



Correção de medida ultrassonográfica de carcaça em coelhos usando modelo linear misto com covariáveis

[Correction ultrasonographic measurement of carcass in rabbits using mixed linear Model with covariates]

N.P.S. Santos¹, L.O. Guerra², D. Biagiotti³, G.V. Santos⁴, D.C. Sousa¹,
D.C.E. Santos¹, C.A. Sousa¹, J.L.R. Sarmiento⁴

¹Universidade Federal do Piauí - Bom Jesus, PI

²Universidade Federal da Paraíba - Areia, PB

³Colégio Técnico de Bom Jesus - Bom Jesus, PI

⁴Universidade Federal do Piauí - Teresina, PI

N.P.S. Santos1
<https://orcid.org/0000-0002-7538-5000>
L.O. Guerra2
<https://orcid.org/0000-0002-5143-5413>
D. Biagiotti3
<https://orcid.org/0000-0001-7828-1955>
G.V. Santos4
<https://orcid.org/0000-0003-3351-0632>
D.C. Sousa1
<https://orcid.org/0000-0003-1077-0984>
D.C.E. Santos1
<https://orcid.org/0000-0001-8149-5612>
C.A. Sousa1
<https://orcid.org/0000-0003-1196-0907>
J.L.R. Sarmiento4
<https://orcid.org/0000-0002-4215-1515>

RESUMO

Objetivou-se avaliar a correção da medida ultrassonográfica da área do músculo *Longissimus dorsi*, em coelhos da raça Nova Zelândia, pela análise de covariância usando modelos mistos. Foram realizadas análises em delineamento em blocos completos ao acaso, com cinco tratamentos (operadores) e seis blocos (animais), considerando na análise: a inexistência de covariáveis; a covariável comprimento de olho de lombo; a covariável profundidade de olho de lombo; e as duas covariáveis juntas. Como os animais são uma amostra aleatória, o efeito de bloco foi considerado como aleatório. Consideraram-se as covariáveis como medidas com efeito fixo sem erro, independentemente do tratamento e do comportamento linear. As estatísticas de critério de decisão CV%, R^2 e \bar{R}^2 evidenciaram relação direta entre si e podem ser consideradas para avaliar a precisão experimental em ensaios com avaliação de carcaças. Os valores das estatísticas AIC, BIC e AICC apresentam coerência com a interpretação dos critérios de decisão e indicam que o modelo com duas covariáveis proporciona resultados acurados. A inclusão das covariáveis complementa o controle de local com melhoria na precisão do experimento. A utilização das medidas ultrassonográficas de profundidade e comprimento corrige a média da área do músculo *Longissimus dorsi* avaliado por diferentes operadores.

Palavras-chave: área de olho de lombo, cunicultura, experimentação animal, *Longissimus dorsi*, precisão experimental

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the correction ultrasonographic measurement of area the *Longissimus dorsi* muscle in New Zealand rabbits by covariance analysis using mixed linear models. The analyzes were performed in randomized block design with 5 treatments (operators) and 6 blocks (animals), considering in the analysis: absence of covariates; rib eye length as covariate; rib eye depth as covariate; the two covariates together. As the animals are a random sample, the block effect was considered to be random. The covariates were considered as measures of fixed effect without error, independent of treatment and linear comportment. The decision criterion statistics CV%, R^2 , and \bar{R}^2 showed a direct relationship between them and can be taken into consideration to evaluate the experimental accuracy in tests with carcass evaluation. The AIC, BIC, and AICC statistics are consistent with the interpretation of the decision criteria and indicate that the two covariates in model provides accurate results. The inclusion of covariates complements the local control to improve the accuracy of the experiment. The use of ultrasound measurements of depth and length corrects the mean area of the *Longissimus dorsi* muscle evaluated by different operators.

Keywords: loin eye area, rabbit breeding, animal experimentation, *Longissimus dorsi*, experimental precision

Recebido em 26 de novembro de 2017

Aceito em 13 de agosto de 2018

E-mail: natanael@ufpi.edu.br

INTRODUÇÃO

O aperfeiçoamento da cunicultura pode ser influenciado pelo impacto da produção sobre aspectos econômicos locais e regionais. Logo, a atividade precisa ser amparada por pesquisas, de modo a subsidiar os sistemas de produção, por meio da avaliação rápida dos animais. Como suporte a essa necessidade, estão os estudos relacionados às características do músculo *Longissimus dorsi* (olho de lombo), que auxiliam a tomada de decisões quanto à qualidade da resposta produtiva (Metzger *et al.*, 2006), além de fundamentar o uso do conhecimento tecnológico que a atividade requer.

A utilização da ultrassonografia alia eficiência e praticidade ao processo de avaliação de carcaça, ao reduzir o tempo necessário para a coleta de dados (Santana *et al.*, 2012). A técnica não deixa resíduos nocivos na carne e fornece informações qualitativas e quantitativas precisas e objetivas da composição corporal do animal vivo (Pinheiro *et al.*, 2010; Figueiredo Filho *et al.*, 2017). Porém, a desuniformidade nas mensurações ultrassonográficas nos animais acarreta problemas na interpretação da avaliação de carcaça. Por isso, tenta-se obter mensurações uniformes padronizando o posicionamento do animal, o posicionamento e a frequência do transdutor na mesma região do animal e o operador do aparelho.

Em razão da falta de precisão na avaliação de carcaça realizada por diferentes operadores do aparelho de ultrassonografia, as pequenas variações entre os resultados dos diferentes operadores não são identificadas como significativas pelos métodos de análise de variância, o que faz com que animais com maior potencial produtivo sejam erroneamente descartados. Nesse caso, avaliações de carcaças realizadas por diferentes operadores de aparelho ultrassonográfico com erro experimental elevado podem levar a não se rejeitar a hipótese nula quando efetivamente falsa (Girardi *et al.*, 2009).

É comum a avaliação de diversas variáveis em cada unidade experimental, e ocorre frequentemente a associação entre essas variáveis, o que pode afetar a resposta dos tratamentos ou influenciar a medida do erro experimental. Para resolver esse problema, uma medida que associe a regressão de uma ou mais

variáveis (covariável) sobre aquela que é objeto da análise pode ser adotada, dispensando a instalação de experimentos com unidades experimentais maiores. Com isso, há remoção da variância associada às observações adicionais dos resultados da variável dependente, propiciando geralmente, aumento da precisão do experimento (Zimmermann, 2014).

A inclusão de covariáveis na análise permite a generalização do uso de determinada equação, entretanto pode torná-la complexa e com excesso de parâmetros. Dessa maneira, deve-se equilibrar a precisão com a parcimônia e isso pode ser obtido com a análise de covariância considerando o modelo linear misto, pois permitirá definir um modelo que se adequa aos dados com maior precisão experimental, e, assim, o ajuste das médias será mais acurado (Gilmour *et al.*, 2004).

Mesmo diante do crescente interesse pela cunicultura, informações coerentes de medidas de carcaça de coelhos ainda são escassas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a correção da medida ultrassonográfica da área do músculo *Longissimus dorsi* (olho de lombo), em coelhos da raça Nova Zelândia, pela análise de covariância usando modelo misto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Módulo Didático-Produtivo de Cunicultura do Colégio Técnico de Bom Jesus, pertencente à Universidade Federal do Piauí, *Campus* Professora Cinobelina Elvas, em Bom Jesus, no Piauí, com láparos da raça Nova Zelândia com 90 dias de vida, em julho do ano de 2017, com autorização do Comitê de Ética no Uso de Animais (Ceua) no âmbito da Universidade Federal do Piauí, sob processo cadastrado com Nº 328/17.

Foram utilizados seis animais (unidades experimentais), machos, oriundos de uma mesma matriz (irmãos completos), nascidos no mesmo dia e desmamados aos 30 dias de idade. Após o desmame, os animais foram criados em gaiolas individuais, de ferro galvanizado, medindo 0,80m x 0,75m x 0,67m (comprimento x largura x altura), dotadas de comedouro e bebedouro, ambos de plástico. Aos animais, foi fornecida água e ração comercial peletizada (níveis

mínimos garantidos: matéria seca 88%; umidade 12%; proteína bruta 17%; extrato etéreo 3,37%; fibra bruta 15%; matéria mineral 12%; cálcio 2%; fósforo total 0,75%; lisina 0,94%; metionina+cistina 0,63%; energia digestível 2300) à vontade.

Foram realizadas análises utilizando modelos mistos em delineamento com blocos completos e ao acaso, com cinco tratamentos (operadores) e seis blocos (animais), considerando-se na análise: a inexistência de covariáveis (DBC); a covariável comprimento de olho de lombo (DBC_C); a covariável profundidade de olho de lombo (DBC_P); e as duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo) (DBC_CP). Como os animais são uma amostra aleatória, o efeito de bloco foi considerado como aleatório. No modelo misto, consideraram-se as covariáveis (COL e POL) como medidas com efeito fixo sem erro, independentemente do tratamento e do comportamento linear.

Os animais foram pesados aos 90 dias de vida, em balança digital, e a variação de pesos entre eles foi o critério usada para adotar a estrutura de blocagem. A mensuração das características de carcaça foi realizada aos 90 dias de vida dos animais, utilizando aparelho de ultrassom KX2000G VET, equipado com transdutor linear de 3,5MHz. Assim, foram amostradas: a área do olho de lombo (AOL); profundidade do olho de lombo (POL); e comprimento do olho de lombo (COL). Essas características foram medidas no próprio aparelho de ultrassom, com a função de delimitação de determinada figura, fornecendo imediatamente as medidas. A coleta dos dados foi feita de forma aleatória em cada coelho e realizada por cinco operadores diferentes, com experiência na avaliação de carcaça. Vale destacar que, para as três características de carcaça (AOL, COL e POL), foram realizadas duas mensurações em cada animal por operador e adotada a média entre as observações, visto não haver variação significativa nas medidas do mesmo operador na mesma unidade experimental, fato observado em análise prévia. Para isso, os animais foram contidos manualmente e mantidos em posição de estação, buscando-se o maior conforto e relaxamento deles para melhor qualidade das imagens. Com a finalidade de evitar distorções nas imagens ultrassonográficas, realizou-se tricotomia da região de medição situada, aproximadamente

1,5cm em relação à linha média dorsal entre a 12^a e 13^a vértebras torácicas, no lado esquerdo. As imagens coletadas foram avaliadas em corte transversal do músculo *Longissimus dorsi* (olho de lombo), por servir para avaliação de características como terminação e musculabilidade.

O modelo linear misto adotado pode ser descrito matricialmente a partir do vetor Y de observações, pela expressão:

$$Y = X\gamma + Zu + \varepsilon,$$

em que: Y é o vetor dos dados; X é a matriz de efeitos fixos a serem estimados; γ é o vetor de efeitos fixos a serem estimados; Z é a matriz de incidência de efeitos aleatórios; u é o vetor de efeitos aleatórios e ε é o vetor de erros aleatórios associados a cada observação. Assumiu-se que os efeitos aleatórios e os erros têm distribuição normal, com média zero, e são não correlacionados, com matrizes de variâncias e covariâncias, respectivamente; G e R são matrizes positivas definidas e, portanto, não singulares, dadas por:

$$Var(u) = E(uu') = GeVar(\varepsilon) = E(\varepsilon\varepsilon') = R.$$

Matricialmente, tem-se:

$$Var \begin{bmatrix} u \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}.$$

Desse modo, tem-se que:

$$\begin{aligned} V = Var(Y) &= Var(X\gamma) + Var(Zu) + Var(\varepsilon) \\ &= ZVar(u)Z' + R \\ &= ZGZ' + R. \end{aligned}$$

Assume-se, ainda, que V é não singular e

$$E(Y) = E(X\gamma + Zu + \varepsilon) = X\gamma,$$

assim: $Y \sim N(X\gamma; ZGZ' + R)$.

O modelo linear misto com as covariáveis ainda pode ser expresso por:

$$Y_{ij} = m + t_i + \beta_c(C_{ij} - \bar{C}) + \beta_p(P_{ij} - \bar{P}) + b_j + e_{ij},$$

em que: Y_{ij} representa a medida de interesse do operador i (t_i com $i = 1, 2, \dots, 5$) no animal j

(b_j com $j = 1, 2, \dots, 6$); m é a média geral do experimento; β_1 , o coeficiente de regressão linear da covariável (COL e POL) sobre Y ; C_{ij} representa o valor da covariável comprimento do olho de lombo medida pelo operador i no animal j ; \bar{C} , a média da covariável comprimento de olho de lombo em todo o ensaio; P_{ij} representa o valor da covariável profundidade do olho de lombo medida pelo operador i no animal j ; \bar{P} , a média da covariável profundidade de olho de lombo em todo o ensaio; e_{ij} , o erro experimental associado às observações Y_{ij} .

Para a avaliação da precisão experimental, foi calculado o coeficiente de variação experimental ($CV\%$), em porcentagem da média: $CV = 100(QM_{erro}/\bar{Y})^{0,5}$, em que: QM_{erro} corresponde ao quadrado médio do erro, e \bar{Y} a média das observações. Foi determinado o valor da estatística R^2 , neste trabalho designada por coeficiente de determinação, obtida pela razão entre a soma de quadrados do tratamento e a soma de quadrados total. Já o coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2) foi obtido conforme:

$$\bar{R}^2 = R^2 - \frac{1}{n-2}(1-R^2).$$

Também foram utilizados para a escolha do modelo os critérios de informação de Akaike – AIC (*Akaike's Information Criterion*), o de Schwarz – BIC (*Bayesian Information Criterion*) e o de Akaike corrigido – AICC, que permitem a seleção de modelos mais parcimoniosos, pois penalizam aqueles com número excessivo de variáveis independentes (Burnham e Anderson, 2004; Saxton, 2004), ou seja, nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor. Assim, quanto menores os valores de AIC, BIC e AICC, melhor o modelo.

$$\begin{aligned} AIC &= -2 \log L_R + 2q \\ BIC &= -2 \log L_R + q \log(n) \\ AICC &= -2 \log L_R + 2q + 2 \frac{q(q+1)}{n-q-1} \end{aligned}$$

sendo: L_R a função de verossimilhança restrita, q a dimensão do modelo (número de efeitos fixos e aleatórios), n o número de observações, \log o logaritmo neperiano. Os critérios estão ordenados em aumento de preferência para parcimônia.

Avaliou-se a utilização dos animais como heterogêneos em função da precisão do

experimento, verificada pela efetividade dos blocos (EB), cuja fórmula é expressa por:

$$EB = \frac{(j-1)QM_{bloco} + j(i-1)QM_{erro}}{(ij-1)QM_{erro}}$$

Para garantir a utilização das medidas de profundidade e comprimento do olho de lombo como covariáveis, foi realizada uma análise prévia de correlação e de variância, com a finalidade de verificar, respectivamente, a associação entre as variáveis (POL, COL e AOL) e a influência dos tratamentos sobre as covariáveis (POL e COL).

A fim de saber se a análise com a inclusão das covariáveis foi eficiente em corrigir o valor médio da AOL, após as mensurações *in vivo* na carcaça, os animais foram abatidos e tiveram as mesmas medidas (AOL, COL e POL) observadas diretamente no músculo *Longissimus dorsi* mensurado. A idade de 90 dias foi adotada por ser considerada a idade ideal para abate de coelhos (Oliveira e Lui, 2006).

Todas as análises estatísticas foram realizadas usando-se os procedimentos MIXED e CORR, e as médias foram ajustadas com o comando LSMEANS (*least-squares means*), contido no programa SAS-*Statistical Analysis Systems* (Saxton, 2004). As significâncias foram observadas pelo teste Fe LSD (*Fisher's Protected Least Significant*), e as médias foram comparadas usando-se a diferença dos quadrados mínimos de Fisher (com a opção DIFF do comando LSMEANS). Em todas as análises, a significância foi declarada a $P \leq 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises prévias dos dados de comprimento (COL) e profundidade (POL) do músculo *Longissimus dorsi* (olho de lombo) indicaram que não há diferença significativa ($P > 0,05$) para o efeito de operador (tratamento). Ou seja, é possível utilizar essas medidas como covariáveis para correção da área do músculo, pois somente um coeficiente de regressão linear de cada covariável é suficiente para corrigir as médias da área do músculo olho de lombo (AOL).

A inclusão das covariáveis proporcionou redução do coeficiente de variação ($CV\%$) e diminuição do quadrado médio do erro (QM_{erro}) (Tab.1).

Esses critérios são sensíveis à inclusão de novos efeitos no modelo, assim sempre irão melhorar, mesmo que os efeitos incluídos expliquem muito pouco da variação total. Além disso, com a

inclusão das covariáveis, observou-se aumento no coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 1. Análises de variância sem e com covariáveis e estatísticas com critério de escolha de modelo de análise da característica da área do músculo *Longissimus dorsi* em coelhos Nova Zelândia, aos 90 dias de vida

Delineamento / Modelo	FV	GL	QM	F	CV %	R^2	\bar{R}^2	AIC	BIC	AIC _C	EB
DBC $Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$	operador	4	534,58	2,09 ^{ns}	8,5	0,6	0,6	231,	231,	232,	1,9
	animal	5	1646,86	6,44*							
	erro	20	255,9	-							
DBC_C $Y_{ij} = m + t_i + \beta_C(C_{ij} - \bar{C}_1) + b_j + e_{ij}$	operador	4	208,87	1,04 ^{ns}	7,5	0,7	0,7	221,	221,	222,	2,2
	animal	5	1646,86	8,19*							
	comprimento	1	1298,35	6,45*							
	erro	19	201,03	-							
DBC_P $Y_{ij} = m + t_i + \beta_P(P_{ij} - \bar{P}_2) + b_j + e_{ij}$	operador	4	433,78	2,72 ^{ns}	6,6	0,8	0,7	206,	206,	207,	2,6
	animal	5	1646,86	10,34*							
	profundidade	1	2090,95	13,12*							
	erro	19	159,32	-							
DBC_CP $Y_{ij} = m + t_i + \beta_C(C_{ij} - \bar{C}_1) + \beta_P(P_{ij} - \bar{P}_2) + b_j + e_{ij}$	operador	4	263,45	3,46*	4,6	0,9	0,9	190,	190,	191,	6,8
	animal	5	1646,86	21,64*							
	comprimento	1	1657,05	21,77*							
	profundidade	1	2449,65	32,18*							
	erro	18	76,11	-							

FV – fonte de variação; GL – grau de liberdade; QM – quadrado médio; F – F de Snedecor; CV% – coeficiente de variação; R^2 – coeficiente de determinação; \bar{R}^2 – coeficiente de determinação ajustado; AIC – critério de informação de Akaike; BIC – critério de informação bayesiano; AICC – critério de informação de Akaike corrigido; EB – eficiência dos blocos; DBC – delineamento em blocos ao acaso sem covariável; DBC_C – com uma covariável (comprimento de olho de lombo); DBC_P – com uma covariável (profundidade de olho de lombo); DBC_CP – com duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo); ^{ns} – não significativo; *significativo ($P \leq 0,05$).

De modo geral, fica demonstrado que essas estatísticas, por estarem associadas a menores variâncias do erro, evidenciaram relação direta entre si e podem ser consideradas para avaliar a precisão experimental em ensaios com avaliação de carcaças de coelhos. Dessa forma, a exploração desses resultados, nas diferentes situações de inclusão das covariáveis nas análises, mostra-se importante para adotar estratégias, tornar mais precisos os experimentos e evitar cometer erros na interpretação dos resultados.

A inclusão da covariável profundidade (POL) parece ser mais adequada quando comparada à covariável comprimento (COL). Isso se justifica pelo fato de a correlação entre AOL e POL ser maior (0,89, $P \leq 0,05$) que a correlação entre AOL e COL (0,78, $P \leq 0,05$). Logicamente, o efeito benéfico da análise é tanto maior quanto maior

for a variação na covariável. E isso se deve, em parte, ao formato do músculo nos coelhos.

Para aumentar a precisão na comparação das médias dos tratamentos, é necessária a redução da variância do contraste entre as médias, reduzindo-se o QM_{erro} . Logo, quando as covariáveis foram usadas como estratégia de controle do erro, a variação observada na área do músculo (AOL) é, em parte, atribuída à variação nas covariáveis (COL e POL). Assim, a análise com as covariáveis reduziu os erros experimentais das estimativas dos efeitos de tratamentos (operador), tornando-os mais próximos em relação à média geral. Com isso, pode-se dizer que houve uma complementação do controle de local. Dessa forma, com as duas covariáveis (DBC_CP), foi possível observar significância ($P \leq 0,05$) para a área de olho de lombo mensurada por diferentes operadores.

Embora a não significância para o efeito de operadores signifique que a covariável (COL ou POL) não está afetando a comparação delas para o caráter de interesse (AOL), o ajuste da covariável pode ser relevante por permitir um melhor ajuste dos dados e, por conseguinte, aumentar a acurácia do ajuste dos valores da característica avaliada.

A inclusão das duas covariáveis na análise (DBC_CP) aumentou consideravelmente a precisão experimental em mais de 54%, reduzindo o CV% de 8,5%, sem covariável, para 4,6%. Nesse cenário (DBC_CP), o poder de representação do modelo ($R^2=0,91$ e $\bar{R}^2=0,90$) em relação à variação total observada foi de grande magnitude. Diante disso, é possível supor que a análise de covariância pode ser considerada uma técnica potencialmente útil para aumentar a precisão experimental, embora o seu uso não seja comum.

Mesmo σR^2 e $\sigma \bar{R}^2$ apresentando interpretações semelhantes e correspondência de resultados, o R^2 tende a superestimar o ajuste do modelo aos dados. Em contrapartida, $\sigma \bar{R}^2$ é ajustado para os graus de liberdade associados às somas de quadrados e parece ser mais coerente. Porém, os resultados podem ser considerados confiáveis, visto que os valores de R^2 e \bar{R}^2 não aumentaram necessariamente quando foram acrescentadas as duas covariáveis.

Os valores das estatísticas AIC, BIC e AICC apresentam coerência com a interpretação dos resultados do CV%, R^2 e \bar{R}^2 . Vale destacar que os critérios AIC, BIC e AICC têm base na verossimilhança de ajuste do modelo e são dependentes do número de observações e parâmetros (Freitas *et al.*, 2011). Além disso, mesmo penalizando o modelo mais parametrizado, os resultados indicam que o modelo com duas covariáveis proporcionará melhores resultados.

Com os valores da estatística EB, foi possível indicar quantas repetições seriam necessárias se este experimento fosse desenvolvido em delineamento inteiramente ao acaso (DIC). Assim, no DBC sem e com uma covariável, é possível afirmar que seriam necessárias de duas a três repetições a mais se o experimento fosse desenvolvido em DIC. Dessa forma, é válido dizer que a utilização dos animais em blocos foi efetiva e possibilita a racionalização do uso de animais na experimentação animal. Do mesmo modo, para o modelo DBC_CP, sete repetições a mais em DIC seriam necessárias para estabelecer estimativas equivalentes.

Além de melhorar a precisão da análise, o ajuste das covariáveis foi relevante por permitir um melhor ajuste dos dados individuais e, por conseguinte, aumentar a acurácia da predição dos valores individuais de AOL. Com isso, foi possível o ajuste das médias da AOL para os seis animais utilizados (Fig. 1).

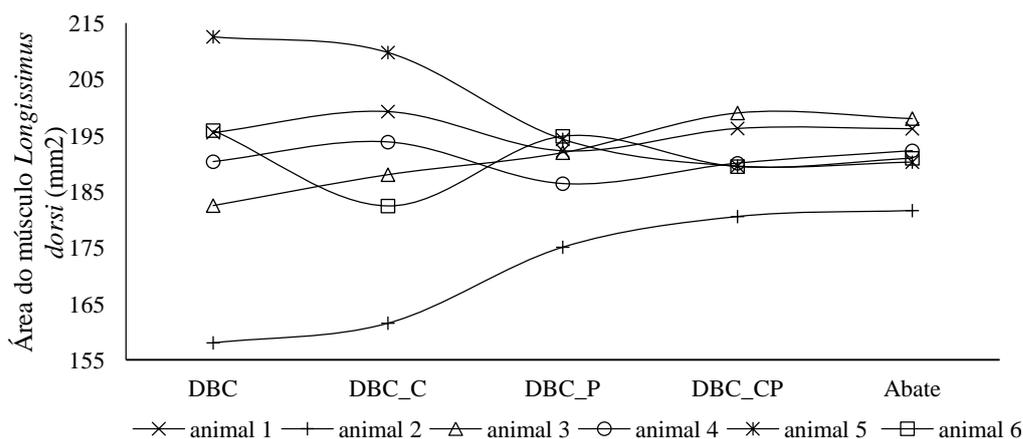


Figura 1. Médias ajustadas da área do músculo *Longissimus dorsi* (mm²) de coelhos Nova Zelândia nos experimentos em delineamento com blocos ao acaso sem covariável (DBC); com a covariável comprimento do músculo (DBC_C); com a covariável profundidade do músculo (DBC_P); e com comprimento e profundidade do músculo como covariáveis (DBC_CP) e a observação da área do músculo no animal abatido.

Correção de medida...

É válido informar que a redução na variância do efeito de operador implica um estreitamento da dispersão das respostas, podendo isto chegar ao limite teórico de as médias se igualarem (Duarte e Vencovsky, 2001). É possível observar o verdadeiro valor da AOL de cada animal, após o seu abate, e é fácil visualizar os ajustes

realizados nas médias com a inclusão das covariáveis. A amplitude entre as médias ajustadas em cada situação de análise diminui com a inclusão das covariáveis COL e POL. Ao se adotarem as duas covariáveis (DBC_CP), a amplitude entre as médias ajustadas equivale-se à média observada em cada animal (Tab. 2).

Tabela 2. Médias ajustadas da área do músculo *Longissimus dorsi* (mm²) de coelhos Nova Zelândia, obtidas por ultrassonografia nos experimentos em DBC sem e com covariáveis e observação da área do músculo no animal abatido

Coelho	DBC	DBC_C	DBC_P	DBC_CP	Abate
1	195,51	199,26	192,28	196,25	196,20
2	158,06	161,56	175,09	180,55	181,62
3	182,50	188,01	191,93	199,01	198,01
4	190,32	193,82	186,41	190,04	192,27
5	212,58	209,78	194,32	189,54	190,25
6	195,87	182,43	194,85	189,45	190,93
Amplitude	54,52	48,22	19,76	18,46	16,39

DBC –delineamento em blocos ao acaso sem covariável; DBC_C – com uma covariável (comprimento de olho de lombo); DBC_P – com uma covariável (profundidade de olho de lombo); DBC_CP – com duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo).

Foram calculadas as correlações de Pearson entre as médias ajustada se o verdadeiro valor da AOL dos seis animais, obtidos com o animal abatido (Tab.3). Observa-se que as correlações foram de moderada a alta magnitude. É possível inferir que as correlações entre aAOL nos animais

abatidos as médias ajustadas sem as covariáveis (DBC) e com apenas uma covariável (DBC_C e DBC_P) não são significativas e de moderada magnitude, quando comparadas à correlação da média ajustada com as duas covariáveis e a média dos animais abatidos ($r=0,99$, $P<0,05$).

Tabela 3. Coeficientes da correlação de Pearson entre as médias ajustadas da área do músculo *Longissimus dorsi* (mm²) de coelhos Nova Zelândia, obtidas por ultrassonografia nos experimentos em DBC sem e com covariáveis e observação da área do músculo no animal abatido

Delineamento	DBC_C	DBC_P	DBC_CP	Abate
DBC	0,92*	0,87*	0,44 ^{ns}	0,50 ^{ns}
DBC_C	-	0,76 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,62 ^{ns}
DBC_P	-	-	0,71 ^{ns}	0,74 ^{ns}
DBC_CP	-	-	-	0,99*

*significativo a 5%; ^{ns}– não significativo; DBC –delineamento em blocos ao acaso sem covariável; DBC_C – com uma covariável (comprimento de olho de lombo); DBC_P – com uma covariável (profundidade de olho de lombo); DBC_CP – com duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo).

A elevada magnitude da correlação entre as médias ajustadas adotando-se o modelo DBC_CP e as médias de AOL do animal abatido (0,99) indica a eficiência do delineamento adotado e da inclusão das covariáveis no ajuste das médias para essa característica, quando os animais são avaliados por diferentes operadores do aparelho ultrassonográfico. Isso sugere que, ao se adotar a técnica ultrassonográfica na avaliação de carcaça de coelhos, mesmo estes sendo homogêneos para características

fenotípicas, irmãos completos, a inclusão destes como blocos é requerida. Segundo Yalçinet *al.* (2006) e Murshed *et al.* (2014), não existe diferença significativa entre a carcaça de coelho macho e fêmea, exceto para o peso da cabeça e pH do músculo *Longissimus dorsi*. Vale mencionar que os valores observados para a AOL devem ser corrigidos pelas covariáveis comprimento e profundidade.

Além dos benefícios reportados sobre a análise utilizada, os resultados refletem ganhos relativos para a ciência com a minimização do número de animais utilizados, repercutindo no bem-estar animal e, conseqüentemente, na redução de custos com experimentos futuros. A experiência e a capacidade de discernimento do pesquisador levariam a decisões corretas a esse respeito, porém é inegável a contribuição da análise de covariância com modelo linear misto na maximização da quantidade de informação em um experimento.

CONCLUSÃO

A utilização das medidas ultrassonográficas de profundidade e comprimento do músculo *Longissimus dorsi* como covariáveis na avaliação de carcaça de coelhos Nova Zelândia corrige a média da área do músculo avaliado por diferentes operadores. A inclusão das covariáveis na análise complementa o controle de local, com melhoria na precisão do experimento. Houve eliminação de viés nas mensurações da área do músculo com a inclusão das covariáveis, permitindo a observação de diferenças significativas entre os diferentes operadores do aparelho ultrassonográfico.

REFERÊNCIAS

- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociol. Methods Res.*, v.33, p.261-304. 2004.
- DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. *Sci. Agric.*, v.58, p.109-117, 2001.
- FIGUEIREDO FILHO, L.A.S.; SARMENTO, J.L.R.; DO Ó, A.O. *et al.* Estimate of genetic parameters for carcass traits and visual scores in meat sheep using Bayesian inference via threshold and linear models, *Cienc. Rural*, v.47, 2017. Available in: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160174>. Accessed in: 02/07/2017.
- FREITAS, A.R.; FERREIRA, R.P.; MOREIRA, A. Análises de dados de medidas repetidas por meio do modelo linear geral e do modelo misto. *Rev. Ciênc. Agrár.*, v.54, p.214-224, 2011.
- GILMOUR, A.R.; CULLIS, B.R.; WELHAM, S.J. *et al.* An efficient computing strategy for prediction in mixed linear models. *Computational Stat. Data Anal.*, v.44, p.571-586, 2004.
- GIRARDI, L.H.; CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Erro tipo I e poder de cinco testes de comparação múltipla de médias. *Rev. Bras. Biom.*, v.27, p.23-36, 2009.
- METZGER, S.; ODERMATT, M.; SZENDRŐ, Z. *et al.* A study of the carcass traits of different rabbit genotypes. *Word Rabbit Sci.*, v.14, p.107-114, 2006.
- MURSHED, H.M.; SHISHIR, S.R.; RAHMAN, S.M.E.; DEOG-HWAN, O. Comparison of carcass and meat characteristics between male and female indigenous rabbit of Bangladesh. *Bangladesh J. Anim. Sci.*, v.43, p.154-158, 2014.
- OLIVEIRA, M.C.; LUI, J.F. Desempenho, características de carcaça e viabilidade econômica de coelhos sexados abatidos em diferentes idades. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.58, p.1149-1155, 2006.
- PINHEIRO, R.S.B.; JORGE, A.M.; YOKOO, M.J. Correlações entre medidas determinadas in vivo por ultrassom e na carcaça de ovelhas de descarte. *Rev. Bras. Zootec.*, v.39, p.1161-1167, 2010.
- SANTANA, M.H.A.; ROSSI, P.; ALMEIDA, R.; CUCCO, D.C. Feed efficiency and its correlations with carcass traits measured by ultrasound in Nellore bulls. *Livest. Sci.*, v.145, p.252-257, 2012.
- SAXTON, A. Genetic analysis of complex traits using SAS®. Cary: SAS Institute, 2004.
- YALÇIN, S.; ONBASILAR, E.E.; ONBASILAR, I. Effect of sex on carcass and meat characteristics of New Zealand white rabbits aged 11 weeks. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, v.19, p.1212-1216, 2006.
- ZIMMEMANN, F.J.P. *Estatística aplicada à pesquisa agrícola*. 2ed. Brasília: Embrapa, 2014. 582p.