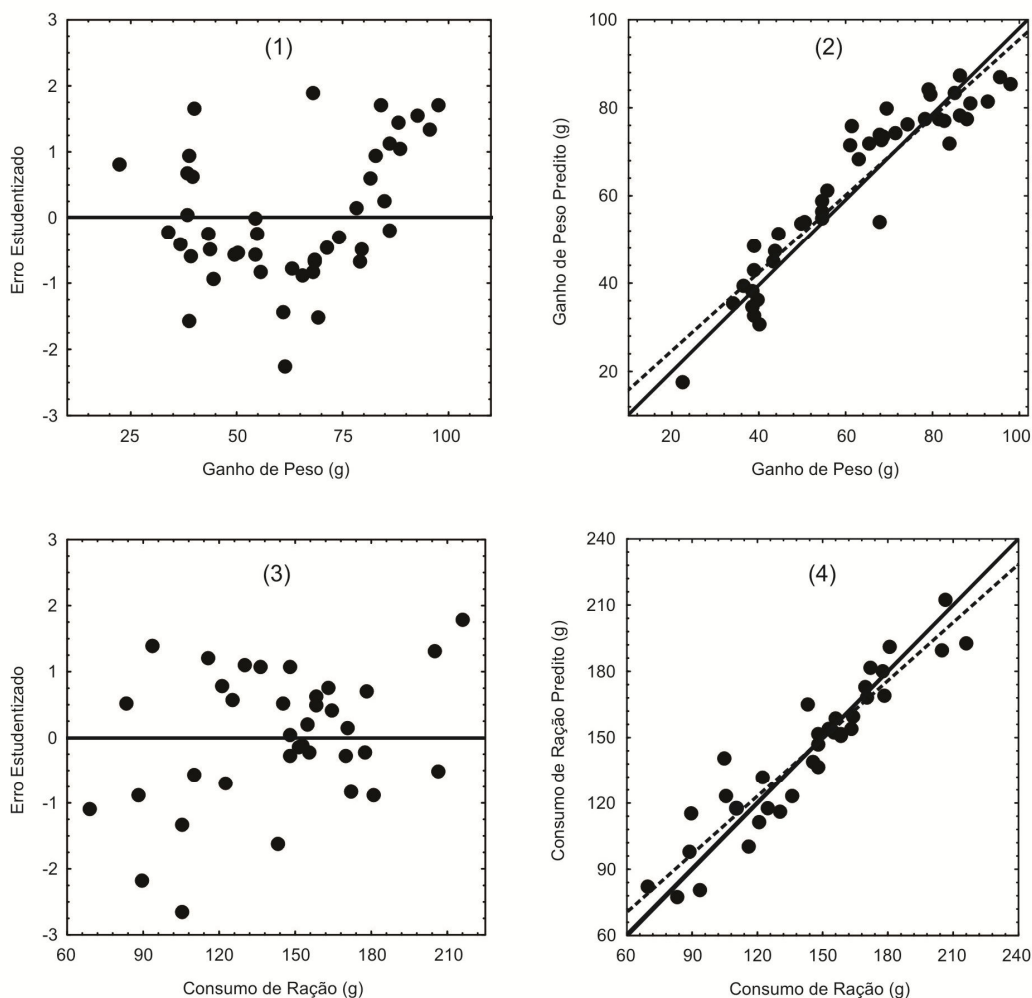


Figura 3. Verificação da precisão (1 e 3) e de viés (2 e 4) dos modelos de superfície de resposta elaborados para ganho de peso e consumo de ração de frangos de corte machos

Como mencionado anteriormente, era esperado que frangos de corte abatidos com menor idade apresentassem melhor conversão alimentar e, provavelmente, devido a este resultado, foram

mais lucrativos nos cenários de mercado propostos. Para os valores de lucratividade preditos, observou-se que, com o aumento da temperatura o lucro por ave diminuiu, como resultado do

efeito do estresse por calor no desempenho dos animais (Figura 4). Ao considerar as situações de mercado, a redução de 10% no preço do frango resultou em maior impacto na lucratividade que o aumento de 10% no

preço da ração. Além disso, quando as duas situações desfavoráveis de mercado ocorrem simultaneamente há um expressivo e negativo impacto econômico.

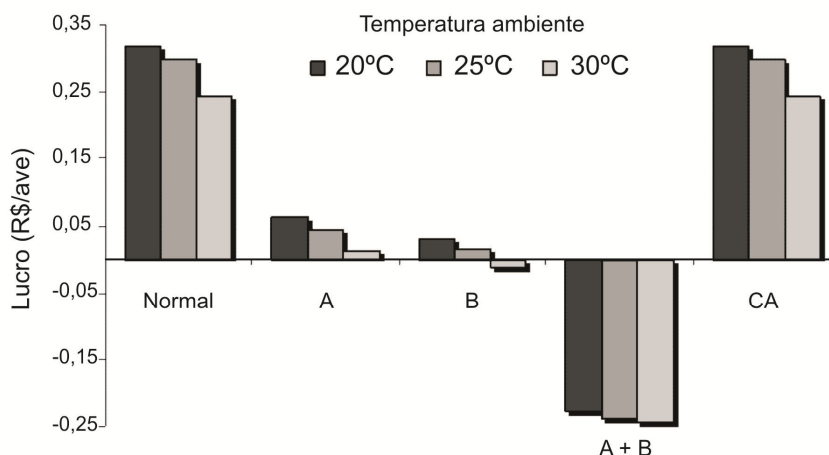


Figura 4. Otimização da lucratividade para as situações de mercado Normal, A = preço da ração 10% maior, B = preço do frango 10% menor, e A+B = situações A e B ocorrendo simultaneamente; e lucro predito para otimização da conversão alimentar (CA) de frangos de corte machos abatidos aos 35 dias de idade

Para otimização do ganho de peso, verificou-se que frangos criados em 30°C devem ser abatidos com 39 dias de idade, ou seja, mais precocemente que frangos criados em 25 ou 20°C que devem ser abatidos aos 45 e 49 dias, respectivamente. Estes resultados concordam com os de Faria Filho et al. (2008), que observaram que frangos criados em 32°C devem ser abatidos com menor idade para otimização do desempenho em comparação com os criados em 22 ou 27°C. É interessante observar que a idade que promove máximo ganho de peso é superior à que promove otimização do lucro e da conversão alimentar.

Quanto aos níveis de energia metabolizável que otimizaram a lucratividade, de acordo com a idade de abate e situações de mercado; e o desempenho, de acordo com a idade de abate (Figura 5), verificou-se ligeiro aumento no nível de energia metabolizável com o aumento da idade de abate para a otimização do lucro, em todas as situações de mercado, assim como para a otimização da conversão alimentar. Entretanto, para a otimização do ganho de peso a energia metabolizável obtida foi máxima, dentro da faixa de variação estabelecida para as simulações a partir da fase de crescimento, independente da idade de abate.

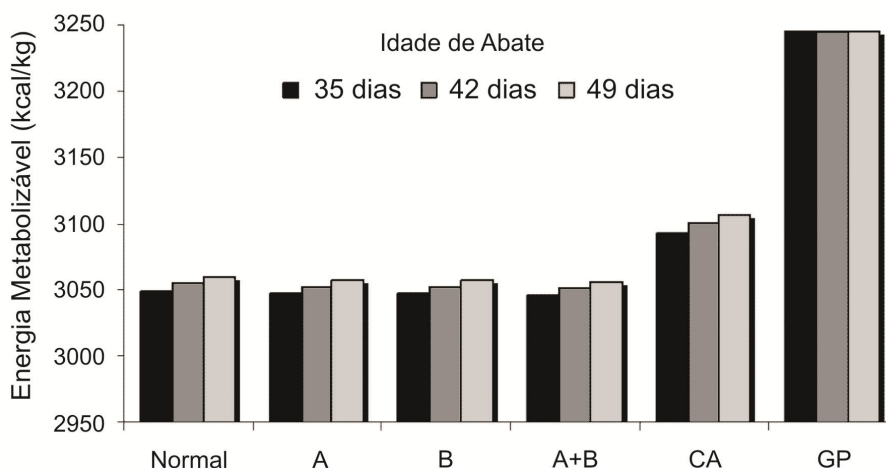


Figura 5. Níveis de energia metabolizável que otimizam a lucratividade de acordo com a idade de abate para as situações de mercado Normal, A = preço da ração 10% maior, B = preço do frango 10% menor, e A+B = situações A e B ocorrendo simultaneamente; e níveis de energia metabolizável que otimizam a conversão alimentar (CA) e ganho de peso (GP) de acordo com a idade de abate

Observou-se também que a energia determinada para otimização da lucratividade foi praticamente a mesma, independente da situação de mercado, e que tais níveis energéticos são menores que aqueles que otimizam a conversão alimentar e, principalmente, o ganho de peso. Faria Filho et al. (2008), que desenvolveram modelos de superfície envolvendo proteína, idade de abate e temperatura, observaram que as situações de mercado impostas também não alteraram a exigência de proteína para lucro máximo e que para otimização do ganho de peso e conversão alimentar tal exigência também foi maior do que a obtida para otimização da lucratividade.

Dessa forma, pode-se concluir que os modelos de superfície de resposta são eficientes para prever os resultados de ganho de peso e conversão alimentar, além de serem úteis na determinação dos níveis de energia metabolizável, temperatura de criação e idade de abate

que otimizam a lucratividade em diferentes situações de mercado.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, F.J.V.; LOPES, J.B.; FIGUEIRÊDO, A.V.; ABREU, M.L.T.; DOURADO, L.R.B.; FARIAS, L.A.; PIRES, J.E.P. Níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.5, p.849-855, 2008.

CASTRO, A.A.; SACONATO, H.; GUIDUGLI, F.; CLARK, A.O.C. **Curso de revisão sistemática e metanálise**. São Paulo: LED-DIS/UNIFESP, 2002. Disponível em: <<http://www.virtual.epm.br/cursos/metanalise>> Acesso em: 02/07/2008.

COBB. **Guía de manejo del pollo de engorde**. COBB 500, 2008a. 65p.

COBB. **Suplemento de crescimento e nutrição para frangos de corte**. COBB 500, 2008b. 6p.

DANESHYAR, M.; KERMANSHAHI, H.; GOLIAN, A. Changes of biochemical parameters and enzyme activities in broiler chickens with cold-induced ascites. **Poultry Science**, v.88, n.1, p.106-110, 2009.

FARIA FILHO, D.E.; ROSA, P.S.; VIEIRA, B.S.; MACARI, M.; FURLAN, R.L. Protein levels and environmental temperature effects on carcass characteristics, performance, and nitrogen excretion of broiler chickens from 7 to 21 days of age. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.7, n.4, p.247-253, 2005.

FARIA FILHO, D.E.; ROSA, P.S.; FIGUEIREDO, D.F.; DAHLKE, F.; MACARI, M.; FURLAN, R.L. Dietas de baixa proteína no desempenho de frangos criados em diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.101-106, 2006.

FARIA FILHO, D.E.; CAMPOS, D.M.B.; ALFONSO-TORRES, K.A.; VIEIRA, B.S.; ROSA, P.S.; VAZ, A.M.; MACARI, M.; FURLAN, R.L. Protein levels for heat-exposed broilers: performance, nutrients digestibility, and energy and protein metabolism. **International Journal of Poultry Science**, v.6, n.3, p.187-194, 2007.

FARIA FILHO, D.E.; ROSA, P.S.; TORRES, K.A.A.; MACARI, M.; FURLAN, R.L. Response surface models to predict broiler performance and applications for economic analysis. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.10, n.2, p.131-138, 2008.

FREUND, R.J.; LITTELL, R.C. **SAS[®] System for Regression**. 4.ed. Cary, NC.: SAS Institute Inc, 2000. 235p.

GARRIGA, C.; HUNTER, R.R.; AMAT, C.; PLANAS, J.M.; MITCHELL, M.A.; MORETÓ, M. Heat stress increases apical glucose transport in the chicken jejunum. **American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v.290, p.195-201, 2006.

GONZALEZ-ESQUERRA, R.; LEESON, S. Effects of acute versus chronic heat stress on broiler response to dietary protein. **Poultry Science**, v.84, n.10, p.1562-1569, 2005.

GU, X.H.; LI, S.S.; LIN, H. Effects of hot environment and dietary protein level on growth performance and meat quality of broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.21, n.11, p.1616-1623, 2008.

GUEVARA, V.R. Use of Nonlinear Programming to Optimize Performance Response to Energy Density in Broiler Feed Formulation. **Poultry Science**, v.83, p.147-151, 2004.

LEANDRO, N.S.M.; CAFÉ, M.B.; STRINGHINI, J.H.; FILHO, R.M.; MOURA, K.A.; SILVA JÚNIOR, R.P. Plano nutricional com diferentes níveis de proteína bruta e energia metabolizável na ração para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.3, p.620-631, 2003.

LONGO, F.A.; SAKOMURA, N.K.; RABELLO, C.B.; FIGUEIREDO, A.N.; FERNANDES, J.B.K. Exigências energéticas para manutenção e para o crescimento de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.119-125, 2006.

LU, Q.; WEN, J.; ZHANG, H. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. **Poultry Science**, v.86, n.6, p.1059-1064, 2007.

MENDES, A.A.; MOREIRA, J.; OLIVEIRA, E.G.; GARCIA, E.A.; ALMEIDA, M. I.M.; GARCIA, R.G. Efeitos da energia da dieta sobre desempenho, rendimento de carcaça e gordura abdominal de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.2300-2307, 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirement of Poultry**. 9.ed. Washington: National Academic Press, 1994. 155p.

OLIVEIRA, G.A.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; CECON, P.R.; VAZ, R.G. M.V.; ORLANDO, U.A.D. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1398-1405, 2006.

RONDÓN, E.O.O.; MURAKAMI, A.E.; SAKAGUTI, E.S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.4, n.1, p. 199- 207, 2002a.

RONDÓN, E.O.O.; WALDROUP, P.W. Models to estimate amino acid requirements for broiler chickens: a review. **International Journal of Poultry Science**, v.1, n.5, p.106-113, 2002b.

PELICANO, E.R.L.; BERNAL, F.E.M.; FURLAN, R.L.; MALHEIROS, E.B.; MACARI, M. Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar protéica ou energética sobre o ganho de

peso e crescimento ósseo de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.3, p.353-360, 2005.

PESTI, G.M.; MILLER, B.R. Modelling for precision nutrition. **Journal of Applied Poultry Research**, v.6, p.483-494, 1997.

ROSA, O.S.; FARIA FILHO, D.E.; DAHLKE F.; VIEIRA, B.S.; MACARI, M.; FURLAN, R.L. Performance and carcass characteristics of broiler chickens with different growth potential and submitted to heat stress. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.9, n.3, p.181-186, 2007.

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. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

SAKOMURA, N.K.; LONGO, F.A.; RABELLO, C.B.; WATANABE, K.; PELÍCIA K.; FREITAS, E.R. Efeito do nível de energia metabolizável da dieta no desempenho e metabolismo energético de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1758-1767, 2004.

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

SILVA, J.H.V.; ALBINO, L.F.T.; NASCIMENTO, A.H. Estimativas da composição anatômica da carcaça de

frangos de corte com base no nível de proteína da ração e peso da carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.344-352, 2003.

SIQUEIRA, J.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE J.L.; CECON, P.R.; BALBINO, E.M.; OLIVEIRA, W.P. Níveis de lisina digestível da ração e temperatura ambiente para frangos de corte em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.2054-2062, 2007. Supl.

STATISTICA. STATISTICA®. **StatSfot**. Version release 6.0 for windows, Tulsa, 2001.

Data de recebimento: 21/03/2011

Data de aprovação: 02/08/2011