



Grupo genético, sistema de acasalamento e efeitos genéticos aditivos e não-aditivos nas características de musculabilidade da carcaça de novilhos oriundos do cruzamento rotativo Charolês x Nelore

Paulo Santana Pacheco¹, João Restle², Ivan Luiz Brondani¹, Dari Celestino Alves Filho¹,
João Teodoro Padua², Fabrícia Rocha Chaves Miotto³

¹ Departamento de Zootecnia – UFSM.

² Departamento de Produção Animal – UFG.

³ Departamento de Produção Animal – UFTO.

RESUMO - Foram avaliadas as carcaças de 800 novilhos oriundos do cruzamento rotativo entre as raças Charolesa e Nelore abatidos aos 2 anos de idade. As características avaliadas foram: conformação, espessura de coxão, perímetro de braço, área de olho-de-lombo e área de olho-de-lombo dividida por 100 kg de peso da carcaça fria (AOL100). Na análise dos dados, consideraram-se dois modelos: o Modelo 1 incluiu os efeitos genéticos de sistema de acasalamento e grupo genético do novilho aninhado em sistema de acasalamento e o Modelo 2 correspondeu ao Modelo 1, porém o sistema de acasalamento e o grupo genético foram substituídos pelas covariáveis representativas da porcentagem da raça Charolesa no indivíduo e na sua mãe e da porcentagem de heterozigose no indivíduo e na sua mãe. Pela análise do Modelo 1, novilhos charoleses foram superiores aos nelores em todas as características avaliadas. A heterose retida foi significativa para conformação (4,2%), espessura de coxão (3,2%), perímetro de braço (4,2%), área de olho-de-lombo (7,3%) e AOL100 (-6,7%). O efeito genético aditivo individual da raça Charolesa em relação à Nelore foi de 1,89 pontos para conformação, 1,37 cm para espessura de coxão, 2,55 cm para perímetro de braço, 12,70 cm² para área de olho-de-lombo e 3,13 cm² para AOL100. O efeito genético heterótico individual (em relação à média dos definidos) foi de 3,9% para conformação, 3,8% para espessura de coxão, 3,1% para perímetro de braço e 9,8% para área de olho-de-lombo. A heterose materna é significativa apenas para perímetro de braço (1,6%) e AOL100 (-5,4%). Os efeitos genéticos não-aditivos, representados por epistasia e ligação gênica, não influenciam as características avaliadas.

Palavras-chave: *Bos indicus*, *Bos taurus*, comparação de modelos, cruzamento alternado contínuo, produção de novilho jovem, sistemas de cruzamento

Genetic group, breeding system and additive and non-additive genetic effects on characteristics that express muscularity of steer carcasses derived from Charolais x Nelore rotative crossbreeding

ABSTRACT - The carcasses of 800 steers derived from rotational crossbreeding between Charolais and Nelore breeds, slaughtered at two years of age, were evaluated. The evaluated characteristics were the following: conformation, cushion thickness, arm perimeter, *Longissimus dorsi* area, *Longissimus dorsi* area divided by 100 kg of cold carcass weight (AOL100). Two models were used for the data analyses: Model 1 included the genetic effects of the breeding system and steer genetic group nested within the breeding system and Model 2 corresponded to Model 1, but the breeding and genetic group were substituted by the covariables corresponding to the percentage of Charolais breed of the individual and its mother and the percentage of heterozygosity of the individual and its mother. From the analysis in Model 1, Charolais steers were superior to the Nelores in all assessed traits. The retained heterosis was significant for conformation (4.2%), cushion thickness (3.2%), arm perimeter (4.2%), *Longissimus dorsi* area (7.3%) and AOL100 (-6.7%). The individual additive genetic effect of Charolais breed regarded to Nelore was 1.89 points for conformation, 1.37 cm for cushion thickness, 2.55 cm for arm perimeter, 12.70 cm² for *Longissimus dorsi* area and 3.13 cm² for AOL100. The individual heterotic genetic effect (regarded to the straightbred mean) was 3.9% for conformation, 3.8% for cushion thickness, 3.1% for arm perimeter and 9.8% for *Longissimus dorsi* area. Maternal heterosis is significant only for arm perimeter (1.6%) and AOL100 (-5.4%). The non-additive genetic effects, represented by epistasis and linkage, do not influence the evaluated characteristics.

Key Words: *Bos indicus*, *Bos taurus*, continuous alternate crossbreeding, crossbreeding systems, model comparisons, young steer production

Introdução

O uso do cruzamento para produção de carne tem grande importância no Brasil, principalmente se considerado o vertiginoso incremento na comercialização externa que vem ocorrendo desde a década de 1990. Isto permitiu à indústria dos abatedouros-frigoríficos certo “fôlego” financeiro, pois comercializam a carne bovina com compensador valor agregado se atendidas as exigências de qualidade dos mercados compradores. Essas exigências compreendem cortes cárneos padronizados, geralmente aqueles situados na região posterior da carcaça, priorizando o tecido muscular em relação ao adiposo. Os comentários de Berg & Butterfield (1976), de que uma carcaça deve apresentar quantidade máxima de músculo, mínima de osso e adequada de gordura, ainda são válidos nos dias atuais para a maioria dos mercados consumidores. Desta maneira, além de atender aos requisitos peso e grau de acabamento da carcaça, aquelas que visualmente apresentam maior musculabilidade são mais valorizadas e/ou desejadas (Müller, 1987).

Como a raça Charolesa é especializada para produção de carne e apresenta carcaças com acentuada hipertrofia muscular, resultados de estudos conduzidos no Brasil avaliando o uso do cruzamento para aumento da produção de carne, demonstraram que quando esse cruzamento envolve as raças Charolesa e Nelore (Restle et al., 2000; Vaz & Restle, 2001; Menezes et al., 2005), o benefício nas características que expressam musculabilidade da carcaça ocorre pela complementaridade e apresenta valores intermediários às médias das raças definidas.

Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos de grupo genético, sistema de acasalamento e efeitos genéticos aditivos e não-aditivos (individual e materno) nas características que expressam musculabilidade da carcaça de novilhos oriundos do cruzamento rotativo Charolês × Nelore.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Setor de Bovinocultura de Corte do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul (Brasil), localizado na região fisiográfica Depressão Central, a 153m de altitude, latitude 30° S, onde, segundo classificação de Köppen, apresenta clima subtropical úmido (cfa) (Moreno, 1961). A temperatura média anual varia de 14,3 a 25,2°C, com média das mínimas de 9,7°C no mês de agosto e média das máximas de 29,9°C no mês de janeiro e possibilidade de geadas de abril a

outubro. A média anual para umidade relativa do ar é de 73% e para precipitação, de 1650,9 mm (Rio Grande do Sul, 1979).

Foram utilizados 800 novilhos, nascidos entre 1986 e 2001, provenientes do cruzamento rotativo contínuo das raças Charolesa e Nelore, iniciado em 1984, para avaliar o desempenho reprodutivo e produtivo e as características da carcaça e da carne, por cinco gerações sucessivas.

Ao início do projeto, foram utilizadas 120 fêmeas aptas à reprodução, oriundas de diferentes rebanhos da região: 60 da raça Charolesa (C) e 60 da raça Nelore (N). As fêmeas, dentro de cada raça, foram distribuídas ao acaso em dois grupos, um para o cruzamento rotativo e outro constituindo o grupo controle.

O manejo reprodutivo consistiu de um período de inseminação de 45 dias (1 de dezembro a 15 de janeiro) e mais 45 dias de repasse com touros em monta a campo. Utilizou-se o sêmen de seis touros de cada raça, por temporada de reprodução, oriundos de centrais de inseminação comercial no País.

No momento da inseminação, a escolha do sêmen dentro de cada raça paterna foi aleatória, de acordo com a raça materna.

Para o repasse, utilizaram-se quatro reprodutores de cada raça, oriundos de propriedades da região. Os touros que geraram os animais definidos foram os mesmos que geraram os cruzados. Durante o período de avaliação e para cada raça paterna, foi utilizado sêmen de 32 touros e para o repasse, 20 touros distintos.

Os machos foram castrados aos 7 meses de idade. O controle de endo e ectoparasitas e as vacinações foram realizados em todos os grupos raciais, conforme necessidade e/ou recomendações do calendário sanitário para a região.

O manejo nutricional visou ao abate dos machos aos 2 anos de idade. Para isso, a recria durante o inverno foi realizada em pastagem cultivada de aveia-preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) e, no verão, em pastagem nativa com predominância de *Andropogon lateralis* Nees., *Paspalum notatum* Fl. e *Eragrostis plana* Nees. (capim-annoni-2). A terminação foi realizada em confinamento.

Previamente à pesagem final de abate e ao embarque para o matadouro-frigorífico, os animais foram submetidos a jejum de sólidos por 14 horas. Em seguida, foram transportados e abatidos seguindo o fluxo normal da empresa.

Após o abate, as duas meias-carcaças foram identificadas e encaminhadas à câmara de resfriamento. Após o período de resfriamento por 24 horas sob temperatura entre 0°C e 2°C, as carcaças foram pesadas para obtenção do peso de carcaça fria. Ainda nas duas meias-carcaças frias,

foi determinada, subjetivamente, a pontuação referente à conformação, segundo metodologia descrita por Müller (1987).

Na meia-carcaça fria direita, foram tomadas a espessura de coxão, medida entre a face lateral e a face medial da porção superior do coxão, com auxílio de um compasso; e o perímetro do braço, determinado pelo perímetro da região medial do braço. Na altura da 12ª costela, foi traçado em papel vegetal o contorno do músculo *Longissimus dorsi* exposto, para posterior determinação de sua área.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o procedimento GLM do sistema estatístico SAS (1997) e os dados foram testados quanto à normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk.

Os dados foram analisados por meio de dois modelos matemáticos:

Modelo 1: os efeitos genéticos aditivos e não-aditivos (heterótico ou dominância, epistasia e ligação gênica) foram definidos como sendo sistema de acasalamento do novilho (SA) e grupo genético do novilho (GG) aninhado em sistema de acasalamento: [GG(SA)]. O Modelo 1 pode ser descrito pela seguinte equação:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \beta_1 IA_i + \beta_2 IV_j + \beta_3 IV2_j + AN_k + [SA_l + GG_m(SA)_l] + \varepsilon_{ijklmn}$$

em que: Y_{ijklmn} = variáveis dependentes; μ = média geral; IA_i = covariável idade de abate do novilho (dias); β_1 = coeficiente de regressão linear na idade de abate do novilho; IV_j e $IV2_j$ = covariáveis idade da mãe do novilho ao parto (linear e quadrática, respectivamente) (anos); β_2 e β_3 = coeficientes de regressão (linear e quadrático) na idade da mãe do novilho ao parto; AN_k = ano de nascimento do novilho ($l = 1986, \dots, 2001$); SA_l = sistema de acasalamento do novilho ($l = 1, \dots, 5$); $GG_m(SA)_l$ = grupo genético aninhado em sistema de acasalamento ($m = 1, \dots, 5$); ε_{ijklmn} = erro aleatório associado a cada observação, NID ($0, \sigma^2$).

Realizou-se análise de variância com aplicação dos testes F e Tukey a 5% de significância.

Modelo 2: os efeitos genéticos SA e GG(SA) do Modelo 1 foram substituídos pelos efeitos aditivo e não-aditivo (modelo aditivo-dominante). Considerou-se o efeito genético aditivo como sendo o desvio direto da raça Charolesa em relação à Nelore e o efeito não-aditivo como sendo a dominância (heterose).

Koger et al. (1975), com o auxílio de regressão múltipla, estimaram os efeitos genéticos aditivos e não-aditivos (heteróticos) de acordo com o modelo apresentado inicialmente por Dickerson (1969, 1973). Adaptando o modelo básico descrito por Koger et al. (1975) aos dados deste estudo e assumindo linearidade entre heterose e heterozigose, utilizaram-se covariáveis representadas pelas proporções da raça Charolesa (efeito genético aditivo) e pelas heterozigoses (efeito genético heterótico) no indivíduo (direto ou individual) e na sua mãe (materno) (Tabela 1).

O modelo pode ser descrito pela seguinte equação:

$$Y_{ijklmnop} = \beta_0 + *** + [\beta_4 Ci_l + \beta_5 Cm_m + \beta_6 HZi_n + \beta_7 HZm_o] + \varepsilon_{ijklmnop}$$

em que: $Y_{ijklmnop}$ = variáveis dependentes; β_0 = intercepto; *** = conjunto de efeitos idem aos do Modelo 1; Ci_l , Cm_m = covariáveis representadas pela porcentagem da raça Charolesa no indivíduo e na sua mãe, respectivamente (Tabela 1); HZi_n , HZm_o = covariáveis representadas pela porcentagem de heterozigose no indivíduo e na sua mãe, respectivamente (Tabela 1); β_4 , β_5 = coeficientes de regressão linear nas porcentagens individual e materna da raça Charolesa, respectivamente; β_6 , β_7 = coeficientes de regressão linear nas heterozigoses individual e materna, respectivamente; $\varepsilon_{ijklmnop}$ = erro aleatório associado a cada observação, NID ($0, \sigma^2$).

Os regressores β_4 e β_5 representam os efeitos genéticos aditivos individual e materno da raça Charolesa em relação

Tabela 1 - Covariáveis utilizadas na estimação dos efeitos genéticos no modelo 2

Sistema de acasalamento	Grupo genético do novilho	Covariáveis dos efeitos genéticos ¹			
		Ci	Cm	HZi	HZm
Definidos	Charolês (C)	1,000	1,000	0,000	0,000
	Nelore (N)	0,000	0,000	0,000	0,000
G1	1/2C1/2N	0,500	0,000	1,000	0,000
	1/2N1/2C	0,500	1,000	1,000	0,000
G2	3/4C1/4N	0,750	0,500	0,500	1,000
	3/4N1/4C	0,250	0,500	0,500	1,000
G3	5/8C3/8N	0,625	0,250	0,750	0,500
	5/8N3/8C	0,375	0,750	0,750	0,500
G4	11/16C5/16N	0,688	0,375	0,625	0,750
	11/16N5/16C	0,313	0,625	0,625	0,750

¹ Ci, Cm = porcentagem da raça Charolesa no indivíduo e na sua mãe, respectivamente; HZi, HZm = porcentagem de heterozigose no indivíduo e na sua mãe, respectivamente.

à Nelore, respectivamente. Os regressores β_6 e β_7 representam os efeitos heteróticos individual e materno, respectivamente.

A heterose foi calculada para cada característica e sistema de acasalamento (a partir da G1) de acordo com as fórmulas:

$$\text{Heterose (\%)} = \left(\frac{\text{média dos cruzados}}{\text{média dos definidos}} - 1 \right) * 100$$

em que Heterose (valores absolutos) = média dos cruzados - média dos definidos.

A heterose retida foi calculada de acordo com as fórmulas:

$$\text{Heterose retida (\%)} = \left[\frac{\left(\frac{G2 + G3 + G4}{3} \right)}{\text{média dos definidos}} - 1 \right] * 100$$

em que: Heterose retida (valores absolutos) =

$$\left(\frac{G2 + G3 + G4}{3} \right) - \text{média dos definidos}$$

As heterozigoses individual e (HZi) e materna (HZm) foram calculadas de acordo com as fórmulas:

$$\text{HZi} = 1 - \sum_{i=1}^{nr} Ti * Vi ; \text{HZm} = 1 - \sum_{i=1}^{nr} T Ai * V Ai ,$$

em que: nr = número de raças (2); e Ti , Vi , $T Ai$ e $V Ai$ = proporções da raça i no touro, vaca, avô materno e avô materna, respectivamente.

O diagnóstico de multicolinearidade entre as variáveis preditoras (covariáveis) dos efeitos genéticos

do Modelo 2 (Ci, Cm, HZi, HZm) foi realizado pela análise da matriz de correlações de *Pearson* e das medidas fator de inflação da variância, índice de condição, autovalores (λ) e proporções da variância associadas com cada λ . As correlações foram calculadas pelo procedimento CORR (SAS, 1997). As medidas de multicolinearidade foram obtidas pelo procedimento REG, opção COLLINOINT (SAS, 1997).

Por meio da redução na soma de quadrados do erro entre os Modelos 1 e 2, e analisada pelo teste F, objetivou-se estimar a proporção da contribuição conjunta dos efeitos de epistasia e ligação gênica em cada característica avaliada (Dillard et al., 1980).

Resultados e Discussão

A conformação da carcaça, avaliada subjetivamente e que representa o grau de musculosidade na região anterior e principalmente na região posterior da carcaça diferiu entre as raças definidas (Tabela 2). As carcaças dos novilhos charoleses foram classificadas como “boa típica” (11,4 pontos) e as dos nelores, como “regular mais” (9,2 pontos), ou seja, as carcaças dos novilhos charoleses foram mais musculosas que a dos nelores. Este resultado está de acordo com o esperado, já que é característico da raça Charolesa grande desenvolvimento muscular. De acordo com Müller (1987), a conformação tem relevante importância comercial, em decorrência do melhor aspecto visual que a carcaça com maior hipertrofia muscular, preferida pelos açougues e consumidores.

Tabela 2 - Médias e erros-padrão (ep) para conformação (CONF), espessura de coxão (ECOX), perímetro de braço (PBRA), área de olho-de-lombo (AOL) e AOL/100 kg de peso de carcaça fria (AOL100) em cada sistema de acasalamento (SA) e grupo genético (GG) (modelo 1)

SA	GG(SA)	Características									
		CONF ¹ , pontos	ep (±)	ECOX, cm	ep (±)	PBRA, cm	ep (±)	AOL, cm ²	ep (±)	AOL100, cm ²	ep (±)
Definidos	Charolês (C)	11,4A	0,1	25,2A	0,1	36,6A	0,2	67,4A	0,7	30,8A	0,3
	Nelore (N)	9,2D	0,1	23,2B	0,2	33,2C	0,2	53,6C	0,7	28,0BC	0,3
G1	1/2C1/2N	10,6BC	0,2	25,2A	0,3	35,4AB	0,4	66,4A	1,3	30,0AB	0,6
	1/2N1/2C	10,9AB	0,2	25,2A	0,3	35,9AB	0,4	64,8AB	1,2	29,8AB	0,5
G2	3/4C1/4N	11,1AB	0,1	25,1A	0,2	36,5AB	0,2	66,2A	0,8	28,8B	0,3
	3/4N1/4C	10,3C	0,1	24,8A	0,2	35,4B	0,3	60,7B	0,9	27,0C	0,4
G3	5/8C3/8N	10,9AB	0,2	24,9A	0,3	36,6A	0,4	67,3A	1,3	28,1BC	0,6
	5/8N3/8C	10,5C	0,2	24,9A	0,2	36,3AB	0,3	65,3A	1,0	27,2BC	0,5
G4	11/16C5/16N	11,1AB	0,3	25,4A	0,5	37,1A	0,6	67,2AB	2,0	26,8C	0,9
	11/16N5/16C	10,7AB	0,4	24,7AB	0,6	36,5AB	0,8	63,2AB	2,6	26,7C	1,1
Definidos		10,3B	0,1	24,2B	0,1	34,9B	0,1	60,5B	0,5	29,4A	0,2
G1		10,7A	0,1	25,2A	0,2	35,7AB	0,3	65,6A	0,9	29,9A	0,4
G2		10,7A	0,1	24,9A	0,1	35,9A	0,2	63,4A	0,6	27,9B	0,3
G3		10,6AB	0,1	24,9A	0,2	36,4A	0,3	66,2A	0,9	27,7B	0,4
G4		10,9AB	0,2	25,1AB	0,4	36,8A	0,5	65,2AB	1,7	26,7B	0,8

A, B, C, D Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

¹ Conformação: 1-3 = inferior; 4-6 = má; 7-9 = regular; 10-12 = boa; 13-15 = muito boa; 16-18 = superior (Müller, 1987).

Neste estudo, a conformação da carcaça correlacionou-se positivamente com todas as características que expressam musculabilidade e foi de 0,56 com área de olho-de-lombo, de 0,48 com espessura de coxão e de 0,45 com perímetro de braço. Resultados semelhantes foram relatados por Perobelli et al. (1995), Vaz et al. (2002), Menezes et al. (2005), Pacheco et al. (2005) e Ferreira et al. (2009), em pesquisas sobre características de carcaça das raças Charolesa, Nelore e seus cruzamentos, tanto em machos quanto em fêmeas.

Comportamento semelhante foi verificado para espessura de coxão e área de olho-de-lombo (AOL), ou seja, superiores para as carcaças dos novilhos charoleses em relação à dos Nelore. Dados de características da carcaça e/ou da carne avaliadas após o abate dos animais ainda são difíceis de serem coletados no País, pois dependem de recursos humanos dos abatedouros e frigoríficos. No entanto, cada vez mais a avaliação *in vivo* está sendo utilizada pela aplicação da ultrassonografia, uma importante alternativa e que apresenta elevada correlação com a avaliação *post mortem* (Perkins et al., 1992) e demais características que expressam musculabilidade na carcaça.

Geralmente a AOL apresenta relação direta com o peso de carcaça (Restle et al., 1999; Restle et al., 2002), o qual foi evidenciado neste estudo ($r=0,57$; $P=0,0001$), sugerindo ajuste. O ajuste da AOL por 100 kg de PCF resultou em alteração nas significâncias entre os grupos genéticos e sistemas de acasalamento (Tabela 2). No entanto, manteve mesmo comportamento entre as raças definidas, ou seja, a raça Charolesa apresentando potencial para produção de carne superior em relação à Nelore.

Avaliando os grupos genéticos cruzados dentro de cada sistema de acasalamento (Tabela 2), diferenças

significativas foram evidentes para conformação em carcaças de novilhos com mais de 62,5% (5/8C3/8N) de composição genética Charolês, e para AOL e AOL100 com mais de 75% (3/4C1/4N). Estes resultados indicam que para estas características, existe um percentual mínimo de composição genética Charolês para que ocorram diferenças entre os grupos genéticos. No entanto, para as demais características relacionadas com musculabilidade não houve diferenças entre grupos genéticos dentro de sistema de acasalamento. Avaliando as características de carcaça de novilhos oriundos de gerações avançadas do cruzamento rotativo Charolês Nelore, Menezes et al. (2005) verificaram diferenças na conformação entre grupos genéticos e que se tornaram evidentes a partir de 68,8% de sangue Charolês no genótipo (11/16C5/16N), enquanto, para AOL100, essas diferenças só ocorreram a partir de 75% de sangue Charolês no genótipo. De acordo com esses autores, não houve diferenças entre grupos genéticos para AOL, ECOX e PBRA.

As heteroses para os sistemas de acasalamento apresentaram comportamento bem distinto quanto à significância das características avaliadas (Tabela 3). No entanto, a heterose retida foi significativa ($P<0,05$) para todas as características e foi mais expressiva para AOL (7,3%). Notam-se valores negativos para AOL/100 kg PCF, o que pode ocorrer quando o grau de variação não é o mesmo para ambas as características, ou seja, neste estudo, o aumento no peso de carcaça fria (PCF) foi superior ao da AOL.

Houve desvantagem mais expressiva, no entanto, para as carcaças dos animais nelores para a CONF (-14,1%) e AOL (-17,6%), em relação à média das carcaças dos novilhos cruzados (Tabela 3). O contraste charoleses vs cruzados apresentou resultado inverso, principalmente quando a AOL foi ajustada para PCF (9,9%). Com exceção da ECOX

Tabela 3 - Heterose e contraste entre charoleses (C) vs cruzados e Nelore (N) vs cruzados (Modelo 1) para conformação (CONF), espessura de coxão (ECOX), perímetro de braço (PBRA), área de olho-de-lombo (AOL) e AOL/100 kg de peso de carcaça fria (AOL100), em porcentagem e valores absolutos

Heterose	Característica									
	CONF ¹		ECOX		PBRA		AOL		AOL100	
	%	pontos	%	cm	%	cm	%	cm ²	%	cm ²
G1	3,9	0,4*	4,1	1,0*	2,3	0,8	8,4	5,1*	1,7	0,5
G2	3,9	0,4*	2,9	0,7*	2,9	1,0*	4,8	2,9*	-5,1	-1,5*
G3	2,9	0,3	2,9	0,7*	4,3	1,5*	9,4	5,7*	-5,8	-1,7*
G4	5,8	0,6	3,7	0,9	5,4	1,9*	7,8	4,7	-9,2	-2,7*
Retida	4,2	0,4*	3,2	0,8*	4,2	1,5*	7,3	4,4*	-6,7	-2,0*
Contraste										
C vs cruzados	6,6	0,7*	0,5	0,1**	1,1	0,4*	3,6	2,3*	9,9	2,8*
N vs cruzados	-14,1	-1,5*	-7,2	-1,8	-8,2	-3,0*	-17,6	-11,5*	-0,1	0,0*

* $P<0,05$; ** $P=0,0525$.

¹ Conformação: 1-3 = inferior; 4-6 = má; 7-9 = regular; 10-12 = boa; 13-15 = muito boa; 16-18 = superior (Müller, 1987).

($P > 0,05$), os animais cruzados apresentaram valores intermediários entre as raças definidas, o que indica eficiência do tipo de cruzamento no aproveitamento dos efeitos favoráveis da complementaridade. Em estudos avaliando as carcaças de novilhos Charolês \times Nelore, Vaz & Restle (2001) e Menezes et al. (2005) verificaram resultados semelhantes.

O coeficiente de correlação foi elevado ($r=0,70$) apenas entre Ci e Cm (Tabela 4), o que pode indicar algum grau de confundimento entre estes efeitos genéticos (Rodríguez-Almeida et al., 1997). Correlações elevadas entre efeitos genéticos aditivos individuais e maternos foram relatadas por Rodríguez-Almeida et al. (1997) (aproximadamente -0,80), Roso et al. (2005) e Teixeira & Albuquerque (2005) (iguais ou maiores que 0,80). No entanto, a severidade da multicolinearidade não deve ser quantificada somente pela magnitude da correlação, pois a inter-relação entre três ou mais variáveis pode resultar em alto grau de multicolinearidade, mesmo quando as correlações são baixas (Roso et al., 2005). Desta maneira, a correlação deve ser utilizada como critério norteador, e não decisivo, no diagnóstico de multicolinearidade.

O diagnóstico de multicolinearidade (Tabela 5), ajustado para o intercepto segue a recomendação de Freund & Littell (1991). O efeito desse processo é o de reduzir de modo substancial os valores dos índices de condição (IC) e desprezar os efeitos da multicolinearidade nas estatísticas associadas ao intercepto (Souza, 1998).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de *Pearson* (r) e probabilidade da significância (Prob) entre coeficientes dos efeitos genéticos (Modelo 2)

Efeito genético ¹		Cm	HZi	HZm
Ci	r	0,70	-0,06	-0,01
	Prob	0,0001	0,0752	0,8689
Cm	r		-0,01	-0,05
	Prob		0,9206	0,1533
HZi	r			0,35
	Prob			0,0001

¹ Ci, Cm = porcentagem da raça Charolesa no indivíduo e na sua mãe, respectivamente; HZi, HZm = porcentagem de heterozigose no indivíduo e na sua mãe, respectivamente.

Tabela 5 - Diagnóstico de multicolinearidade entre os coeficientes dos efeitos genéticos (Modelo 2)

Efeito genético ¹	FIV ²	λ^3	IC ⁴	Proporção da decomposição da variância associada aos autovalores			
				Ci	Cm	HZi	HZm
Ci	1,9646	1,7093	1,0000	0,1445	0,1441	0,0090	0,0076
Cm	1,9607	1,3152	1,1400	0,0057	0,0067	0,3240	0,3274
HZi	1,1316	0,6784	1,5873	0,0054	0,0069	0,6399	0,6433
HZm	1,1281	0,2971	2,3984	0,8444	0,8423	0,0271	0,0217

¹ Ci, Cm = porcentagem da raça Charolesa no indivíduo e na sua mãe, respectivamente; HZi, HZm = porcentagem de heterozigose no indivíduo e na sua mãe, respectivamente.
² fator de inflação da variância; ³ autovalor; ⁴ índice de condição.

A maioria das medidas de multicolinearidade apresentou valores aquém daqueles considerados críticos por Freund & Littell (1991), SAS (1997) e Souza (1998). De acordo com esses autores, são considerados críticos para FIV valores maiores que 10; para λ menor que 0,01; para IC maior que 30 (entre 10 e 30 possível problema); e para proporção da variância associada aos autovalores quando maior que 0,80.

A decomposição das proporções da variância associadas ao menor λ ($\lambda = 0,2971$) sugere que os efeitos genéticos aditivos individual e materno poderiam apresentar problemas de dependência linear. Entretanto, como as estimativas de erro-padrão desses efeitos genéticos não foram muito elevadas (FIV baixos), nenhuma medida foi necessária para reduzir os problemas da multicolinearidade.

Os efeitos genéticos estimados pelo Modelo 2 tiveram pouca influência do componente materno dos efeitos aditivo e heterótico em comparação ao componente individual (Tabela 6).

A raça Charolesa foi superior à Nelore, quanto ao efeito genético aditivo individual, para todas as características que expressam musculabilidade: 1,89 ponto para CONF; 1,37 cm para ECOX; 2,55 cm para PBRA; 12,70 cm² para AOL e 3,13 cm² para AOL100. No componente materno, a raça Charolesa foi superior à Nelore apenas para PBRA (0,74 cm).

Trabalhando com Angus, Brahman e Charolês, Peacock et al. (1979) e Peacock et al. (1982) verificaram efeito aditivo individual significativo para AOL100. Para a raça Charolesa, o efeito individual foi de 1,38 cm², enquanto o materno variou de -1,01 a -0,86 cm². Avaliando o cruzamento rotativo entre Angus, Hereford, Brahman e Charolês, DeRouen et al. (1992) verificaram efeito aditivo individual significativo de 16,0 cm² da raça Charolesa e de -8,5 cm² da raça Brahman para AOL. Outros estudos envolvendo o cruzamento entre raças continentais com britânicas evidenciaram superioridade das raças continentais quanto ao efeito aditivo individual sobre a AOL, como os de Gregory et al. (1978) (11,8 cm² para Pardo

Suíço), Alenda et al. (1980) (12,5 cm² para Charolês), Koch et al. (1983) (21,5 cm² para Charolês) e Comerford et al. (1988) (7,5 cm² para Simental e 12,6 cm² para Limousin).

Para o efeito genético heterótico, o aumento na heterozigose individual resultou em incremento para a maioria das características, exceto AOL100 (Tabela 6). Para 100% de heterozigose individual, os valores verificados foram 0,40 ponto para CONF; 0,91 cm para ECOX; 1,09 cm para PBRA; e 5,94 cm² para AOL. A heterozigose materna influenciou apenas PBRA (0,55 cm) e AOL100 (-1,60 cm²).

No cruzamento Charolês × Brahman, Peacock et al. (1979) relataram valores divergentes para AOL100 quanto aos componentes do efeito heterótico (1,01 cm² para individual e -1,33 cm² para materna), enquanto DeRouen et al. (1992) verificaram 4,0 cm² de efeito heterótico individual para AOL. Avaliando o cruzamento Charolês × britânicas, Alenda et al. (1980) relataram efeito heterótico individual positivo para AOL (2,3 cm² com Angus) e negativo para o componente materno (-3,3 cm² com Hereford). Outros pesquisadores que avaliaram o cruzamento entre raças taurinas observaram ausência de efeito heterótico sobre a AOL (Gregory et al., 1978; Koch et al., 1983; Comerford et al., 1988), com isso, pode-se afirmar que o distanciamento genético entre taurino (Charolês) e zebuino (Nelore) foi importante na determinação dos níveis de heterose.

Na maioria dos estudos revisados, a magnitude da influência do componente materno, tanto aditivo quanto heterótico, foi de pouca importância nas características que expressam musculabilidade da carcaça, o que está de acordo com o verificado neste estudo.

Quanto ao efeito genético heterótico materno, houve resposta positiva para PBRA e negativa para AOL100. Estudos avaliando o cruzamento Charolês × Brahman

evidenciaram que o efeito genético heterótico materno influenciou negativamente (Peacock et al., 1979) ou não teve influência (Peacock et al., 1982; DeRouen et al., 1992) na AOL.

Aumentos nos valores das características que expressam musculabilidade da carcaça avaliadas neste estudo são desejáveis. A raça Charolesa é superior à Nelore para todas as características avaliadas. Para o sistema de produção ao qual os animais foram submetidos, a complementaridade entre as raças utilizadas neste estudo foi evidente e resultou em animais cruzados com carcaças com valores muito próximos aos verificados para a raça Charolesa.

A heterose total apresentou valores entre 4 e 5% para CONF, ECOX e PBRA para ambas as maneiras de expressar a heterose (Tabela 7). Os maiores valores foram verificados para AOL e AOL100 (negativos).

Os coeficientes de determinação dos Modelos 1 e 2 foram semelhantes para todas as características (Tabela 8) e indicam que os dois modelos apresentam eficiência similar. Resultados similares aos deste estudo foram relatados por Trematore et al. (1998), Dillard et al. (1980), Robison et al. (1981) e Neville Jr. et al. (1984), que utilizaram a metodologia da diferença da soma de quadrados do erro entre modelos.

As porcentagens de redução na soma de quadrados do erro (SQE) do Modelo 1 em relação ao Modelo 2 oscilaram entre 0,2 e 1,4%. A redução na SQE não foi significativa ($P > 0,05$) para nenhuma das características avaliadas e indica que não houve influência dos efeitos genéticos não-aditivos, representados pelos efeitos de epistasia e ligação gênica. Isto pode ser explicado pelo uso de touros de raças definidas em sistemas de cruzamento rotativo, onde os gametas recombinantes são provenientes apenas do componente materno (Dickerson, 1973). Para sistemas de

Tabela 6 - Estimativas dos efeitos genéticos aditivos e heteróticos, individual e materno, e respectivos erros-padrão (ep) para cada característica avaliada (Modelo 2)

Característica ¹	Efeito genético					
	Aditivo			Aditivo		
	Individual	ep (±)	Pr > t	Materno	ep (±)	Pr > t
CONF, pontos	1,89	0,18	0,0001	0,30	0,16	0,0688
ECOX, cm	1,37	0,28	0,0001	0,43	0,26	0,0951
PBRA, cm	2,55	0,38	0,0001	0,74	0,34	0,0306
AOL, cm ²	12,70	1,25	0,0001	0,58	1,14	0,6085
AOL100, cm ²	3,13	0,55	0,0001	-0,31	0,50	0,5379
	Heterótico			Heterótico		
	Individual	ep (±)	Pr > t	Materno	ep (±)	Pr > t
CONF, pontos	0,40	0,13	0,0022	0,16	0,12	0,1688
ECOX, cm	0,91	0,20	0,0001	0,24	0,19	0,2074
PBRA, cm	1,09	0,27	0,0001	0,55	0,25	0,0268
AOL, cm ²	5,94	0,90	0,0001	0,08	0,82	0,9273
AOL100, cm ²	-0,19	0,39	0,6334	-1,60	0,36	0,0001

¹ CONF: conformação; ECOX: espessura de coxão; PBRA: perímetro de braço; AOL: área de olho-de-lombo; AOL100: AOL/100 kg peso de carcaça fria.

Tabela 7 - Estimativas dos efeitos genéticos heteróticos individual e materno expressos em porcentagem em relação à média dos definidos ou em relação à média geral, obtidas pelo Modelo 2, para cada característica avaliada

Característica ¹	Efeitos genéticos heteróticos					
	% em relação à média dos definidos			% em relação à média geral		
	Individual	Materno	Total	Individual	Materno	Total
CONF, pontos	3,9	1,6	5,4	3,8	1,5	5,3
ECOX, cm	3,8	1,0	4,8	3,7	1,0	4,6
PBRA, cm	3,1	1,6	4,7	3,0	1,5	4,6
AOL, cm ²	9,8	0,1	10,0	9,3	0,1	9,4
AOL100, cm ²	-0,6	-5,4	-6,1	-0,7	-5,6	-6,3

¹ CONF: conformação; ECOX: espessura de coxão; PBRA: perímetro de braço; AOL: área de olho-de-lombo; AOL100: AOL/100 kg peso de carcaça fria.

Tabela 8 - Soma de quadrados do erro (SQE), quadrado médio do erro (QME) e coeficiente de determinação (R²) para os Modelos 1 e 2 e probabilidade da redução, para cada característica avaliada

Característica ¹	SQE ²			QME		Redução			R ²	
	Modelo 2	Modelo 1	Redução	Redução	Modelo 1	% ³	F ⁴	P > F	Modelo 2	Modelo 1
	CONF, pontos	1122,45	1120,10	2,35	0,47	1,45	0,2	0,32	0,8989	0,357
ECOX, cm	2808,45	2793,65	14,80	2,96	3,62	0,5	0,82	0,5370	0,324	0,327
PBRA, cm	4892,79	4852,23	40,56	8,11	6,29	0,8	1,29	0,2658	0,350	0,355
AOL, cm ²	54335,58	53889,38	446,20	89,24	69,80	0,8	1,28	0,2711	0,375	0,381
AOL100, cm ²	10449,89	10305,65	144,23	28,85	13,35	1,4	2,16	0,0566	0,360	0,368

¹ CONF: conformação; ECOX: espessura de coxão; PBRA: perímetro de braço; AOL: área de olho-de-lombo; AOL100: AOL/100 kg peso de carcaça fria.

Graus de liberdade do erro: Modelo 2 = 777, Modelo 1 = 772, Redução = 5.

² SQE Redução = SQE Modelo 2 - SQE Modelo 1.

³ % Redução = $\left(\frac{SQE_{redução}}{SQE_{Modelo 1}}\right) \cdot 100$.

⁴ F = $\frac{QME_{redução}}{QME_{Modelo 1}}$.

cruzamento que utilizam touros cruzados, a resposta pode ser diferente da verificada neste estudo.

Analisando os percentuais de redução de modelos para características de carcaça, Neville Jr. et al. (1984) verificaram valor de 4,5% para AOL (R²=0,352 para modelo aditivo-dominante) e concluíram que efeitos de epistasia e ligação gênica aparentam ter maior influência em características de desempenho pós-desmame e de carcaça que em características reprodutivas. No entanto, para as características avaliadas neste estudo, isto não se confirmou.

Conclusões

Quanto maior a participação da raça Charolesa no genótipo do animal e quanto maior a heterozigose individual, maior a expressão muscular da carcaça. Os efeitos genéticos não-aditivos, representados por epistasia e ligação gênica, são irrelevantes e indicam a dominância como o principal efeito genético sobre a heterose. Para o sistema de produção utilizado, com abate aos 2 anos de idade, o cruzamento rotativo envolvendo as raças Charolesa e Nelore é eficiente, em decorrência da manifestação de heteroses positivas, assim como em termos de complementaridade, corrigindo a deficiência em musculosidade da carcaça de novilhos Nelore.

Agradecimentos

Ao CNPQ, CAPES e UFSM pelo auxílio financeiro. Aos professores e alunos do Setor de Bovinocultura de Corte da UFSM, que, ao longo dos 16 anos de estudo, de alguma maneira contribuíram na coleta dos dados utilizados

Referências

- ALENDA, R.; MARTIN, T.G.; LASLEY, J.F. et al. Estimation of genetic and maternal effects in crossbred cattle of Angus, Charolais and Hereford parentage. II. Post-weaning growth, ribeye area and fat cover. **Journal of Animal Science**, v.50, p.235-242, 1980.
- BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R.M. **New concepts of cattle growth**. Sydney: Sydney University Press, 1976. 240p.
- COMERFORD, J.W.; BERTRAND, J.K.; BENYSHEK, L.L. et al. Evaluation of performance characteristics in a diallel among Simmental, Limousin, Polled Hereford and Brahman beef-cattle. II. Carcass traits. **Journal of Animal Science**, v.66, p.293-305, 1988.
- DeROUEN, S.M.; FRANKE, D.E.; BIDNER, T.D. et al. Direct and maternal genetic effects for carcass traits in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3677-3685, 1992.
- DICKERSON, G.E. Experimental approaches in utilizing breed resources. **Animal Breeding Abstracts**, v.37, p.191-202, 1969.
- DICKERSON, G.E. Inbreeding and heterosis in animals. In: ANIMAL BREEDING AND GENETICS SYMPOSIUM IN HONOR OF DR. JAY L. LUSH, 1973, Champaign. **Proceedings...** Champaign: American Society of Animal Science, 1973. p.54-77.

- DILLARD, E.U.; RODRIGUEZ, O.; ROBINSON, O.W. Estimation of additive and nonadditive direct and maternal effects from crossbreeding beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.50, p.653-663, 1980.
- FERREIRA, J.J.; MENEZES, L.F.G.; RESTLE, J. et al. Características de carcaça de vacas de descarte e novilhos mestiços Charolês x Nelore em confinamento sob diferentes frequências de alimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.10, p.1974-1982, 2009.
- FREUND, R.J.; LITTEL, R.C. **SAS system for regression**. 2.ed. North Caroline: SAS Institute Incorporation, 1991. 236p.
- GREGORY, K.E.; CROUSE, J.D.; KOCH, R.M. et al. Heterosis and breed maternal and transmitted effects in beef cattle. IV. Carcass traits of steers. **Journal of Animal Science**, v.47, p.1063-1079, 1978.
- KOCH, R.M.; DIKEMAN, M.E.; GRODZKI, H. et al. Individual and maternal genetic effects for beef carcass traits of breeds representing diverse biological types (Cycle I). **Journal of Animal Science**, v.57, n.5, p.1124-1132, 1983.
- KOGER, M.; PEACOCK, F.M.; KIRK, W.G. et al. Heterosis effects on weaning performance of Brahman-Shorthorn calves. **Journal of Animal Science**, v.40, n.5, p.826-833, 1975.
- MENEZES, L.F.G.; RESTLE, J.; BRONDANI, I.L. et al. Características da carcaça de novilhos de gerações avançadas do cruzamento alternado entre as raças Charolês e Nelore, terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.934-945, 2005.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41p.
- MÜLLER, L. **Normas para avaliação de carcaças e concurso de carcaça de novilhos**. 2.ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1987. 31p.
- NEVILLE JR., W.E.; MULLINIX JR., B.G.; McCORMICK, W.C. Grading and rotational crossbreeding of beef cattle. III. Postweaning and carcass traits of steers. **Journal of Animal Science**, v.58, n.1, p.47-56, 1984.
- PACHECO, P.S.; SILVA, J.H.S.; RESTLE, J. et al. Características da carcaça de novilhos jovens e superjovens de diferentes grupos genéticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1666-1677, 2005.
- PEACOCK, F.M.; KOGER, M.; PALMER, A.Z. et al. Additive breed and heterosis effects for individual and maternal influences on feedlot gain and carcass traits of Angus, Brahman, Charolais and crossbred steers. **Journal of Animal Science**, v.55, n.4, p.797-803, 1982.
- PEACOCK, F.M.; PALMER, A.Z.; CARPENTER, J.W. et al. Breed and heterosis effects on carcass characteristics of Angus, Brahman, Charolais and crossbred steers. **Journal of Animal Science**, v.49, n.2, p.391-397, 1979.
- PERKINS, T.L.; GREEN, R.D.; HAMLIN, K.E. Evaluation of ultrasonic estimates of carcass fat thickness and *Longissimus* muscle area in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.70, p.1002-1010, 1992.
- PEROBELLI, Z.V.; RESTLE, J.; MÜLLER, L. Estudo das carcaças de vacas de descarte das raças Charolês e Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.3, p.409-412, 1995.
- RESTLE, J.; VAZ, F.N.; FEIJÓ, G.L.D. et al. Características de carcaça de bovinos de corte inteiros ou castrados de diferentes composições raciais Charolês x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p.1371-1379, 2000.
- RESTLE, J.; PASCOAL, L.L.; FATURI, C. et al. Efeito do grupo genético e da heterose nas características quantitativas da carcaça de vacas de descarte terminadas em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.350-362, 2002 (supl.).
- RESTLE, J.; VAZ, F.N.; QUADROS, A.R.B. et al. Características de carcaça e da carne de novilhos de diferentes genótipos de Hereford x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.6, p.1245-1251, 1999.
- RIO GRANDE DO SUL. **Observações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul**: Secretaria da Agricultura - Departamento de Pesquisa - Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1979. 270p. (Boletim Técnico, 3).
- ROBISON, O.W.; McDANIEL, B.T.; RINCON, E.J. Estimation of direct and maternal additive and heterotic effects from crossbreeding experiments in animals. **Journal of Animal Science**, v.52, n.1, p.44-50, 1981.
- RODRIGUEZ-ALMEIDA, F.A.; VAN VLECK, L.D.; GREGORY, K.E. Estimation of direct and maternal breed effects for prediction of expected progeny differences for birth and weaning weights in three multibreed populations. **Journal of Animal Science**, v.25, p.1203-1212, 1997.
- ROSO, V.M.; SCHENKEL, F.S.; MILLER, S.P. et al. Estimation of genetic effects in the presence of multicollinearity in multibreed beef cattle evaluation. **Journal of Animal Science**, v.83, p.1788-1800, 2005.
- SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-SEA, 1998. 505p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS - SAS. **User's guide: Version 6**. Cary: SAS Institute Corporation, 1997. 1052p.
- TEIXEIRA, R.A.; ALBUQUERQUE, L.G. Heteroses materna e individual para ganho de peso pré-desmama em bovinos Nelore x Hereford e Nelore x Angus. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.4, p.518-523, 2005.
- TREMATORE, R.L.; ALENCAR, M.M.; BARBOSA, P.F. et al. Estimativas de efeitos aditivos e heteróticos para características de crescimento pré-desmama em bovinos Charolês-Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, p.87-94, 1998.
- VAZ, F.N.; RESTLE, J. Efeito de raça e heterose para características de carcaça de novilhos da primeira geração de acasalamento entre Charolês e Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.2, p.409-416, 2001.
- VAZ, F.N.; RESTLE, J.; QUADROS, A.R.B. et al. Características da carcaça e da carne de novilhos e de vacas de descarte Hereford, terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1501-1510, 2002.