

## Inferência bayesiana da conversão alimentar em diferentes experimentos animais

[*Bayesian Inference of feed conversion in different animal experiments*]

R.M. Rossi<sup>1</sup>, E.N. Martins<sup>1</sup>, P.S. Lopes<sup>2</sup>, F.F. Silva<sup>2</sup>, M.I. Marcondes<sup>2</sup>, G.C. Caetano<sup>3</sup>,  
H.C. Ferreira Júnior<sup>3</sup>, L.S. Knupp<sup>4</sup>, M.A. Ferreira<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Maringá – Maringá, PR

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa – UFV – Viçosa, MG

<sup>3</sup>Aluno de pós-graduação – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Viçosa, MG

<sup>4</sup>Aluno de pós-graduação – UFPB, PB

<sup>5</sup>Aluno de graduação – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Viçosa, MG

### RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a conversão alimentar (CA) por meio da inferência bayesiana considerando-se análises bivariadas. Foram utilizadas diferentes espécies animais de experimentos conduzidos na Universidade Federal de Viçosa, no estado de Minas Gerais, Brasil. O modelo proposto mostrou ser apropriado, uma vez que possibilitou a detecção de diferenças significativas entre níveis de fatores não detectados por procedimentos frequentistas em ANOVA tradicional, principalmente em pequenas amostras. No experimento com codornas, evidenciou-se que aves cujos níveis de proteína bruta eram de 23% e 29%, respectivamente, para machos e fêmeas, apresentaram uma melhor CA, de  $2,83 \pm 0,03$  e  $2,66 \pm 0,03$ , respectivamente. No experimento com frangos, no grupo sem o aditivo antibiótico, a inclusão de 0,02% de extrato de ésteres naturais foi o que promoveu a melhor CA ( $1,72 \pm 0,01$ ), e, de modo geral, o uso de antibiótico e a ausência de ésteres naturais promoveram CA de  $1,63 \pm 0,02$ . Em caprinos, verificou-se que o aleitamento, seja com leite de cabra ou de vaca, promove igualmente uma melhor CA, respectivamente, no grupo de 60 e 90 dias, de  $1,29 \pm 0,14$  e  $1,79 \pm 0,11$ , sugerindo que o aleitamento seja feito até os 60 dias. Em suínos, a dieta com maior nível de energia metabolizável e aminoácidos foi a que promoveu a melhor CA ( $2,86 \pm 0,07$ ), quando comparada a uma dieta com nível nutricional mais baixo. Já o uso de enzimas na dieta com menor nível energético e de aminoácidos proporcionou resultado intermediário ( $2,90 \pm 0,07$ ). Em bovinos, observou-se que o uso de 1% de concentrado na dieta promoveria uma melhor CA estimada de  $7,33 \pm 0,35$  entre os Nelores e que essa promoção seria de  $7,40 \pm 0,58$  entre os cruzados com o uso de 2% de concentrado na dieta.

Palavras-chave: desempenho nutricional, inferência, MCMC, multivariada, produção animal

### ABSTRACT

*The aim of this study was to evaluate the feed conversion (CA) by Bayesian inference in bivariate considering analyzes in real and simulated data. Different animal species experiments conducted at the Universidade Federal de Viçosa, state of Minas Gerais, Brazil are used. The proposed model proved to be appropriate once it enabled the detection of significant differences between levels of factors not detected by frequentist procedures with traditional ANOVA, especially in small samples. In the experiment with quails, it became clear that the birds' brute protein levels were 23% and 29%, respectively, for males and females, which presented better CA,  $2.83 \pm 0.03$  and  $2.66 \pm 0.03$ , respectively. In the experiment with chickens, the group without additive antibiotic, including 0.02% extract natural esters promoted the best CA ( $1.72 \pm 0.01$ ) and in general antibiotic absence of esters natural promoted  $1.63 \pm 0.02$  of the CA. In goats, it has been found that feeding milk from cows or goats also promotes better CA, respectively, in groups milked up to 60 and 90 days, being  $1.29 \pm 0.14$  and  $1.79 \pm 0.11$ , suggesting that suckling done until 60 days. Pigs fed the highest level of metabolizable energy and*

Recebido em 5 de fevereiro de 2015

Aceito em 25 de agosto de 2015

E-mail: rrossi@uem.br

aminoacids promoted the best CA ( $2.86 \pm 0.07$ ) compared to a diet with lower nutritional level. But the use of enzymes in the diet with lower energy level and amino acid provided intermediate result ( $2.90 \pm 0.07$ ). In cattle, it was observed that the use of 1% concentrate diet, CA, promotes a better estimate of  $7.33 \pm 0.35$  between Nellore and this promotion would be  $7.40 \pm 0.58$  between the cross breeds using 2% concentrate diet.

**Keywords:** animal production, inference, nutritional performance, MCMC, multivariate

## INTRODUÇÃO

De forma rotineira, um indicador do desempenho nutricional animal é produzido pela ponderação do consumo de alimento e pelo ganho de peso, índice denominado conversão alimentar. Guidoni (1994) apresenta diferentes métodos de se analisar o desempenho nutricional animal. O autor alerta sobre os pressupostos de normalidade a respeito das análises diretas da conversão alimentar; complementa que uma transformação do tipo logarítmico na resposta seria uma alternativa plausível e conclui que a análise do consumo de alimento e do ganho de peso complementada pela função canônica se mostrou o método mais indicado e sensível na discriminação de tratamentos sobre o desempenho nutricional animal.

Muitos métodos estatísticos foram propostos com o objetivo de identificar aquele que seria o mais indicado e/ou sensível para discriminar tratamentos sobre o desempenho nutricional animal. Estão elencadas entre essas categorias as análises de variância paramétricas univariada (ANOVA) e multivariada dos índices bionutricionais (MANOVA) (Euclides Filho *et al.*, 2002; Detmann *et al.*, 2005; Gesualdi Jr. *et al.*, 2006), a por meio de análise de componentes principais (Barbosa *et al.*, 2005), a por meio da transformação logarítmica da relação CA, a ordinária e/ou ponderada de índices bioeconômicos (Guidoni, 1994; Siqueira *et al.*, 2011), a análise de covariâncias, a análise de regressão linear e não linear assumindo erros normais via abordagem frequentista (Regazzi, 2003; Band *et al.*, 2005; Siqueira *et al.*, 2011; Detmann *et al.*, 2012) e erros não normais via abordagem bayesiana em procedimento MCMC e INLA (Rue *et al.*, 2009; Rossi *et al.*, 2013 e 2014b) e, mais recentemente, assumindo erros normais bivariados via abordagem bayesiana em procedimento MCMC (Rossi *et al.*, 2014a).

Os procedimentos bayesianos destacam-se por inúmeras vantagens, entre elas a possibilidade de

se utilizarem informações prévias (provenientes de experimentos anteriores, experiência do pesquisador, metanálise, etc.) a respeito do parâmetro de interesse e de se inferir *a posteriori* de modo mais coerente e realístico com a variável de interesse, além de ser flexível em situações reais, a ponto de calibrar o modelo a cada nova informação. Também não impõe restrições de normalidade nos dados e abrange praticamente todo o conhecimento estatístico de análise, desde uma simples inferência de média até um complexo modelo de melhoramento genético, repleto de parâmetros, efeitos fixos e aleatórios, estruturas de correlações entre indivíduos (relação parental) ou entre observações longitudinais, entre outros.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a conversão alimentar por meio de um modelo bayesiano bivariado, alternativo ao frequentista, caracterizado pelo consumo de alimento e ganho de peso, aplicado a diferentes experimentos animais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Procedimentos que envolvem variáveis aleatórias contínuas, medidas na mesma unidade experimental e mutuamente correlacionadas, pressupõem a multinormalidade, e, conseqüentemente, a análise multivariada é sugerida como técnica apropriada.

Considerando  $Y_1$  a quantidade de alimento ingerido pelo animal e  $Y_2$  a correspondente transformação produzida (ganho de peso), a medida natural de eficiência relativa, isto é, a conversão alimentar (CA), é traduzida

matematicamente por (equação 1):  $CA = \frac{Y_1}{Y_2}$ . O

modelo multivariado, na sua forma linear, considerando o vetor de respostas  $Y$  e o vetor de covariáveis  $X$ , é dado por (equação 2):

$Y = X\beta + \varepsilon$ , tal que  $\varepsilon \sim N_p(\emptyset, \Sigma \otimes I_n)$  é

normal  $p$ -variada, em que  $\otimes$  indica o *produto de Kronecker*.

Para a obtenção das estimativas dos parâmetros do modelo, seguiram-se os procedimentos bayesianos descritos por Rossi et al. (2014a).

A obtenção das distribuições marginais condicionais *a posteriori* para os parâmetros foi por meio do pacote *BRugs* do programa *R*. Como valores iniciais para os parâmetros, foram considerados valores próximos às estimativas frequentistas. Foram gerados 50.000 valores em um processo *MCMC* (Monte Carlo em Cadeia de Markov), considerando um período de descarte amostral de 10.000 valores iniciais. A amostra final foi tomada com saltos de tamanho 10, de modo a eliminar a autocorrelação. Cada parâmetro gerou uma cadeia final de tamanho 4.000, cuja convergência foi verificada por meio do pacote *coda* do *R*, usando-se o critério de Heidelberger e Welch. Os parâmetros dos modelos, assim como os efeitos dos contrastes entre níveis de fatores/tratamentos, foram considerados significativos se seus respectivos intervalos com 95% de credibilidade para as médias *a posteriori* não incluíssem o valor zero.

A título de comparação, para a realização do procedimento frequentista, optou-se pela estatística  $F$  do teste de Roy multivariado (Ferreira, 2008) (congruente com a função discriminante canônica (Guidoni, 1994; Detmann et al., 2005)). Para se realizarem as comparações múltiplas em nível de 5% de significância, optou-se pelo teste de Tukey. Tais procedimentos foram realizados por meio do programa *R*, utilizando-se as funções *manova* para as análises de variância, *LTukey* (livraria *laercio*) para os testes de comparações múltiplas entre as médias dos tratamentos.

Os dados foram obtidos nos experimentos *I* a *V* (descritos a seguir), conduzidos nas instalações do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), situada na cidade de Viçosa, região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais, Brasil.

*Experimento I (codornas)*: as aves usadas nesse experimento foram provenientes da linhagem de corte UFV1 do Programa de Melhoramento de Aves, geradas de 102 reprodutores e 204 matrizes, com uma proporção sexual de um

macho para duas fêmeas. Os animais foram alimentados com dietas com níveis de proteína bruta variando de 22 a 29% e 2.900kcal de energia metabolizável, sendo distribuídos em 24 boxes, com seis boxes para cada nível (%) de proteína bruta (PB) na ração, em delineamento inteiramente ao acaso. O experimento foi conduzido no período de agosto a setembro de 2013, sendo realizadas duas eclosões (fases), necessárias devido à limitação do número de boxes, sendo assim dispostos por quatro níveis de proteína bruta na ração, respectivamente, na primeira fase ( $n \cong 19$  animais por boxe, sendo 193 machos e 176 fêmeas): 22; 24; 26 e 28%, e na segunda fase ( $n \cong 27$  animais por boxe, 324 machos e 276 fêmeas): 23; 25; 27 e 29%. Foram coletados o consumo de ração e o peso corporal das aves, semanalmente, do nascimento aos 35 dias de idade.

*Experimento II (frangos)*: foram utilizados 1.840 pintos de corte machos da linhagem comercial Cobb 500, com peso médio ao nascimento de 43 gramas, os quais foram observados até os 42 dias de idade. O período de coleta dos dados foi de julho a agosto de 2012. Foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso, com oito tratamentos no esquema fatorial  $2 \times 4$ , com e sem aditivo antibiótico (AA: surmax 10% (avilamicina), na concentração de 10ppm) e quatro níveis de inclusão do extrato de ésteres naturais (EEN: 0; 0,02; 0,22 e 0,42%), com 10 repetições e 23 aves por unidade experimental (boxe). Ao final do experimento, as aves, as rações e as sobras de ração de cada repetição foram pesadas para a avaliação das variáveis de interesse dos animais submetidos aos diferentes tratamentos. Informações adicionais do experimento podem ser encontradas em Ferreira Jr. et al. (2013).

*Experimento III (caprinos)*: foram utilizados 48 cabritos machos de linhagem leiteira, das raças Saanen e Pardo Alpina, recém-nascidos, e o estudo foi conduzido durante o período de janeiro a maio de 2011. Os animais foram distribuídos segundo um delineamento fatorial  $4 \times 2$ , sendo um dos fatores o tipo de alimentação: leite de cabra (LC), leite de vaca (LV), colostro fermentado de vaca (CF) e Lactal<sup>®</sup> (LAC-sucedâneo comercial), e o outro o grupo de abate: 60 e 90 dias de idade, totalizando seis unidades experimentais por fator e por nível. Os cabritos que receberam LC e LV não passaram

pelo período de adaptação aos substitutos do leite. Entretanto, os cabritos que receberam CF e LAC passaram por período de adaptação (Knupp, 2012). O Lactal<sup>®</sup> foi diluído utilizando-se uma relação de nove partes de água para uma do sucedâneo (recomendação do fabricante). Dessa forma, o período experimental teve início no 17º dia de vida, simultaneamente ao início da oferta de concentrado e feno (Tifton 85), indo até o 60º dia (grupo de abate 1) ou até o 90º dia (grupo de abate 2), quando os animais foram abatidos para análises posteriores. Informações adicionais do experimento podem ser encontradas em Knupp (2012).

*Experimento IV (suínos):* foram utilizados 42 suínos machos castrados, selecionados geneticamente para deposição de carne magra na carcaça, e o experimento foi conduzido no período de fevereiro a abril de 2014. Os animais, com peso médio inicial de 85,36±4,10kg, foram distribuídos em delineamento experimental em blocos ao acaso, com três dietas: dieta 1: controle (C) – ração formulada para atender as exigências nutricionais dos animais, com 3.280kcal de energia metabolizável por kg de ração e 0,829% de lisina digestível; dieta 2: controle negativo (CN) – ração com 3.231kcal de energia metabolizável por kg de ração e 0,791% de lisina digestível; dieta 3: CN+Enzima (CNE) – ração com 3.231kcal de energia metabolizável por kg de ração e 0,791% de lisina digestível, com suplementação de 0,05% do complexo enzimático (protease+carboidrase; ALLTECH<sup>®</sup>) em 14 repetições por tratamento (dieta), com um animal por baia, sendo cada baia considerada uma unidade experimental. As rações fornecidas diariamente foram pesadas durante todo o período experimental, e os animais pesados individualmente por meio de brincos numerados para acompanhamento do peso individual, no início, aos 14 e aos 42 dias, permitindo, dessa forma, determinar o ganho de peso médio diário, o consumo de ração médio diário e a conversão alimentar.

*Experimento V (bovinos):* foram utilizados 36 bovinos castrados de 18 meses de idade, observados no período de maio a setembro de 2007 (12 Nelore, 12 F<sub>1</sub>Nelore × Angus e 12 F<sub>1</sub> Nelore × Simental). Os animais foram divididos em duas dietas (1 ou 2% do peso corporal em

oferta de concentrado), em um delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 3×2. Os concentrados foram formulados para que a mesma ração fosse ofertada para ambas as dietas, mudando apenas a relação milho e ureia/sulfato de amônia, assim mantendo as dietas isoproteicas. O experimento teve duração total de 131 dias, divididos em 30 dias de adaptação às condições experimentais, 14 dias de adaptação à dieta (segunda adaptação), três períodos de 28 dias, mais três dias para o abate dos animais. Após a segunda adaptação, foi feita a avaliação no desempenho dos animais por um período de 74 dias, sendo duas pesagens intermediárias (ao final de 28 e 56 dias) realizadas para monitoramento do desempenho dos animais. Informações adicionais do experimento podem ser encontradas em Marcondes, Valadares Filho e Oliveira (2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os resultados apresentados (Tab. 1) foram discutidos separadamente por experimento.

*E<sub>r</sub>-Codornas:* o experimento, no presente estudo, realizado com codornas de corte, mostrou que aves eclodidas, independentemente da fase, têm níveis de exigência de proteína bruta (PB), respectivamente, para machos e fêmeas, de 22% e 28%. Esses níveis promovem uma melhor conversão alimentar de valores, respectivamente, de 2,83 e 2,88 (machos) e de 2,66 e 2,67 (fêmeas). Entretanto, Corrêa *et al.* (2007a) citam que os níveis de proteína bruta preconizados de 24% para codornas de postura em crescimento não atendem às exigências de ganho de peso das codornas de corte. Corrêa *et al.* (2007b), ao analisarem aves machos e fêmeas entre 22 e 42 dias de idade, encontraram a melhor conversão alimentar (4,85) com PB de 22%, e entre sete e 42 dias de idade, conversão alimentar de 3,73 com PB de 28%.

Corrêa *et al.* (2008), ao utilizarem níveis de PB entre 23 e 33%, encontraram os melhores valores de conversão alimentar em 1,79 e 3,09, respectivamente, aos 21 e 42 dias de idade, ambos para uma PB de 33%.

Veloso *et al.* (2012), em trabalho similar, recomendam que, independentemente da fase de crescimento, dietas com maiores níveis de energia metabolizável (em torno de 3.000kcal/kg) e proteína bruta (acima de 26%) promovem a obtenção do melhor desempenho nas características avaliadas.

Muniz (2013), ao analisar codornas de corte com idade entre um e 14 dias de idade, encontrou valores crescentes para a conversão alimentar, entre 1,41 e 1,97, ao considerar níveis de energia metabolizável decrescentes entre 3.200 e 2.600kcal/kg, e concluiu, por estimativas de efeito quadrático, que o melhor desempenho e a maior viabilidade das aves seriam alcançados com o uso de 2.818kcal/kg e PB de 12,25%. Esses estudos evidenciam que as exigências nutricionais são distintas considerando-se diferentes fatores como sexo e fase de crescimento.

*E<sub>II</sub>-Frangos:* observaram-se aumentos significativos na conversão alimentar quando se aumentam os níveis percentuais de extrato de ésteres naturais, EEN, considerando-se o uso de aditivos antibióticos, AA, a saber: 1,63 e 1,71, respectivamente, para 0 e 0,42% de EEN. No grupo caracterizado pela ausência de AA, o nível 0,02% de EEN foi o que promoveu significativamente a melhor conversão alimentar (1,72). Foram observadas reduções significativas em cada nível de EEN, com o uso de AA. De modo geral, a melhor conversão alimentar (1,63) se deu com o uso de AA e 0% de EEN. Ferreira Jr. *et al.* (2013) comentam que o uso de EEN nos níveis acima de 0,22% parece ser excessivo e que tais níveis apresentaram comportamento de toxicidade interferindo nas variáveis CR, GP e CA dos frangos de corte, enquanto o resultado de desempenho dessas aves obtido com o uso de 0,02% indica que esse aditivo adicionado nas dietas de frangos de corte favoreceu o consumo de ração e o ganho de peso das aves, vindo a ser um aditivo potencial ante os antibióticos promotores de crescimento para a indústria avícola por ter a finalidade de controlar agentes prejudiciais, permitindo a melhora dos processos de digestão e a absorção de nutrientes. Os autores complementam que estudos com o uso da inclusão do extrato de éster natural em níveis menores e mais próximos do percentual obtido como melhor resultado são recomendados, o que

corroboros os resultados aqui encontrados para a conversão alimentar, especificamente.

A prática de uso de novos conceitos e tecnologias na nutrição de aves tem sido cada vez mais comum, apesar de que, desde a década de 50, já se conhecia seu potencial. Pessoa *et al.* (2012) destacam, dentre esses conceitos, o uso da proteína ideal, da injeção de nutrientes *in ovo*, da alimentação dos animais em fases e da suplementação de aditivos como prebióticos, probióticos, enzimas, extratos herbais e minerais orgânicos nas dietas das aves. Os autores também apresentam uma breve revisão bibliográfica de estudos envolvendo a conversão alimentar e outras variáveis nutricionais de frangos de corte e evidenciam que os resultados são divergentes, sendo sugestivo ter cautela na prática.

*E<sub>II</sub>-Caprinos:* os resultados apontam que o aleitamento de cabritos, tanto com leite de cabra quanto com leite de vaca, promove igualmente uma melhor conversão alimentar, nos grupos de 60 e 90 dias, de 1,29 e 1,79, respectivamente. Observam-se aumentos significativos na conversão alimentar quando se opta por aleitamento tardio, até 90 dias, piorando o desempenho animal para todo tipo de alimentação, exceto do colostro fermentado (CF), cujo aumento não foi significativo, e, assim, esses resultados não corroboram aqueles apresentados originalmente (Knupp, 2012) e obtidos por meio de procedimento frequentista na avaliação da eficiência alimentar ( $EA=1/CA$ ). Em contrapartida, o referido autor relata maior desenvolvimento dos estômagos e vísceras e, com isso, maior capacidade de aproveitamento dos alimentos sólidos, quando esses animais são comparados com animais em aleitamento até 60 dias. Além disso, conclui que o leite de vaca promove maior desenvolvimento do trato digestório e mais rápida transformação funcional do rúmen. Com isso, os cabritos conseguem aproveitar os nutrientes oriundos de dietas vegetais mais precocemente. Cabe ressaltar também que o fator custo de produção é algo preponderante, principalmente quando o interesse do produtor é diminuí-lo. Uma dieta pode ser mais barata e pior, no aspecto nutricional proporcionar um desenvolvimento menor, mas ser a mais indicada para tal situação.

*E<sub>IV</sub>-Suínos:* observaram-se valores nas conversões alimentares crescentes e significativamente diferentes, de 2,86 (0,07), 2,90 (0,07) e 3,01 (0,13), respectivamente, para as dietas controle, controle negativo+enzima e controle negativo. A dieta controle, formulada com o maior nível energético (3.280kcal/kg e 0,829% de lisina digestível), apresentou-se como sendo significativamente a que melhor promove a conversão alimentar nos suínos analisados, quando comparada a uma dieta com menor nível (CN). Já o uso de enzimas na dieta com menor nível energético e aminoácidos (CNE) proporcionou resultado intermediário e mais próximo da dieta controle.

Vinokurovas (2009), em experimento com suínos tratados com dietas à base de farelo de gérmen de milho desengordurado (FGMD), com e sem adição de complexo enzimático, observou, nas fases de crescimento e terminação dos animais, valores de conversões alimentares variando de 3,36±0,17 a 4,33±0,14, sendo o menor valor referente ao grupo tratado com ração à base de FGMD com adição de complexo enzimático *on top*, significativamente diferente ao maior valor (pior desempenho), referente ao grupo tratado com ração à base de FGMD sem adição de complexo enzimático reformulado (com menores níveis nutricionais), não havendo diferenças significativas entre os demais grupos. O autor concluiu que a adição do complexo enzimático em dietas à base de FGMD para suínos em crescimento e terminação melhorou o ganho médio de peso, além de apresentar melhor eficiência econômica, viabilizando seu uso, o que corrobora trabalhos de Park *et al.* (2003), Nery *et al.* (2005) e Araque *et al.* (2009). Esse último relatou aumento de eficiência em 16% com o uso do complexo na alimentação de suínos. Pacheco *et al.* (2012), ao utilizarem FGMD em suínos, observaram aumentos no consumo de ração com adição de ácido fítico (fitase), entretanto não encontraram melhoras significativas para os parâmetros de desempenho e, em especial, para a conversão alimentar, na fase de terminação dos animais.

*E<sub>V</sub>-Bovinos:* apesar de a raça Nelore apresentar uma menor conversão alimentar (7,33), considerando um nível de 1% de concentrado na dieta, sua média *a posteriori* não diferiu significativamente do cruzamento Nelore × Simental (7,76). Já para 2% de concentrados na dieta, ambos os cruzamentos Nelores × Angus e Nelore × Simental apresentaram valores de conversão alimentar em torno de 7,40, significativamente menores (melhores) que a raça pura (8,58). Considerando cada grupo genético individualmente, observou-se diminuição significativa nas conversões alimentares entre os cruzados e aumento na raça Nelore, indicando que o aumento do nível de concentrado de 2% para essa raça seria prejudicial para obtenção de uma melhor conversão alimentar e sugestivo para os cruzamentos. Marcondes, Valadares Filho e Oliveira (2011) comentam que, apesar da não significância observada entre os grupos genéticos para algumas eficiências, os animais cruzados são sempre mais eficientes que zebuínos puros pelo índice bionutricional, porém o mesmo fato não se evidencia para a eficiência alimentar em todos os casos, confirmando a diferença de interpretação entre as duas formas de avaliação de eficiência. É possível que a maior eficiência dos animais mestiços esteja associada não somente à composição genética propriamente dita, mas, uma vez que esses animais tiveram maiores desempenhos, aos gastos energéticos com manutenção se diluem, fazendo com que se tornem mais eficientes.

Um comparativo entre os métodos bayesiano e frequentista, utilizados nos presentes dados analisados, cujos resultados apresentados, respectivamente, nas Tab. 1 e 2, evidencia significativas diferenças nas tomadas de decisões. Rossi *et al.* (2014) apontam para tais riscos no uso do procedimento tradicional (univariado e/ou bivariado) se pressupostos não são verificados, além de outros fatores, como baixo tamanho amostral e alta variabilidade nos dados.

Tabela 1. Médias (desvios-padrão) *a posteriori* para a conversão alimentar para todos os níveis de fatores associados aos experimentos (E) de I a V

Experimento	Grupos	Níveis dos fatores/tratamentos			
E <sub>I</sub> – Codornas	<i>Proteína bruta - 1ª fase</i>				
		22%	24%	26%	28%
	Machos	<sup>A</sup> 2,88 <sup>c</sup> (0,03)	<sup>A</sup> 2,96 <sup>b</sup> (0,06)	<sup>A</sup> 2,99 <sup>a</sup> (0,05)	<sup>A</sup> 2,86 <sup>c</sup> (0,04)
	Fêmeas	<sup>B</sup> 2,72 <sup>c</sup> (0,03)	<sup>B</sup> 2,80 <sup>a</sup> (0,05)	<sup>B</sup> 2,76 <sup>b</sup> (0,03)	<sup>B</sup> 2,67 <sup>d</sup> (0,04)
	<i>Proteína bruta - 2ª fase</i>				
		23%	25%	27%	29%
Machos	<sup>A</sup> 2,83 <sup>b</sup> (0,03)	<sup>A</sup> 2,94 <sup>a</sup> (0,06)	<sup>A</sup> 2,91 <sup>a</sup> (0,04)	<sup>A</sup> 2,91 <sup>a</sup> (0,04)	
Fêmeas	<sup>B</sup> 2,68 <sup>b</sup> (0,03)	<sup>B</sup> 2,72 <sup>abc</sup> (0,08)	<sup>B</sup> 2,74 <sup>a</sup> (0,04)	<sup>B</sup> 2,66 <sup>c</sup> (0,03)	
E <sub>II</sub> – Frangos	<i>Extrato de ésteres naturais</i>				
		0%	0,02%	0,22%	0,42%
	Com AA	<sup>B</sup> 1,63 <sup>d</sup> (0,02)	<sup>B</sup> 1,66 <sup>c</sup> (0,02)	<sup>B</sup> 1,68 <sup>b</sup> (0,01)	<sup>B</sup> 1,71 <sup>a</sup> (0,01)
	Sem AA	<sup>A</sup> 1,73 <sup>c</sup> (0,02)	<sup>A</sup> 1,72 <sup>d</sup> (0,01)	<sup>A</sup> 1,78 <sup>a</sup> (0,01)	<sup>A</sup> 1,75 <sup>b</sup> (0,01)
E <sub>III</sub> – Caprinos	<sup>1</sup> Alimentação				
		LC	LV	CF	LAC
	60 dias	<sup>B</sup> 1,29 <sup>c</sup> (0,14)	<sup>B</sup> 1,31 <sup>c</sup> (0,10)	<sup>A</sup> 1,75 <sup>a</sup> (1,16)	<sup>B</sup> 1,45 <sup>b</sup> (0,12)
	90 dias	<sup>A</sup> 1,82 <sup>b</sup> (0,14)	<sup>A</sup> 1,79 <sup>b</sup> (0,11)	<sup>A</sup> 2,01 <sup>a</sup> (0,15)	<sup>A</sup> 1,97 <sup>a</sup> (0,13)
E <sub>IV</sub> – Suínos	<sup>2</sup> Dietas				
		C	CN	CNE	
		2,86 <sup>c</sup> (0,07)	3,01 <sup>a</sup> (0,13)	2,90 <sup>b</sup> (0,07)	
E <sub>V</sub> – Bovinos	<i>Raça</i>				
		<i>Nelore</i>	<i>Nelore×Angus</i>	<i>Nelore×Simental</i>	
	Conc. 1%	<sup>B</sup> 7,33 <sup>b</sup> (0,35)	<sup>A</sup> 7,81 <sup>a</sup> (0,25)	<sup>A</sup> 7,76 <sup>b</sup> (0,14)	
	Conc. 2%	<sup>A</sup> 8,58 <sup>a</sup> (1,14)	<sup>B</sup> 7,41 <sup>ab</sup> (0,29)	<sup>A</sup> 7,40 <sup>b</sup> (0,58)	

Letras minúsculas distintas, na linha, à direita, e letras maiúsculas distintas, na coluna, à esquerda, indicam médias *a posteriori* diferentes por meio de contrastes bayesianos ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup>LC: leite de cabra, LV: leite de vaca, CF: colostro fermentado de vaca e LAC: sucedâneo comercial.

<sup>2</sup>C: controle, CN: controle negativo e CNE: controle negativo+enzima.

Tabela 2. Estimativas frequentistas das médias (desvios-padrão) de conversão alimentar para todos os níveis de fatores associados aos experimentos (E) de I a V

Experimento	Grupos	Níveis dos fatores/tratamentos			
E <sub>I</sub> – Codornas	<i>Proteína bruta - 1ª fase</i>				
		22%	24%	26%	28%
	Machos	<sup>A</sup> 2,89 <sup>a</sup> (0,22)	<sup>A</sup> 3,01 <sup>a</sup> (0,39)	<sup>A</sup> 3,01 <sup>a</sup> (0,30)	<sup>A</sup> 2,89 <sup>a</sup> (0,28)
	Fêmeas	<sup>B</sup> 2,73 <sup>ab</sup> (0,19)	<sup>B</sup> 2,84 <sup>a</sup> (0,30)	<sup>B</sup> 2,78 <sup>ab</sup> (0,25)	<sup>B</sup> 2,69 <sup>b</sup> (0,24)
	<i>Proteína bruta - 2ª fase</i>				
		23%	25%	27%	29%
Machos	<sup>A</sup> 2,84 <sup>b</sup> (0,24)	<sup>A</sup> 3,03 <sup>a</sup> (0,54)	<sup>A</sup> 2,95 <sup>ab</sup> (0,36)	<sup>A</sup> 2,94 <sup>ab</sup> (0,36)	
Fêmeas	<sup>B</sup> 2,69 <sup>b</sup> (0,22)	<sup>A</sup> 2,88 <sup>a</sup> (0,58)	<sup>B</sup> 2,78 <sup>ab</sup> (0,35)	<sup>B</sup> 2,68 <sup>b</sup> (0,25)	
E <sub>II</sub> – Frangos	<i>Extrato de ésteres naturais</i>				
		0%	0,02%	0,22%	0,42%
	Com AA	<sup>B</sup> 1,64 <sup>c</sup> (0,05)	<sup>B</sup> 1,66 <sup>bc</sup> (0,05)	<sup>B</sup> 1,68 <sup>ab</sup> (0,02)	<sup>B</sup> 1,71 <sup>a</sup> (0,03)
	Sem AA	<sup>A</sup> 1,73 <sup>ab</sup> (0,04)	<sup>A</sup> 1,72 <sup>b</sup> (0,03)	<sup>A</sup> 1,78 <sup>a</sup> (0,03)	<sup>A</sup> 1,75 <sup>ab</sup> (0,04)
E <sub>III</sub> – Caprinos	<sup>1</sup> Alimentação				
		LC	LV	CF	LAC
	60 dias	<sup>B</sup> 1,29 <sup>a</sup> (0,15)	<sup>B</sup> 1,32 <sup>a</sup> (0,14)	<sup>A</sup> 1,81 <sup>a</sup> (0,59)	<sup>B</sup> 1,46 <sup>a</sup> (0,13)
	90 dias	<sup>A</sup> 1,82 <sup>a</sup> (0,23)	<sup>A</sup> 1,80 <sup>a</sup> (0,18)	<sup>A</sup> 2,01 <sup>a</sup> (0,13)	<sup>A</sup> 1,97 <sup>a</sup> (0,17)
E <sub>IV</sub> – Suínos	<sup>2</sup> Dietas				
		C	CN	CNE	
		2,87 <sup>a</sup> (0,23)	3,06 <sup>a</sup> (0,44)	2,91 <sup>a</sup> (0,23)	
E <sub>V</sub> – Bovinos	<i>Raça</i>				
		<i>Nelore</i>	<i>Nelore×Angus</i>	<i>Nelore×Simental</i>	
	Conc. 1%	<sup>A</sup> 9,27 <sup>a</sup> (3,21)	<sup>A</sup> 7,42 <sup>a</sup> (0,67)	<sup>A</sup> 7,65 <sup>a</sup> (1,49)	
	Conc. 2%	<sup>A</sup> 7,45 <sup>a</sup> (0,83)	<sup>A</sup> 7,85 <sup>a</sup> (0,49)	<sup>A</sup> 7,77 <sup>a</sup> (0,30)	

Letras minúsculas distintas, na linha, à direita, e letras maiúsculas distintas, na coluna, à esquerda, indicam médias diferentes por meio da estatística *F* do teste de Roy multivariado (MANOVA) e de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## CONCLUSÕES

O modelo bayesiano bivariado é flexível e pode ser aplicado sem restrições. Além disso, proporcionou a detecção de diferenças significativas entre níveis de fatores, mesmo que em pequenas amostras. Portanto, mostrou-se eficiente para a avaliação da conversão alimentar animal.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ARAQUE, H.; CONTRERAS, E.; COLINA, Y. Performance response to Allzyme® SSF in finishing pigs. In: ALLTECH'S ANNUAL SYMPOSIUM ON SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE FEED AND INDUSTRY, 25, 2009. *Proceedings...* Lexington: Alltech, 2009.
- BAND, G.O.; GUIMARÃES, S.E.F.; LOPES, P.S. *et al.* Relationship between the Porcine Stress Syndrome gene and carcass and performance traits in F<sub>2</sub> pigs resulting from divergent crosses. *Gen. Mol. Biol.*, v.28, p.92-96, 2005.
- BARBOSA, L.; LOPES, P.S.; REGAZZI, A.J. *et al.* A. Seleção de variáveis de desempenho de suínos por meio da análise de componentes principais. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.57, p. 805-810, 2005.
- CORRÊA, G.S.S.; SILVA, M.A.; CORRÊA, A.B. *et al.* Exigências de proteína bruta e energia metabolizável em codornas de corte durante a fase de crescimento. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.59, p.488-494, 2007a.
- CORRÊA, G.S.S.; SILVA, M.A.; CORRÊA, A.B. *et al.* Nível de proteína bruta para codornas de corte durante o período de crescimento. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.60, p.209-217, 2008.
- CORRÊA, G.S.S.; SILVA, M.A.; CORRÊA, A.B. *et al.* Exigências de proteína bruta e energia metabolizável para codornas de corte EV1. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.59, p.797-804, 2007b.
- DETMANN, E.; CECON, P.R.; ANDREOTTI, M.O. *et al.* Application of the first canonical variable in the evaluation of animal production trials. *Rev. Bras. Zootec.*, v.34, p.2417-2426, 2005.
- DETMANN, E.; FILHO, S.C.; GIONBELLI, M.P. *et al.* Uso de técnicas de regressão na avaliação, em bovinos de corte, da eficiência de conversão do alimento em produto: comparação entre grupos experimentais. *Rev. Bras. Zootec.*, v.41, p.138-146, 2012.
- EUCLIDES FILHO, K.; FIGUEIREDO, G.R.; EUCLIDES, V.P.B. *et al.* Eficiência Bionutricional de Animais da Raça Nelore e seus Mestiços com Caracu, Angus e Simental. *Rev. Bras. Zootec.*, v.31, p.331-334, 2002.
- FERREIRA, D.F. *Estatística multivariada*. Lavras: UFLA, 2008. 662p.
- FERREIRA JR., H.C.; BARROS, V.R.S.M.; FERREIRA, M.A. *et al.* Extrato a base de ésteres em dietas para frangos de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ZOOTECNIA DO FUTURO: PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL – ZOOTEC, 23., 2013, Foz do Iguaçu-PR. *Anais...* Foz do Iguaçu: UNIOEST, 2013.
- GESUALDI JR., A.; QUEIROZ, A.C.; RESENDE, F.D. *et al.* Desempenho produtivo e eficiência bioeconômica de bovinos Nelore e Caracu selecionados para peso aos 378 dias de idade recebendo alimentação à vontade ou restrita. *Rev. Bras. Zootec.*, v.35, p.576-583, 2006.
- GUIDONI, A.L. *Alternativas para comparar tratamentos envolvendo o desempenho nutricional animal*. 1994. 105f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.
- KNUPP, L.S. *Alternativas ao leite de cabra no aleitamento de cabritos*. 2012. 52f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MARCONDES, M.I.; VALADARES FILHO, S.C.; OLIVEIRA, I.M., *et al.* Eficiência alimentar de bovinos puros e mestiços recebendo alto ou baixo nível de concentrado. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.1313-1324, 2011.

- MUNIZ, J.C.L. *Energia metabolizável para codornas de corte*. 2013, 64f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- NERY, V.L.H.; LIMA, J.A.F.; MELO, R.C.A.; FIALHO, E.T. Adição de enzimas exógenas para leitões dos 10 aos 30 kg de peso. *Rev. Bras. Zootec.*, v.29, p.794-802, 2005.
- PACHECO, G.D.; LOZANO, A.P.; VINOKUROVAS, S.L. *et al.* Farelo de gérmen de milho desengordurado associado à fitase. *Arch. Zootec.*, v.61, p.599-610, 2012.
- PARK, J.S.; CARTER, S.D.; SCNEIDER, J.D.; MORILLO, T.B. Effects of a solid-state fermented phytase on growth performance, bone traits and phosphorus digestibility of growing pigs fed corn – soybean meal diets containing wheat middling. *Anim. Sci. Res.*, 2003. Disponível em: <www.ansi.okstate.edu/research/2003rr>. Acessado em: 28/05/2014.
- PESSOA, G.B.S.; TAVERNARI, F.C.; VIEIRA, R.A.; ALBINO, L.F.T. Novos conceitos em nutrição de aves. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, v.13, p.755-774, 2012.
- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. *Rev. Ceres*, v.50, p.9-26, 2003.
- ROSSI, R.M.; MARTINS, E.N.; LOPES, P.S.; SILVA, F.F. Análise bayesiana univariada e bivariada para a conversão alimentar de suínos Piau. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.49, p.754-761, 2014a.
- ROSSI, R.M.; LOPES, P.S.; SILVA, F.F.; MARTINS, E.N. Modelos de regressão assumindo erros normais e skew-normais para avaliar a conversão alimentar em suínos Piau nas fases inicial, de crescimento e de terminação. In: REUNINÃO ANUAL DA RBRAS, 59., 2014. Ouro Preto-MG. *Anais...* Ouro Preto-MG: UFOP, 2014b.
- ROSSI, R.M.; MARTINS, E.N.; LOPES, P.S. Modelagem bayesiana via INLA para avaliar o desempenho nutricional animal In: REUNINÃO DA ABE E X SEMANA DE ESTATÍSTICA, 45., 2013, Maringá-PR. *Anais...* Maringá: UEM, 2013.
- RUE, H.; MARTINO, S.; CHOPIN, N. Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace approximations. *J. Roy. Stat. Soc. B*, v.71, p.319-392, 2009.
- SIQUEIRA, J.C.; SAKOMOURA, N.K.; DORIGAM, J.C.P. *et al.* Níveis de lisina em rações para frangos de corte determinados com base em uma abordagem econômica. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.2.178-2.185, 2011.
- VELOSO, R.C.; PIRES, A.V.; TIMPANI, V.D. *et al.* Níveis de proteína bruta e energia metabolizável em uma linhagem de codorna de corte. *Acta Sci. Anim. Sci.*, v.34, p.169-174, 2012.
- VINOKUROVAS, S. L. *Utilização de complexo enzimático em rações contendo farelo de gérmen de milho desengordurado para suínos em crescimento e terminação*. 2009, 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.