

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



Dissertação

Parâmetros genéticos de desaceleração do crescimento:
Alternativas na inferência sobre a precocidade de terminação em bovinos de corte

Daniel Duarte da Silveira

Pelotas, 2017

Daniel Duarte da Silveira

Parâmetros genéticos de desaceleração do crescimento:

Alternativas na inferência sobre a precocidade de terminação em bovinos de corte

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Orientadora: Prof.^a Dra. Arione Augusti Boligon

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Junqueira Pereira

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S587p Silveira, Daniel Duarte da

Parâmetros genéticos de desaceleração do crescimento :
alternativas na inferência sobre a precocidade de
terminação em bovinos de corte / Daniel Duarte da Silveira
; Arione Augusti Boligon, orientadora ; Rodrigo Junqueira
Pereira, coorientador. — Pelotas, 2017.

75 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel,
Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Parâmetro gama. 2. Parâmetro gratio. 3. Qualidade de
carcaça. 4. Nelore. 5. Regressão aleatória. I. Boligon,
Arione Augusti, orient. II. Pereira, Rodrigo Junqueira,
coorient. III. Título.

CDD : 636.213

Daniel Duarte da Silveira

Parâmetros genéticos de desaceleração do crescimento:

Alternativas na inferência sobre a precocidade de terminação em bovinos de corte

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para a obtenção do grau de Mestre em Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 15/02/2017

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Arione Augusti Boligon (Orientadora)

Doutora em Genética e Melhoramento Animal pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - FCAV/UNESP. Professora Adjunta da Universidade Federal de Pelotas.

Dr. Marcos Jun-Iti Yokoo

Doutor em Genética e Melhoramento Animal pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - FCAV/UNESP. Pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Dra. Patrícia Biegelmeier

Doutora em Zootecnia pela Universidade Federal de Pelotas. Colaboradora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Prof. Dr. Ricardo Zambarda Vaz

Doutor em Produção Animal pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor Adjunto da Universidade Federal de Pelotas.

Agradecimentos

A Deus, primeira causa e motivo do prosseguir...

À família, pelo amor e amparo na caminhada...

Aos amigos, por compartilharem o apreço, as alegrias e as tristezas...

Aos professores do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Pelotas, por proporcionarem o cumprimento de mais esta etapa mediante seus valiosos ensinamentos.

À orientadora, Dra. Arione Augusti Boligon, e ao coorientador, Dr. Rodrigo Junqueira Pereira, pela imensa generosidade e paciência que demonstraram na elaboração deste trabalho, por serem guias incansáveis na superação dos obstáculos e pelo brilhante exemplo de retidão e excelência profissional.

Aos colegas da pós-graduação, irmãos de ofício, pela convivência aprazível e a amizade demonstrada ao longo desta jornada...

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional.

À Associação dos Criadores e Pesquisadores, pela concessão das informações utilizadas neste estudo.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros da banca examinadora, pela generosidade e disponibilidade em contribuírem para o aprimoramento deste trabalho.

“Todos os homens têm, por natureza, desejo de conhecer.”
**(ARISTÓTELES, séc. IV a.C., Τὰ μετὰ Φυσικὰ (Metafísica),
Livro I, Capítulo I)**

Resumo

SILVEIRA, Daniel Duarte da. **Parâmetros genéticos de desaceleração do crescimento:** Alternativas na inferência sobre a precocidade de terminação em bovinos de corte. 2017. 75f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de inferir sobre a precocidade de acabamento de bovinos da raça Nelore mediante a obtenção de parâmetros genéticos de desaceleração do crescimento e associações genéticas destes com pesos (PeS: peso ao sobreano, PeF: peso final), medidas relacionadas à qualidade da carcaça ao sobreano (AOL: área de olho de lombo, EG: espessura de gordura subcutânea nas costelas, EGP8: espessura de gordura na garupa) e à composição morfológica ao sobreano (ES: escore de estrutura, PS: escore de precocidade, MS: escore de musculabilidade). As informações fenotípicas e de pedigree utilizadas integram a base de dados da Associação Nacional dos Criadores e Pesquisadores – ANCP. Para a obtenção dos parâmetros de desaceleração do crescimento foi realizada a avaliação genética dos animais utilizando um modelo de regressão aleatória sobre polinômios segmentados lineares, sendo os componentes de (co)variância estimados via inferência Bayesiana. O Parâmetro Gama para cada animal foi obtido a partir da segunda derivada da função quadrática utilizada para ajustar a curva de crescimento estimada para a sua progênie ao longo do período de tempo estudado. O Parâmetro Gratio, referente a cada animal, foi obtido pela razão entre os ganhos médios diários em peso corporal (GMD) pós e pré-desmama obtidos com base na curva de crescimento estimada para a sua progênie. Para determinar as relações entre os parâmetros Gama e Gratio com as demais características em estudo, foram estimados os componentes de (co)variâncias e parâmetros genéticos através de análises bicaracterísticas pelo método Bayesiano. Todas as características avaliadas possuem variabilidade genética e devem responder à seleção direta nos rebanhos estudados. No entanto, a habilidade materna dos reprodutores deve apresentar lento ganho genético em virtude da baixa herdabilidade materna obtida para as características mensuradas até a desmama. Para o efeito direto, o peso aos 365 dias mostrou-se um bom indicador do peso até os 700 dias (idades próximas ao abate), apresentando correlação genética superior a 0,90. As correlações genéticas maternas entre os pesos aos 120 e 205 dias de idade mostram alta magnitude (0,99), indicando que o peso próximo à desmama é um bom indicador da habilidade materna no período pré-desmama. As correlações genéticas estimadas entre o Parâmetro Gama com PeS e PeF apresentaram direções favoráveis, entretanto, com magnitudes praticamente nulas. Em relação às características rotineiramente utilizadas como indicadoras de precocidade de terminação em bovinos de corte, o Parâmetro Gama mostrou baixa ou nula correlação genética, sugerindo que esse parâmetro não é um bom indicador da precocidade de terminação avaliada por EG, EGP8, PS e MS. As associações

genéticas estimadas entre AOL e ES com o Parâmetro Gama indicam que a seleção de animais para precocidade de terminação baseada no Parâmetro Gama levaria ao longo de várias gerações a pequenos aumentos nos valores genéticos para AOL e ES. O Parâmetro Gratio mostrou associação genética positiva e de magnitude baixa a moderada com as demais características estudadas, variando de $0,08 \pm 0,02$ a $0,37 \pm 0,02$. As correlações estimadas entre Gratio com PeS e PeF foram mais expressivas e apresentaram similaridade entre si, indicando que uma possível seleção de reprodutores visando à redução do Parâmetro Gratio poderia produzir, no mesmo sentido, um declínio no potencial genético para PeS e PeF, o que pode não ser desejável. Em relação às características de carcaça, o Gratio apresentou associação positiva e de maior magnitude com as medidas de espessura de gordura subcutânea ($0,11 \pm 0,02$ e $0,15 \pm 0,02$ com EG e EGP8, respectivamente), em comparação com a AOL ($0,08 \pm 0,02$). Da mesma forma, a correlação genética estimada entre ES e Gratio foi menor do que os coeficientes estimados entre PS e MS com Gratio ($0,15 \pm 0,02$; $0,23 \pm 0,02$ e $0,23 \pm 0,02$, respectivamente). Estes resultados indicam que, de maneira geral, a seleção de reprodutores baseada exclusivamente em menores valores genéticos para o Parâmetro Gratio pode ocasionar respostas correlacionadas indesejáveis a longo prazo na composição corporal dos animais ao sobreano, tanto no caso das medidas obtidas por ultrassonografia em tempo real, quanto em relação aos escores atribuídos visualmente. A inclusão dos parâmetros Gama e/ou Gratio nos índices de seleção pode auxiliar na modificação gradual da desaceleração do crescimento dos animais. No entanto, considerando as características usualmente utilizadas na inferência sobre a precocidade de terminação em bovinos da raça Nelore, estes parâmetros não parecem ser bons indicadores para este atributo.

Palavras-chave: características de crescimento; composição morfológica; escores visuais; inferência bayesiana; Nelore; parâmetro gama; parâmetro gratio; qualidade de carcaça; regressão aleatória

Abstract

SILVEIRA, Daniel Duarte da. **Genetic parameters for deceleration of growth: Alternatives in the inference about the finishing precocity in beef cattle.** 2017. 75f. Master's Degree Thesis in Animal Science - Graduate Program in Animal Science, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2017.

The aim of this study was to infer about the finishing precocity of Nelore beef cattle through obtaining genetic parameters for growth deceleration and genetic associations of these with weights (YW: yearling weight, FW: final weight), measures related to carcass quality at yearling (LMA: loin eye area, BF: subcutaneous fat thickness in the ribs, RF: rump fat thickness) and to morphological composition at yearling (BS: body structure visual score, PS: finishing precocity visual score, MS: muscling visual score). The phenotypic and pedigree information used were obtained from the National Association of Breeders and Researchers (ANCP) database. To obtain the growth deceleration parameters was performed a genetic evaluation of the animals using a random regression model on linear segmented polynomials, being that the (co)variance components were estimated through Bayesian inference. The Gama Parameter for each animal was obtained from the second derivative of the quadratic function used to adjust the estimated growth curve for their progeny over the time period studied. The Gratio Parameter for each animal was given by the ratio between the average daily gains in body weight (ADG) post- and pre-weaning obtained based on the estimated growth curve for their progeny. To determine the relationships between the Gama and Gratio parameters with the other studied traits, (co)variances components and genetic parameters were estimated through bi-trait analyzes using the Bayesian method. All evaluated traits showed genetic variability and should respond to direct selection. As maternal heritability for weights measured until weaning presented low heritability, genetic improvement for maternal ability by selection could be slow in these herds. For direct genetic effect, weight at 365 days of age showed a good indicator of weight up to 700 days (ages close to slaughter), with a genetic correlation higher than 0.90. Maternal genetic correlation between weights at 120 and 205 days of age showed a high magnitude (0.99), indicating that the weight close to weaning is a good indicator of maternal ability in the pre-weaning period. Direct genetic correlations estimated between the Gama Parameter with YW and FW presented favorable directions, however, with almost zero magnitudes. In relation to the traits routinely used as indicators of finishing precocity in beef cattle, the Gama Parameter showed low or no genetic correlation, suggesting that this parameter is not a good indicator of the precocity evaluated by BF, RF, PS and MS. The genetic associations estimated between LMA and BS with the Gama Parameter indicate that the selection of animals for finishing precocity based on the Gama Parameter would lead over several generations to small increases in the genetic values for LMA and BS. The Gratio Parameter showed a positive and low to moderate genetic association with the other studied traits, ranging from 0.08 ± 0.02 to 0.37 ± 0.02 . The estimated correlations

between Gratio and YW and FW were more expressive and showed similarity among them, indicating that a possible selection of bulls in order to reduce the Gratio Parameter could produce, in the same sense, a decline in the genetic potential for YW and FW, which may not be desirable. In relation to the carcass traits, Gratio presented a positive genetic association and of greater magnitude with the measurements of subcutaneous fat thickness (0.11 ± 0.02 and 0.15 ± 0.02 with BF and RF, respectively), compared to LMA (0.08 ± 0.02). Likewise, genetic correlation between BS and Gratio was lower than the coefficients estimated between PS and MS with Gratio (0.15 ± 0.02 , 0.23 ± 0.02 and 0.23 ± 0.02 , respectively). In general, these results indicate that the selection of sires based exclusively on lower genetic breeding values for Gratio Parameter may cause long-term undesirable correlated responses in the yearling body composition of the animals, when evaluated by carcass traits obtained by ultrasound or using visual scores attribution. The inclusion of the Gama and/or Gratio Parameters in the selection indexes can promote the gradual modification in the animals' growth deceleration. However, considering the traits usually used in the inference about the finishing precocity in Nelore beef cattle, these parameters are merely poor indicator for this attribute.

Keywords: bayesian inference; carcass quality; gama parameter; gratio parameter; growth traits; morphological composition; Nelore; random regression; visual scores

Lista de Figuras

Figura 1	Ilustração do Sistema de Avaliação Morfológica (SAM-ANCP).....	19
Figura 2	Gráfico da distribuição de frequências dos escores visuais de estrutura (ES), precocidade (PS) e musculosidade (MS) ao sobreano em bovinos da raça Nelore.....	28
Figura 3	Gráfico do número de observações (colunas), médias e respectivos desvios-padrão (linha e barras) para o peso corporal de acordo com as classes de idade em bovinos da raça Nelore.....	54
Figura 4	Gráfico das estimativas de herdabilidades para os efeitos direto e materno e variância de ambiente permanente como proporção da variância fenotípica total (PE/VP) para os efeitos direto (PED/VP) e materno (PEM/VP) para o peso corporal de bovinos da raça Nelore.....	55
Figura 5	Gráficos das estimativas de correlações genético-aditivas para os efeitos direto (cd ("idade x", "i-ésima idade")) e materno (cm ("idade x", "i-ésima idade")) para o peso corporal de bovinos da raça Nelore.....	56
Figura 6	Gráficos das distribuições de frequências para os parâmetros Gama e Gratio em bovinos da raça Nelore.....	57

Lista de Tabelas

Tabela 1	Descrição das características de crescimento, de carcaça e escores visuais analisadas na raça Nelore.....	29
Tabela 2	Efeitos incluídos nos modelos estatísticos para as características avaliadas na raça Nelore.....	30
Tabela 3	Médias, desvios-padrão e intervalos de alta densidade <i>a posteriori</i> (95%) dos componentes de variância e herdabilidades estimados para características de crescimento, de carcaça e escores visuais em bovinos da raça Nelore.....	33
Tabela 4	Médias e desvios-padrão das correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) entre as características estudadas em rebanhos da raça Nelore.....	34
Tabela 5	Mudanças genéticas anuais entre 2002 e 2014 estimadas para características de crescimento, de carcaça e escores visuais em bovinos da raça Nelore.....	35
Tabela 6	Descrição das características de crescimento, de carcaça, escores visuais e parâmetros Gama e Gratio analisados na raça Nelore.....	48

Tabela 7	Médias, desvios-padrão e intervalos de alta densidade <i>a posteriori</i> (95%) dos componentes de variância e herdabilidades estimados para as características de crescimento, de carcaça, escores visuais e parâmetros Gama e Gratio analisados na raça Nelore.....	59
Tabela 8	Médias, desvios-padrão (SD) e intervalos de alta densidade <i>a posteriori</i> (IAD) das correlações genéticas estimadas entre os parâmetros Gama e Gratio com as características de crescimento, carcaça e composição morfológica estudadas em rebanhos da raça Nelore.....	60

Sumário

1 Introdução geral	13
1.1 Objetivos	15
1.2 Hipóteses	16
2 Revisão da literatura	17
2.1 Características de crescimento no melhoramento animal	17
2.2 Ultrassonografia em tempo real e a seleção para qualidade de carcaça	18
2.3 Escores visuais e a seleção para composição morfológica	18
2.4 Regressão aleatória na análise de medidas repetidas	20
2.5 Desaceleração do crescimento: parâmetros Gama e Gratio	21
3 Capítulo 1 – Estudo genético quantitativo de características de crescimento, carcaça e composição morfológica de bovinos de corte	25
3.1 Introdução	25
3.2 Material e métodos	26
3.3 Resultados	32
3.4 Discussão	36
3.5 Conclusões	42
4 Capítulo 2 – Parâmetros relacionados à desaceleração do crescimento de bovinos e associações com características de crescimento, qualidade de carcaça e composição morfológica	43
4.1 Introdução	43
4.2 Material e métodos	45
4.3 Resultados	53
4.4 Discussão	60
4.5 Conclusões	66
5 Considerações finais	68
Referências bibliográficas	69

1 Introdução geral

O Brasil é o maior exportador de carne bovina do mundo, ao lado da Índia, alcançando o montante de 1.850 toneladas em equivalentes carcaça (USDA, 2016). Os diferentes cortes cárneos perfazem 9% dos produtos de exportação na balança comercial brasileira (SECEX/DEAEX, 2016), o que proporciona à bovinocultura de corte posição relevante na economia do país.

O rebanho nacional é composto predominantemente por animais de raças zebuínas com ênfase à raça Nelore (ABIEC, 2015a). A excelente adaptabilidade da subespécie *Bos taurus indicus* ao ambiente tropical, que corresponde a grande parte do território brasileiro, pode ser explicada, em parte, devido ao surgimento em nível evolutivo de alelos ligados à termotolerância (HANSEN, 2004). Além disso, estes animais também parecem ser mais resistentes a parasitas como o carrapato (*Rhipicephalus microplus*) (IBELLI et al., 2012) e mais adaptados ao aproveitamento de forragens menos nutritivas (HUNTER; SIEBERT, 1985). Entretanto, quando comparados a animais de raças britânicas (*Bos taurus taurus*), por exemplo, são tidos como mais tardios em termos de maturação (TURNER, 1980).

Tendo em vista a importância do gado zebuíno para a pecuária tropical, os programas de melhoramento têm buscado alternativas para a identificação de animais geneticamente superiores, eminentemente no que concerne à precocidade de terminação. Este atributo permanece evidente em razão de sua importância no aperfeiçoamento dos índices produtivos (FARIA et al., 2009a), ou seja, devido à sua estreita relação com a viabilidade econômica dos sistemas pecuários. Não obstante – além da precocidade de terminação – a qualidade da carcaça e a composição morfológica também são aspectos relevantes ao melhoramento de bovinos de corte. Dessa forma, igualmente ao encurtamento do ciclo produtivo, há grande demanda por carcaças e carnes de melhor qualidade.

Em bovinos de corte, atualmente dois grupos de avaliações têm ganhado destaque: as mensurações *in vivo* obtidas por ultrassonografia em tempo real e a atribuição de escores visuais. Estudos recentes envolvendo rebanhos da raça Nelore têm evidenciado a importância das características relacionadas a estas mensurações e indicam que, em função da magnitude dos coeficientes de herdabilidade estimados, é esperada uma rápida resposta à seleção individual (YOKOO et al., 2009; YOKOO et al., 2010; GORDO et al., 2012; BONIN et al., 2015).

As relações entre características obtidas por ultrassonografia e por atribuições visuais, embora pareçam ter direções favoráveis do ponto de vista genético, indicam que a intensidade das mudanças em termos de respostas correlacionadas pode ser pequena. No caso da seleção para qualidade de carcaça baseada na informação fenotípica de escores visuais, as respostas correlacionadas tendem a ser menores do que quando se considera, a uma mesma intensidade, a seleção direta para medidas de área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea (nas costelas e na garupa) obtidas *in vivo* por ultrassonografia em tempo real (GORDO et al., 2012; BONIN et al., 2015). Porém, cabe ressaltar que a atribuição de escores visuais possui vantagens no sentido de agilizar a obtenção de dados fenotípicos, sendo realizada relativamente cedo na vida do animal e permitindo a avaliação de um grande número de animais, sem a necessidade de submetê-los a mensurações (BOLIGON; ALBUQUERQUE, 2010).

A utilização de características medidas por ultrassom e escores visuais como critérios de seleção nos rebanhos de corte vêm possibilitando o melhoramento da qualidade de carcaça, precocidade de terminação e composição morfológica dos animais. Entretanto, é essencial o estudo e desenvolvimento de novas metodologias que auxiliem os pecuaristas na realização dos objetivos de seleção e possam proporcionar, adicionalmente, melhores resultados em termos de custos em sua implementação.

Nas fazendas de corte, em especial nas que fazem parte de programas de melhoramento genético, a coleta de dados fenotípicos dos animais é um manejo de rotina. Geralmente, nestas ocasiões os animais têm o peso corporal registrado, e esta informação é importante, tanto para a avaliação genética, quanto para a gestão operacional da propriedade. No entanto, apenas a inclusão de características de crescimento nas avaliações genéticas, considerando-se os modelos multicaracterísticas tradicionais, não estaria sendo suficiente para a identificação de

animais com melhores valores genéticos para características de carcaça e acabamento precoce (DUITAMA et al., 2015). Neste sentido, as análises de regressão aleatória no contexto dos modelos mistos (KIRKPATRICK et al., 1990) têm se tornado populares nos últimos anos (BERTIPAGLIA et al., 2015) e esta abordagem longitudinal na análise de medidas repetidas de peso corporal poderia auxiliar na obtenção de parâmetros genéticos para a desaceleração do crescimento, isto é, uma possível alternativa na inferência sobre a precocidade dos animais.

Cabe ressaltar que em bovinos de corte esta proposta metodológica é pioneira e o estudo em nível genético da associação de parâmetros relacionados à desaceleração do crescimento com a precocidade de terminação pode trazer inovações científicas importantes para o mercado brasileiro de carnes, traduzidas em incremento na eficiência dos sistemas pecuários, além da redução de custos de produção.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de inferir sobre a precocidade de acabamento dos animais mediante a obtenção de parâmetros genéticos de desaceleração do crescimento, como Gama e Gratio. Complementarmente, foram estudadas as relações destes parâmetros com medidas associadas à qualidade da carcaça (obtidas por ultrassonografia em tempo real) e à composição morfológica (escores visuais) de bovinos de corte da raça Nelore mantidos em condições extensivas de criação no Brasil.

1.1.2 Objetivos específicos

- I. Estimar parâmetros genéticos para características de crescimento (peso ao nascer, peso à desmama e peso ao sobreano), carcaça (área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura subcutânea na garupa ao sobreano) e composição morfológica (escores visuais de estrutura, precocidade e musculosidade ao sobreano).
- II. Estimar correlações genéticas e fenotípicas entre as características de crescimento, carcaça e composição morfológica estudadas.

- III. Obter estimativas de mudanças genéticas anuais para o peso ao nascer, peso à desmama e peso ao sobreano; área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura subcutânea na garupa ao sobreano; e estrutura, precocidade e musculosidade ao sobreano.
- IV. Obter valores genéticos para as curvas de crescimento dos animais no intervalo do nascimento até 700 dias de idade, utilizando modelo de regressão aleatória ajustando funções *splines*.
- V. Obter os parâmetros de desaceleração do crescimento com base nas curvas de crescimento estimadas para a progênie de cada animal, obtidas mediante avaliação genética empregando modelo de regressão aleatória.
- VI. Estimar os parâmetros genéticos e correlações entre os parâmetros Gama e Gratio (pseudocaracterísticas) e as demais características estudadas.

1.2 Hipóteses

- I. Os parâmetros Gama e Gratio podem ser utilizados como indicadores na seleção para precocidade de terminação em bovinos de corte.
- II. As associações genéticas dos parâmetros Gama e Gratio com características de crescimento, carcaça e composição morfológica são favoráveis e sua inclusão nos índices de seleção aplicados à raça Nelore deve contribuir positivamente na obtenção de animais mais viáveis economicamente, com melhores carcaças e composição morfológica adequada aos ambientes de produção brasileiros.
- III. O Parâmetro Gama possui correlação genética nula com o peso corporal em idades mais avançadas (700 dias).

2 Revisão da literatura

2.1 Características de crescimento no melhoramento animal

Na pecuária de corte brasileira, os programas de melhoramento genético têm priorizado a seleção para características de crescimento como o peso corporal, principalmente em idades mais jovens (BOLIGON et al., 2009a; BOLIGON et al., 2013). Em geral, as observações de peso corporal são ajustadas a idades padrão e analisadas em modelos multicaracterísticas. Vários estudos realizados com rebanhos da raça Nelore relatam que estas características possuem coeficientes de herdabilidade com magnitudes medianas a altas, podendo responder rapidamente à seleção direta (GIANNOTTI et al., 2005; BOLIGON et al., 2009a; SHIOTSUKI et al., 2009; YOKOO et al., 2010; GORDO et al., 2012; ZUIN et al., 2012). Além disso, as correlações genéticas estimadas entre as medidas de peso corporal obtidas em idades padrão sugerem que o melhoramento em uma das características envolve, necessariamente, mudanças de mesmo sentido para as demais (BOLIGON et al., 2009b; LOPES et al., 2013).

Observando esta possível tendência nas respostas correlacionadas, alguns autores têm sugerido alternativas à seleção exclusivamente baseada em medidas de peso corporal (KOURY FILHO et al., 2010; BERTIPAGLIA et al., 2015). Neste sentido, além de não ser suficiente para identificar animais superiores para outras características importantes na bovinocultura de corte, como acabamento precoce e qualidade de carcaça (DUITAMA et al., 2015), a seleção de animais mais pesados em idades jovens poderia trazer respostas indesejáveis no peso corporal ao nascer e à idade adulta (BOLIGON et al., 2010a; PEDROSA et al., 2010). Isto é relevante principalmente em rebanhos de matrizes criadas a pasto, nos quais, a forte associação do peso adulto com os custos de manutenção dos animais (JENKINS; FERRELL, 1994) poderia proporcionar resultados econômicos deficitários.

2.2 Ultrassonografia em tempo real e a seleção para qualidade de carcaça

A pecuária de corte tem como principal objetivo a obtenção de carcaças e carnes de qualidade, ou seja, a incorporação de valor comercial ao seu produto final. Na perspectiva nacional, em relação ao gado zebuino, Yokoo et al. (2010) ressaltam que há consenso sobre a necessidade de melhoramento da qualidade da carcaça destes animais. Neste sentido, uma das alternativas empregadas na inferência sobre este atributo é a obtenção de medidas *in vivo* tomadas por ultrassonografia em tempo real (MIAR et al., 2014; BONIN et al., 2015). Mensurações da área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EG) e espessura de gordura subcutânea na garupa (EGP8), por exemplo, têm sido relacionadas à musculosidade, ao rendimento de carcaça e ao rendimento dos cortes de alto valor comercial (LUCHIARI FILHO, 2000). Além disso, estudos recentes com animais da raça Nelore mostram estimativas de herdabilidade variando entre 0,21 e 0,44; 0,21 e 0,50 e 0,23 e 0,47 para AOL, EG e EGP8, respectivamente (YOKOO et al., 2010; GORDO et al., 2012; ZUIN et al., 2012; BONIN et al., 2015; CEACERO et al., 2016). Estes resultados evidenciam a variabilidade genética existente nos animais da raça Nelore e apoiam a inclusão destas características em índices de seleção que visem à qualidade de carcaça como objetivo, principalmente nas situações onde os criadores estejam inseridos em mercados que sigam este critério de remuneração.

Atualmente, ainda se observa que em grande parcela dos programas de avaliação genética conduzidos no Brasil, características reprodutivas e de crescimento compõem a quase totalidade dos índices de seleção, enquanto que características de carcaça são pouco utilizadas. Isto contribui para demonstrar que a seleção para características de carcaça e qualidade de carne ainda tem sido pouco explorada em zebuínos.

2.3 Escores visuais e a seleção para composição morfológica

De acordo com Duitama et al. (2015), o Brasil é um dos países que mais tem empregado esforços na inclusão de características morfológicas nos programas de melhoramento. A utilização de características avaliadas por escores visuais objetiva estimar a proporção dos diferentes tecidos da carcaça no momento do abate e identificar animais de acabamento precoce e, nesta perspectiva, também evitar o aumento no tamanho adulto (FARIA et al., 2009b).

Os escores visuais são atribuídos aos animais em idades padrão por avaliadores treinados e, dentre os sistemas desenvolvidos para a raça Nelore, há o Sistema de Avaliação Morfológica – ANCP-SAM (Figura 1), desenvolvido pela Associação Nacional dos Criadores e Pesquisadores - ANCP em parceria com a empresa de consultoria Brasil com Z[®] - Zootecnia Tropical.

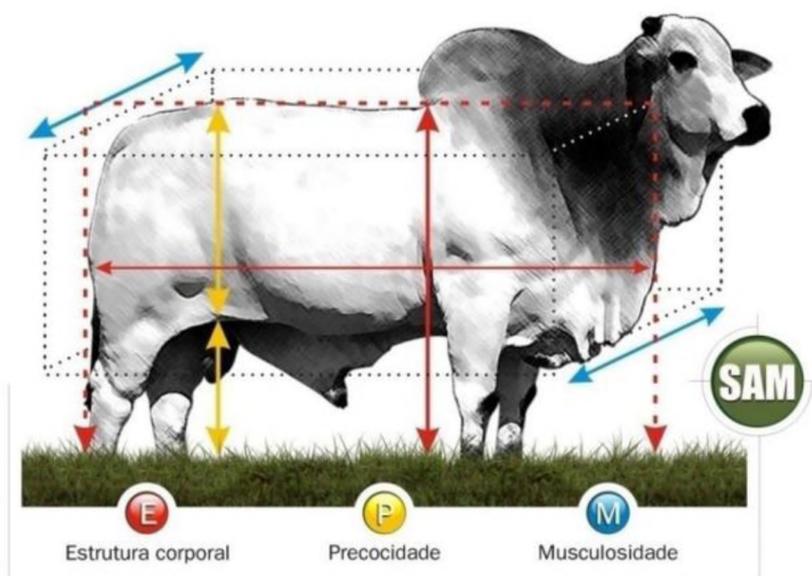


Figura 1 – Ilustração do Sistema de Avaliação Morfológica (SAM).
Fonte: Brasil com Z[®] - Zootecnia Tropical (2015)

Neste sistema são avaliados quesitos referentes à estrutura corporal (ES), precocidade (PS) e musculosidade (MS) com escores que variam de 1 (pior expressão da característica) a 6 (melhor expressão da característica). Conforme a Brasil com Z[®] - Zootecnia Tropical (2015), na avaliação da estrutura corporal prediz-se visualmente a área que o animal abrange visto de lado, olhando-se basicamente para o comprimento corporal e profundidade de costelas; no quesito precocidade é realizada a avaliação com base na deposição de gordura subcutânea, buscando animais de melhores proporções de profundidade de costelas em relação à altura de membros; e na apreciação da musculosidade é avaliada a convexidade e a distribuição das massas musculares, dando ênfase ao posterior e à linha dorso-lombar, regiões onde estão situados os cortes nobres.

Além de apresentar vantagens práticas relacionadas ao manejo e ao custo da mensuração (BOLIGON; ALBUQUERQUE, 2010), a inclusão de características avaliadas por escores visuais na seleção de bovinos de corte poderia proporcionar resultados satisfatórios na obtenção de biótipos desejáveis e mais adaptados às

condições de criação. Dessa forma, alguns programas de melhoramento estão utilizando diferenças esperadas na progênie para estrutura corporal, precocidade e musculabilidade que, juntamente com predições para o ganho em peso e outras características, compõem um índice geral de classificação do animal na avaliação genética.

2.4 Regressão aleatória na análise de medidas repetidas

As avaliações genéticas de bovinos de corte têm como principal fonte de informação as medidas fenotípicas de peso corporal tomadas ao longo da vida dos animais. Vários estudos têm sugerido que os modelos de dimensão infinita seriam mais apropriados para a análise de dados longitudinais (medidas repetidas no tempo) (KIRKPATRICK et al., 1990; ALBUQUERQUE; MEYER, 2001a; MEYER, 2004; BOLIGON et al., 2010a). Meyer (2004) ressalta benefícios decorrentes da modelagem mais adequada de variâncias e parâmetros genéticos e da eliminação dos ajustes arbitrários a idades padrão. Além disso, a acurácia da avaliação genética para o crescimento de bovinos de corte pode ser melhorada através da substituição de um modelo com quatro características (multicaracterísticas) por um modelo de regressão aleatória (MEYER, 2004).

Nos modelos de regressão aleatória é necessário estimar curvas com uma parte fixa – relativa ao efeito médio da população – uma parte aleatória ambiental – a qual evidencia os efeitos ambientais correlacionados entre as medições – e uma parte aleatória genético-aditiva – que denota os desvios relativos ao valor genético dos animais. Para tanto, existem diferentes tipos de funções que podem ser utilizadas no ajuste destes efeitos, cabendo destacar os polinômios ortogonais de Legendre (KIRKPATRICK et al., 1990) e os polinômios segmentados (*splines*).

Atualmente, a maioria dos estudos têm empregado polinômios de Legendre, devendo-se tamanha difusão ao fato de que estes polinômios não fazem nenhuma suposição a respeito da forma das curvas e, além disso, são fáceis de serem obtidos e aplicados (MRODE, 2014). No entanto, geralmente estas funções requerem altos graus de ajuste, principalmente para a modelagem de efeitos de ambiente permanente do animal (MEYER, 2001). Neste sentido, algumas fragilidades na implementação de análises de regressão aleatória sobre polinômios de Legendre têm sido apontadas, tais como: superparametrização dos modelos; problemas de convergência; obtenção de estimativas implausíveis de parâmetros, principalmente

quando os dados não são bem distribuídos; aumento da demanda computacional das análises, entre outras (BOHMANOVA et al., 2005; MEYER, 2005; BOLIGON et al., 2010a).

Uma alternativa que ofereceria certas vantagens em relação aos polinômios de Legendre seria o emprego de polinômios segmentados. Meyer (2005) ressalta que estas funções proporcionariam menores graus de ajuste e em casos mais simples os segmentos poderiam ser lineares, reduzindo os problemas numéricos associados a altos graus de ajuste. Além disso, o emprego de *splines* lineares proporciona sistemas de equações esparsos nos quais apenas dois coeficientes são diferentes de zero para uma dada observação (MRODE, 2014). Não obstante, em idades nas quais há maior número de registros, as estimativas obtidas com *splines* podem ser semelhantes às obtidas com polinômios de Legendre (reforçando o impacto positivo da adequada distribuição dos dados neste tipo de análise). Contudo, a incidência de problemas de inflação das estimativas de variância nas idades mais avançadas pode ser reduzida com o emprego dos polinômios segmentados (MEYER, 2005). Em uma perspectiva prática, Boligon et al. (2011) destacam que o uso deste tipo de função poderia ser útil, principalmente em avaliações genéticas de larga escala, em função do menor requerimento computacional e consumo de tempo nas análises.

2.5 Desaceleração do crescimento: parâmetros Gama e Gratio

Gama

O acúmulo de peso corporal nos animais em função do tempo geralmente segue uma tendência curvilínea, semelhante a uma trajetória balística. Usualmente, no campo da física, são empregados modelos quadráticos para descrever tais trajetórias. Nelkon e Parker (1970) exemplificam que quando uma bola é lançada para cima a uma aceleração constante e desprezando-se o atrito, a altura alcançada s a qualquer instante t é dada pela expressão: $s = ut - \frac{1}{2}gt^2$, onde u é a velocidade inicial e g é a constante gravitacional.

Formas de interpretação destes modelos quadráticos já têm sido estudadas com o objetivo de rever o método de mensuração da persistência de lactação em vacas leiteiras, visto que, a maioria das medidas empregadas anteriormente mostra médias a altas correlações genéticas com a produção de leite, o que poderia promover aumento das necessidades nutricionais dos animais, trazendo efeitos deletérios em

função do possível balanço energético negativo e da mobilização das reservas corporais (PEREIRA et al., 2015). Neste sentido, uma nova forma de mensuração da persistência de lactação proposta por Kamidi (2005) (sob o ponto de vista fenotípico) e por Pereira et al. (2015) (sob o ponto de vista genético) mostrou-se independente do nível de produção de leite. Isto significa que esta medida poderia ser incluída na avaliação genética de bovinos leiteiros, de tal forma que a seleção simultânea para persistência e produção de leite, principalmente em rebanhos criados em regiões tropicais, poderia aumentar a produção total sem a necessidade de aumentar a produção de pico, a qual é limitada pelas características nutricionais das pastagens tropicais (PEREIRA et al., 2015).

Em termos analógicos, a curva de produção acumulada de leite durante a lactação e a curva de acúmulo de peso corporal durante o crescimento são, em alguns aspectos, semelhantes. Se em bovinos leiteiros a desaceleração na produção está ligada à persistência de lactação e é independente da produção total de leite, em bovinos de corte a desaceleração do crescimento pode estar relacionada à precocidade do animal e, na mesma perspectiva, ser independente do peso final.

Conforme sugerido na seção 2.1, pode-se observar que a bovinocultura de corte tem enfrentado alguns obstáculos na busca por animais mais rentáveis. A seleção praticada atualmente, baseada em características de crescimento como peso e ganhos em peso, deve resultar, na mesma direção, em resposta correlacionada desfavorável, em função das correlações genéticas de mediana a alta magnitude com o peso adulto (BOLIGON et al., 2010a; REGATIERI et al., 2012). Isto pode conduzir ao aumento dos custos de manutenção, principalmente em rebanhos de matrizes criadas a pasto. Todavia, cabe ressaltar que animais de maior precocidade geralmente possuem menor tamanho e começam a depositar gordura a um menor peso (LUCHIARI FILHO, 2000).

Neste seguimento, o raciocínio desenvolvido por Kamidi (2005) e Pereira et al. (2015) a partir da interpretação e adaptação do modelo quadrático à mensuração da persistência de lactação em vacas leiteiras pode ser estendido de forma que, em bovinos de corte, o peso acumulado y à idade t poderia ser representado simplificadaamente por: $y = \beta t + \gamma t^2 + \varepsilon$, onde β e γ são constantes e ε representa o erro aleatório associado ao modelo. O parâmetro β estaria associado ao pico estimado de ganho em peso diário. A constante de desaceleração γ restringiria o acúmulo de peso após o impulso inicial ao pico (análoga à força gravitacional que atrai um projétil

em direção à terra). Deste modo, a taxa de declínio no peso acumulado à idade t seria dada pela primeira derivada: $y' = \beta + 2\gamma t$ e, na mesma perspectiva, a desaceleração no acúmulo de peso ao longo do período considerado seria o valor da segunda derivada: $y'' = 2\gamma$.

Em extensão a esta abordagem, o Parâmetro Gama (γ) relacionado a cada animal poderia ser derivado a partir de um modelo quadrático aplicado ao ajuste da curva de crescimento estimada para a sua progênie. Esta curva seria obtida mediante avaliação genética por modelo de regressão aleatória, considerando as predições das diferenças esperadas na progênie (efeito genético-aditivo direto) para o peso corporal entre o nascimento e os 700 dias de idade, acrescidas da curva média estimada para a população neste mesmo intervalo de idade. Desta forma, seria possível a utilização do Parâmetro Gama como uma pseudocaracterística indicadora, representada pelo valor da segunda derivada das funções quadráticas resultantes (valor do Parâmetro Gama para cada animal). Assim, este parâmetro estaria relacionado, em nível genético, ao acúmulo de peso no tempo e descreveria a desaceleração do crescimento.

Uma vez verificada, em relação ao peso final de bovinos de corte, tendência semelhante à relatada em bovinos leiteiros por Pereira et al. (2015) no tocante à independência genética entre este parâmetro e a produção total de leite, o Parâmetro Gama (γ) poderia ser de grande utilidade em estudos sobre a precocidade de terminação de bovinos de corte, definida pela velocidade com que o animal atinge a puberdade, ocasião em que reduz o crescimento ósseo, diminui a taxa de crescimento muscular e é intensificado o aumento dos adipócitos, ocorrendo deposição de gordura na carcaça. Seria, portanto, uma possível alternativa de seleção de touros visando melhorias na precocidade de terminação, sem alterações no tamanho.

Gratio

As características de crescimento como peso corporal e ganhos em peso em determinados períodos têm sido amplamente utilizadas na seleção de bovinos de corte. Neste sentido, suas relações com outras características de importância têm sido estudadas visando à obtenção de animais com maior velocidade de crescimento, composição morfológica e tamanho adulto adequados (TORAL et al., 2011; REGATIERI et al., 2012; EVERLING et al., 2014). Da perspectiva da velocidade de crescimento, em estudo com animais da raça Angus, Everling et al. (2014) utilizaram

uma medida baseada em valores de ganho em peso considerados ideais do nascimento à desmama ou da desmama ao sobreano e o ganho médio diário em cada respectivo estágio, obtendo valores de 1 (animais menos precoces) a 12 (animais mais precoces). No entanto, as correlações genéticas estimadas por estes autores entre estas medidas de velocidade de crescimento e as medidas de ganho médio diário comumente utilizadas com o escore visual de precocidade foram similares.

Uma abordagem considerando a razão (Parâmetro Gratio) entre os ganhos médios diários de peso corporal pós-desmama (entre 205 e 700 dias de idade) e pré-desmama (entre o nascimento e 205 dias de idade), obtidos com base em curvas de crescimento estimadas para a progênie de cada animal, poderia fornecer uma alternativa na mensuração da taxa de crescimento, originando uma medida proporcional do potencial genético-aditivo de crescimento na fase pós-desmama em relação ao período pré-desmama. Para tanto, de modo semelhante ao Parâmetro Gama, a curva de crescimento estimada para a progênie do animal seria composta pelas diferenças esperadas na progênie (efeito genético-aditivo direto) para o peso corporal entre o nascimento e os 700 dias de idade, acrescidas da curva média estimada para a população neste período. Neste sentido, quanto menores os valores de Gratio, mais precoce seria a progênie do animal considerado, uma vez que a taxa de ganho diário, em termos genéticos, teria uma expressão decrescente no período pós-desmama, ou seja, os animais teriam potencial genético para atingirem a maturidade mais cedo. Deste modo, esta razão poderia ser utilizada como uma pseudocaracterística em estudos sobre a precocidade de terminação em bovinos de corte.

3 Capítulo 1 – Estudo genético quantitativo de características de crescimento, carcaça e composição morfológica de bovinos de corte

3.1 Introdução

A competitividade da pecuária de corte brasileira tem sido relevante para o destaque do Brasil no cenário mundial de produção de carnes. O país tem se mantido no topo da lista dos maiores exportadores (USDA, 2016), o que evidencia a inegável importância do agronegócio para a economia. No entanto, é natural que a abertura de mercados imponha forte concorrência ao produto nacional. Neste sentido, o melhoramento genético animal representa uma ferramenta importante para manter a competitividade do setor, seja pelo incremento perene dos índices produtivos das fazendas de corte, seja pela atração de investimentos e novas tecnologias.

De acordo com Campos et al. (2014), a seleção genética deve ser reflexo das condições econômicas e dos ambientes de produção onde os animais são criados. Em resposta a uma parte desta premissa, os programas de melhoramento têm buscado a obtenção de animais mais adaptados às condições de criação, principalmente mediante a prospecção de características de importância econômica e de critérios de seleção que aproximem os pecuaristas de seus objetivos.

Dentre as características de interesse avaliadas atualmente pelos programas de melhoramento, cabe ressaltar a concepção de três grupos: o das características relacionadas ao crescimento, das características de carcaça e das características relacionadas à composição morfológica dos animais. No tocante às características de crescimento, as medidas de peso corporal avaliadas em idades padrão são largamente utilizadas e a seleção de animais mais pesados em idades jovens é uma prática usual, no entanto, pode acarretar em mudanças indesejáveis em idades posteriores (BOLIGON et al., 2009a). Já com respeito às características de carcaça, Gordo et al. (2012) relatam que, embora estas sejam importantes, têm tido adoção

relativamente recente nos programas de melhoramento, em relação às características de crescimento. Estes autores também sugerem que a ultrassonografia em tempo real seria a alternativa mais vantajosa para a obtenção destas mensurações.

A inclusão de características como área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura subcutânea na garupa nos critérios seleção poderia auxiliar no incremento do mérito genético de carcaça e da cobertura de gordura (YOKOO et al., 2010). Outra alternativa para a seleção de características relacionadas à carcaça e à composição corporal dos animais, embora de forma indireta, é a atribuição de escores visuais de estrutura, precocidade e musculosidade. Alguns estudos sugerem que esta alternativa seria rápida, de baixo custo e, além disso, seria capaz de proporcionar ganho genético satisfatório em relação à composição corporal (KOURY FILHO et al., 2009; FARIA et al., 2010).

Para que os programas de melhoramento sejam bem-sucedidos é essencial que os parâmetros genéticos e as relações entre as características de importância econômica sejam frequentemente estudados. As mudanças genéticas estimadas ao longo do processo de seleção também fazem parte de uma constante inovação, permitindo a validação e/ou o aperfeiçoamento dos índices de seleção empregados. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo o estudo genético quantitativo de medidas fenotípicas relacionadas ao crescimento (peso ao nascer, à desmama e ao sobreano), à qualidade de carcaça (área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura subcutânea na garupa) e à composição morfológica (escores visuais de estrutura, precocidade e musculosidade), visando à estimação de parâmetros genéticos, associações genéticas e fenotípicas e tendências genéticas para estas características.

3.2 Material e métodos

Em decorrência da utilização de informações constituintes de um banco de dados já consolidado, não houve, no presente estudo, qualquer implicação passível de ser apreciada pela comissão de ética da instituição (Comissão de Ética em Experimentação Animal (CEEA) - UFPel).

Animais e características

As informações utilizadas integram a base de dados da Associação Nacional dos Criadores e Pesquisadores – ANCP, responsável por seu armazenamento e

avaliação genética de animais das raças Nelore, Tabapuã, Guzerá e Brahman. No presente estudo foram analisados registros fenotípicos de animais da raça Nelore nascidos entre 2002 e 2014, criados em 60 diferentes fazendas de forma extensiva em regiões de clima tropical no Brasil.

Nos rebanhos estudados, registros de peso corporal (kg) são obtidos periodicamente com o auxílio de balanças aferidas e, neste trabalho, as seguintes características foram estudadas: peso ao nascer (PeN) em kg – obtido próximo ao momento do nascimento dos animais; peso à desmama (PeD) em kg – obtido próximo aos 7 meses de idade; peso ao sobreano (PeS) em kg – obtido próximo aos 18 meses de idade.

Em relação à qualidade de carcaça, foram estudadas medidas *in vivo* obtidas ao sobreano (18 meses) mediante ultrassonografia em tempo real. Neste procedimento os animais são devidamente contidos e a captação das imagens é realizada por técnicos credenciados, sendo as seguintes características mensuradas: área de olho de lombo (AOL) em cm² – perímetro do músculo *Longissimus dorsi* no espaço entre a 12^a e a 13^a costelas; espessura de gordura subcutânea (EG) em mm – medida da espessura de gordura subcutânea depositada no espaço entre a 12^a e a 13^a costelas; espessura de gordura subcutânea na garupa (EGP8) em mm – medida da espessura de gordura subcutânea depositada na intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*, entre as tuberosidades dos ossos ílio e ísquio.

No que concerne à composição morfológica dos animais, foram utilizadas medidas obtidas mediante a atribuição de escores visuais ao sobreano (Figura 2) por avaliadores treinados, seguindo o Sistema de Avaliação Morfológica – ANCP-SAM. Neste sistema são avaliados quesitos referentes à estrutura corporal (ES), precocidade de terminação (PS) e musculosidade (MS), e são atribuídos a cada animal escores de 1 (pior expressão da característica) a 6 (melhor expressão da característica) em relação ao grupo de contemporâneos (GC) ao qual pertencem.

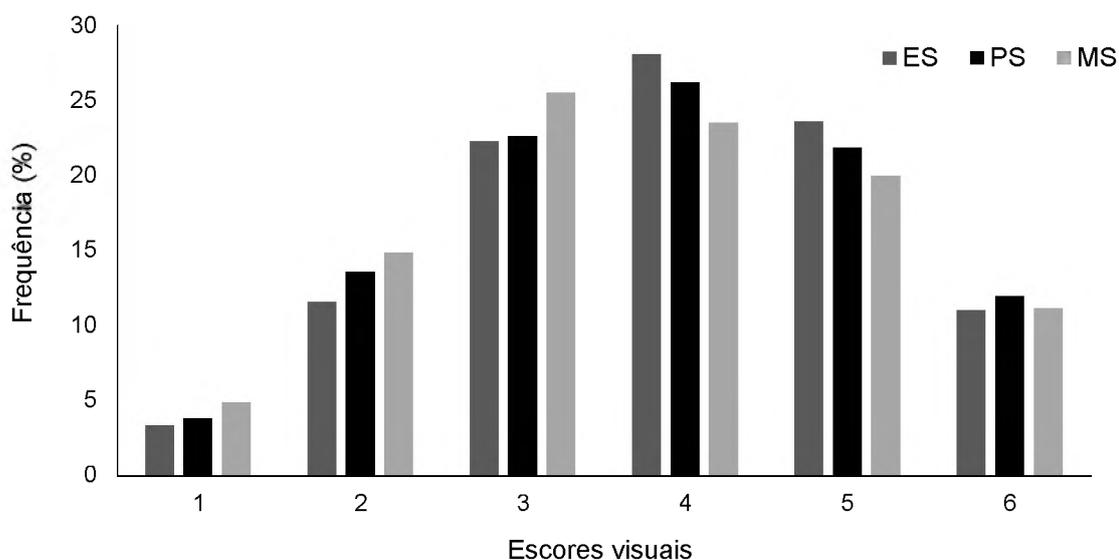


Figura 2 – Gráfico da distribuição de frequências dos escores visuais de estrutura (ES), precocidade (PS) e musculosidade (MS) ao sobreano em bovinos da raça Nelore.

Grupo de contemporâneos e consistência de dados

Os GC foram determinados a partir das combinações dos seguintes efeitos: PeN: sexo, fazenda, ano e estação de nascimento; PeD e PeS: sexo, fazenda, ano e estação de nascimento, manejo alimentar e lote de manejo; AOL, EG e EGP8: sexo, fazenda, ano e estação de nascimento, manejo alimentar, lote de manejo, técnico que capturou as imagens e laboratório que realizou o processamento das imagens; ES, PS, MS: sexo, fazenda, ano e estação de nascimento, manejo alimentar, lote de manejo e técnico que atribuiu os escores.

Em todas as análises, foram mantidos GC com no mínimo quatro observações. Para as características de PeN, PeD, PeS, AOL, EG e EGP8, mensurações que excediam 3,5 desvios-padrão acima ou abaixo da média do GC foram eliminadas. Para as características morfológicas de ES, PS e MS, os GC sem variabilidade (em que todos os animais possuíam o mesmo valor de atribuição do escore) foram excluídos (Tabela 1). O arquivo de genealogia utilizado para montar a matriz de parentesco continha identificação do animal, pai e mãe, totalizando 61.804 animais.

Tabela 1 – Descrição das características de crescimento, de carcaça e escores visuais analisadas na raça Nelore.

Descrição	Características ¹								
	PeN	PeD	PeS	AOL	EG	EGP8	ES	PS	MS
Número de animais	17.973	17.987	14.382	12.536	12.502	12.493	12.263	12.263	12.263
Média ± desvio-padrão	33,70±4,23	201,84±34,12	349,31±70,58	50,52±10,85	2,31±1,30	3,49±1,84	3,90±1,29	3,85±1,34	3,72±1,36
Mediana	-	-	-	-	-	-	4	4	4
Número de touros	713	763	623	606	606	604	582	582	582
Número de vacas	11.274	11.252	8.824	8.175	8.161	8.148	7.927	7.927	7.927
Número de grupo de contemporâneos	254	523	358	310	310	311	256	256	256
Média ± desvio-padrão para a idade do animal (dias)	-	216,60±20,49	538,72±27,82	531,53±45,27	531,50±45,25	531,48±45,22	524,51±40,97	524,51±40,97	524,51±40,97
Média ± desvio-padrão para a idade da vaca (anos)	5,93±2,94	6,00±2,97	6,04±3,04	6,00±3,02	6,00±3,02	6,01±3,02	5,97±2,98	5,97±2,98	5,97±2,98

¹ PeN: peso ao nascer (kg); PeD: peso à desmama (kg); PeS: peso ao sobreano (kg); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculabilidade ao sobreano (1 a 6).

Análises estatísticas

Os modelos utilizados nas análises para as diferentes características incluíram efeitos sistemáticos e aleatórios (Tabela 2).

Tabela 2 - Efeitos incluídos nos modelos estatísticos para as características avaliadas na raça Nelore.

Efeitos aleatórios	Características ¹								
	PeN	PeD	PeS	AOL	EG	EGP8	ES	PS	MS
Genético-aditivo direto	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Genético-aditivo materno	x	x	-	-	-	-	-	-	-
Ambiente permanente materno	x	x	-	-	-	-	-	-	-
Residual	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Efeitos sistemáticos									
Grupo de contemporâneos	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Idade do animal na mensuração (L, Q)*	-	x	x	x	x	x	x	x	x
Idade da mãe ao parto (L, Q)*	x	x	x	x	x	x	x	x	x

¹ PeN: peso ao nascer (kg); PeD: peso à desmama (kg); PeS: peso ao sobreano (kg); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculosidade ao sobreano (1 a 6).

* L e Q: covariáveis linear e quadrática, respectivamente.

Para a obtenção dos componentes de (co)variâncias e parâmetros genéticos foram realizadas análises multicaracterísticas, incluindo o peso à desmama em todas as análises, pelo método bayesiano e utilizando um amostrador de *Gibbs*, com o auxílio dos programas GIBBS1F90 (para análises incluindo somente características de expressão contínua) e THRGIBBSF90 (para análises incluindo características categóricas e contínuas) (MISZTAL, 2002). Foi assumida distribuição uniforme *a priori* para os efeitos sistemáticos e, para os componentes de (co)variâncias, distribuição *Wishart* invertida. As análises consistiram de uma cadeia com 800.000 ciclos, sendo descartados os primeiros 200.000 ciclos (*burn-in*), com as amostras sendo retiradas a cada 20 iterações (*thinning interval*), totalizando 30.000 amostras para a obtenção das distribuições posteriores de (co)variâncias e parâmetros. Para determinar a convergência das análises foram realizadas inspeções gráficas e testes estatísticos de Heldelberger e Welch (HELDELBERGER; WELCH, 1983) utilizando o pacote Coda (PLUMMER et al., 2006) do programa R (R Core Team, 2014).

O modelo geral utilizado pode ser descrito como:

$$y = X\beta + Z_1a + Z_2m + Wc + e$$

em que: y é o vetor de observações; β é o vetor de efeitos sistemáticos; a é o vetor dos valores genético-aditivos diretos de cada animal; m é o vetor dos valores genéticos maternos; c é o vetor dos efeitos de ambiente permanente materno e, e é o vetor de efeitos aleatórios residuais desconhecidos. As matrizes de incidência X , Z_1 , Z_2 e W relacionam β , a , m e c , respectivamente, às observações. Assumiu-se que os efeitos genético-aditivo direto, genético-aditivo materno e de ambiente permanente materno não eram correlacionados com o efeito residual. Os efeitos genético-aditivo materno e de ambiente permanente materno foram incluídos somente para o PeN e PeD.

As pressuposições assumidas nas análises foram: $E[y] = X\beta$; $\text{Var}(a) = A \otimes \Sigma_a$; $\text{Var}(m) = A \otimes \Sigma_m$; $\text{Var}(c) = I \otimes \Sigma_c$ e $\text{Var}(e) = I \otimes \Sigma_e$, em que Σ_a é a matriz de (co)variâncias genético-aditiva direta; Σ_m é a matriz de variância genético-aditiva materna; Σ_c é a matriz de variância de ambiente permanente materno; Σ_e é a matriz de (co)variâncias residuais; A é a matriz do numerador de parentesco; I é a matriz identidade; e \otimes representa o produto direto entre matrizes.

Os escores visuais foram analisados usando o seguinte modelo de limiar:

$$f(w_i|y_i) = \prod_{j=1}^{n_i} 1(l_{ij} < t_1)1(w_{ij} = 1) + 1(t_1 < l_{ij} < t_2)1(w_{ij} = 2) + 1(t_2 < l_{ij} < t_3)1(w_{ij} = 3) \\ + 1(t_3 < l_{ij} < t_4)1(w_{ij} = 4) + 1(t_4 < l_{ij} < t_5)1(w_{ij} = 5) + 1(t_5 < l_{ij})1(w_{ij} = 6)$$

em que: para cada característica i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$ ou 6), w_{ij} e l_{ij} são variáveis categóricas e escala subjacente da observação j , respectivamente; t_1 a t_5 são os limiares que definem a resposta categórica para cada característica e n_i representa o número total de dados para cada característica estudada. Foi definida distribuição inicial uniforme para os limiares.

As mudanças genéticas para as características estudadas foram estimadas por análise de regressão linear utilizando as médias aritméticas dos valores genéticos preditos para animais com medidas fenotípicas de acordo com o ano de nascimento. O teste “t” foi utilizado para testar a hipótese de que o coeficiente de regressão é igual a zero.

3.3 Resultados

As herdabilidades diretas *a posteriori* das medidas de peso corporal apresentaram magnitudes variando de mediana a alta (Tabela 3). Maior magnitude foi obtida para o coeficiente de herdabilidade do PeS ($0,45\pm 0,03$) em relação aos demais pesos estudados (PeN: $0,29\pm 0,03$, PeD: $0,32\pm 0,03$) (Tabela 3). De modo semelhante, as herdabilidades diretas médias estimadas para as características mensuradas por ultrassom – AOL, EG e EGP8 ($0,39\pm 0,03$, $0,30\pm 0,02$ e $0,36\pm 0,03$, respectivamente) e escores visuais – ES, PS e MS ($0,39\pm 0,03$, $0,47\pm 0,03$ e $0,41\pm 0,03$, respectivamente) foram de moderada magnitude.

De modo geral, as estimativas de herdabilidades maternas para as características obtidas até a desmama apresentaram baixa magnitude ($0,07\pm 0,01$ e $0,04\pm 0,01$ para PeN e PeD, respectivamente) (Tabela 3).

As medidas de peso corporal apresentaram correlações genéticas positivas entre si, variando entre $0,44\pm 0,06$ e $0,93\pm 0,02$ (Tabela 4). As correlações fenotípicas, por outro lado, mostraram menor magnitude em relação às correlações genéticas, variando entre $0,27\pm 0,01$ e $0,68\pm 0,01$ (Tabela 4).

As correlações genéticas obtidas entre os pesos corporais e as medidas de carcaça obtidas por ultrassom variaram entre $-0,15\pm 0,08$ e $0,53\pm 0,06$ (Tabela 4). De modo geral, o PeN, PeD e PeS apresentam associação positiva e de maior magnitude com a AOL em relação às demais características de carcaça avaliadas. Embora de magnitude mediana a baixa, foram estimadas correlações genéticas negativas entre PeN com EG e EGP8 e positivas entre pesos obtidos posteriormente (PeD e PeS) com EG e EGP8 (Tabela 4). As correlações fenotípicas estimadas entre os pesos e as características de carcaça seguiram tendência semelhante à observada nas correlações genéticas (Tabela 4).

O crescimento dos animais está geneticamente associado e de maneira positiva com a composição morfológica avaliada por atribuições visuais (Tabela 4). Os escores visuais analisados apresentaram correlação genética de maior magnitude com o PeD e PeS em relação ao PeN. Além disso, em todas as idades, os pesos apresentaram maior correlação genética com a ES em comparação à PS e MS (Tabela 4).

Foram estimados baixos valores de associações genéticas e fenotípicas entre AOL com EG e EGP8 (Tabela 4). Por outro lado, EG e EGP8 estão genética e fenotipicamente mais fortemente associadas.

Tabela 3 – Médias, desvios-padrão e intervalos de alta densidade *a posteriori* (95%) dos componentes de variância e herdabilidades estimados para características de crescimento, de carcaça e escores visuais em bovinos da raça Nelore.

Características ¹	PeN	PeD	PeS	AOL	EG	EGP8	ES	PS	MS
Médias (desvios-padrão)									
Variância genético-aditiva direta	3,68±0,40	187,17±17,21	505,85±35,39	11,55±1,00	0,18±0,02	0,44±0,04	0,85±0,09	0,84±0,07	0,74±0,07
Variância genético-aditiva materna	0,82±0,14	22,20±4,37	-	-	-	-	-	-	-
Variância de ambiente permanente materno	0,33±0,14	24,96±5,47	-	-	-	-	-	-	-
Variância residual	7,69±0,26	351,29±11,98	629,45±25,19	18,18±0,75	0,41±0,01	0,79±0,03	1,33±0,09	0,96±0,06	1,07±0,06
Herdabilidade direta	0,29±0,03	0,32±0,03	0,45±0,03	0,39±0,03	0,30±0,02	0,36±0,03	0,39±0,03	0,47±0,03	0,41±0,03
Herdabilidade materna	0,07±0,01	0,04±0,01	-	-	-	-	-	-	-
Intervalo de alta densidade <i>a posteriori</i> (95%)									
Variância genético-aditiva direta	2,96 a 4,50	154,40 a 221,80	350,50 a 486,50	9,64 a 13,60	0,15 a 0,21	0,36 a 0,51	0,68 a 1,04	0,70 a 0,99	0,62 a 0,88
Variância genético-aditiva materna	0,55 a 1,11	14,09 a 31,16	-	-	-	-	-	-	-
Variância de ambiente permanente materno	0,10 a 0,63	36,31 a 69,77	-	-	-	-	-	-	-
Variância residual	7,18 a 8,18	327,60 a 374,50	580,00 a 679,10	16,70 a 19,62	0,38 a 0,43	0,73 a 0,85	1,15a 1,50	0,84 a 1,08	0,99 a 1,18
Herdabilidade direta	0,24 a 0,35	0,27 a 0,37	0,39 a 0,50	0,33 a 0,45	0,26 a 0,35	0,30 a 0,41	0,33 a 0,45	0,40 a 0,53	0,35 a 0,47
Herdabilidade materna	0,04 a 0,09	0,02 a 0,05	-	-	-	-	-	-	-

¹ PeN: peso ao nascer (kg); PeD: peso à desmama (kg); PeS: peso ao sobreano (kg); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculossidade ao sobreano (1 a 6).

Tabela 4 – Médias e desvios-padrão das correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) entre as características estudadas em rebanhos da raça Nelore.

Características ¹	PeN	PeD	PeS	AOL	EG	EGP8	ES	PS	MS
PeN	-	0,61±0,06	0,44±0,06	0,13±0,07	-0,15±0,08	-0,10±0,07	0,47±0,06	0,18±0,06	0,22±0,06
PeD	0,30±0,01	-	0,93±0,02	0,53±0,06	0,02±0,08	0,01±0,08	0,92±0,02	0,62±0,05	0,65±0,05
PeS	0,27±0,01	0,68±0,01	-	0,46±0,05	0,16±0,06	0,13±0,06	0,89±0,02	0,55±0,04	0,58±0,04
AOL	0,07±0,01	0,37±0,01	0,46±0,01	-	0,07±0,06	0,05±0,06	0,33±0,06	0,32±0,06	0,38±0,05
EG	-0,04±0,01	0,07±0,01	0,16±0,01	0,15±0,01	-	0,69±0,04	0,08±0,07	0,36±0,06	0,33±0,06
EGP8	-0,03±0,01	0,04±0,01	0,18±0,01	0,15±0,01	0,57±0,01	-	0,07±0,07	0,31±0,06	0,31±0,06
ES	0,26±0,01	0,58±0,01	0,71±0,01	0,32±0,01	0,08±0,01	0,10±0,01	-	0,65±0,03	0,67±0,03
PS	0,13±0,01	0,39±0,01	0,56±0,01	0,34±0,01	0,22±0,01	0,24±0,01	0,56±0,01	-	0,98±0,01
MS	0,13±0,01	0,40±0,01	0,58±0,01	0,40±0,01	0,22±0,01	0,26±0,01	0,57±0,01	0,79±0,01	-

¹ PeN: peso ao nascer (kg); PeD: peso à desmama (kg); PeS: peso ao sobreano (kg); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculosidade ao sobreano (1 a 6).

Em relação aos escores visuais, AOL apresentou associações genéticas positivas e de moderada magnitude com ES, PS e MS ($0,33\pm 0,06$, $0,32\pm 0,06$ e $0,38\pm 0,05$, respectivamente) (Tabela 4). A EG e EGP8 mostraram baixa correlação genética com a ES ($0,08\pm 0,07$ e $0,07\pm 0,07$, respectivamente), estando mais associadas com a PS e MS, com as quais foram obtidas correlações genéticas positivas, variando de $0,31\pm 0,06$ a $0,67\pm 0,03$ (Tabela 4). Fenotipicamente, observou-se tendência semelhante à das associações genéticas entre estas características (Tabela 4).

Os escores visuais apresentaram correlações genéticas e fenotípicas positivas, com valores de $0,56\pm 0,01$ a $0,98\pm 0,01$ (Tabela 4), mostrando associação moderada entre ES e os demais escores e forte associação entre PS e MS.

As mudanças genéticas obtidas para as características estudadas (Tabela 5) indicam alterações significativas (exceto para o PeN) e favoráveis para todas as características de crescimento e escores visuais. Por outro lado, as características de carcaça mensuradas por ultrassonografia em tempo real não mostraram ganho genético significativo ao longo do período estudado.

Tabela 5 – Mudanças genéticas anuais entre 2002 e 2014 estimadas para características de crescimento, de carcaça e escores visuais em bovinos da raça Nelore.

Parâmetros	Características ¹								
	PeN	PeD	PeS	AOL	EG	EGP8	ES	PS	MS
Mudança genética anual	0,026	0,385*	0,880*	0,051	-0,002	0,001	0,029*	0,039*	0,050*
Erro padrão	0,012	0,119	0,256	0,035	0,003	0,004	0,008	0,009	0,011

¹ PeN: peso ao nascer (kg); PeD: peso à desmama (kg); PeS: peso ao sobreano (kg); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculosidade ao sobreano (1 a 6).

* Mudanças genéticas significativamente diferentes de zero ($P < 0,05$).

3.4 Discussão

As estimativas *a posteriori* dos coeficientes de herdabilidade direta indicam que todas as características estudadas devem responder à seleção individual (Tabela 3). As herdabilidades direta e materna estimadas para o PeN (Tabela 3) indicam que a seleção direta para essa característica deve auxiliar na obtenção de animais com peso adequado ao nascimento, sendo importante principalmente em rebanhos de novilhas e vacas jovens pela possibilidade de redução de incidência de partos distócicos. No entanto, a seleção para a habilidade materna ao nascimento das progênes deve apresentar lento ganho genético. Esses resultados são consistentes com os valores relatados em outros trabalhos conduzidos com animais da raça Nelore, nos quais as estimativas de herdabilidade direta variaram de 0,28 a 0,32 e para a herdabilidade materna mostraram baixas magnitudes (ALBUQUERQUE; MEYER, 2001a; ALBUQUERQUE; MEYER, 2001b; BOLIGON et al., 2011; PASSAFARO et al., 2016).

Em relação ao PeD e PeS, as herdabilidades diretas obtidas (Tabela 3) sugerem que o crescimento dos animais até o sobreano possui considerável influência de efeitos aditivos dos genes, principalmente para o PeS devido à maior magnitude estimada para esse parâmetro, indicando que deve ser esperada maior resposta à seleção para crescimento nessa idade. Para ambas as características, recentes pesquisas com animais da raça Nelore têm mostrado herdabilidades diretas semelhantes às obtidas no presente estudo (BOLIGON et al., 2010b; PEDROSA et al., 2010; YOKOO et al., 2010; BOLIGON et al., 2011; REGATIERI et al., 2012; YOKOO et al., 2015; ARAÚJO et al., 2016; PASSAFARO et al., 2016), além de baixos valores de herdabilidades maternas para o PeD (inferiores a 0,10), indicando que o progresso genético na seleção para a habilidade materna de reprodutores deve ser lento. Por outro lado, para animais da raça Brahman, Bertipaglia et al. (2015) estimaram herdabilidade direta superior (0,50) ao valor médio obtido no presente trabalho para o peso aos 205 dias de idade, ao utilizarem modelos multicaracterísticas e de regressão aleatória, no entanto, a herdabilidade materna estimada por estes autores também apresentou baixa magnitude (0,09).

As características de carcaça mensuradas por ultrassom apresentaram herdabilidades de medianas magnitudes (Tabela 3), com maior valor obtido para AOL em relação às demais medidas sugerindo, de modo geral, que as diferenças esperadas na progênie para AOL, EG e EGP8 podem ser utilizadas na seleção de touros que produzem progênes com carcaças de melhor qualidade. Os resultados

obtidos no presente estudo são similares aos relatados por Pinheiro et al. (2012) e Ceacero et al. (2016), ao avaliarem animais da raça Nelore com idade próxima aos 18 meses. No entanto, utilizando parte dos dados considerados no presente estudo, de animais nascidos entre 2002 e 2007, Gordo et al. (2012) apresentaram estimativas ligeiramente inferiores para as mesmas características de carcaça. Para animais de raças taurinas criados na Austrália, Reverter et al. (2000) estimaram herdabilidades superiores às obtidas neste estudo, principalmente para a espessura de gordura subcutânea obtida por ultrassom nas costelas e na garupa em animais da raça Angus. Por outro lado, para animais da raça Hereford, estes autores relataram resultados de magnitude semelhante ou até inferior aos do presente trabalho.

Como estimado no presente estudo (Tabela 3), os escores visuais de ES, PS e MS têm mostrado significativa variabilidade genética na raça Nelore (FARIA et al., 2009b; KOURY FILHO et al., 2009; YOKOO et al., 2009; FARIA et al., 2010; GORDO et al., 2012; DUITAMA et al., 2015). De modo geral, esses resultados indicam que a seleção baseada em características morfológicas atribuídas visualmente deve auxiliar na obtenção de futuras gerações de animais com uma composição corporal ideal ao sistema de produção e às necessidades do mercado. No Brasil, vários programas de avaliação genética utilizam escores visuais na busca por biótipos desejáveis, por permitirem identificar animais com maior desenvolvimento ponderal e, ao mesmo tempo, melhor conformação morfológica, precocidade de acabamento e musculabilidade.

Associações genéticas positivas de média a alta magnitude estimadas entre os pesos obtidos em idades padrão, principalmente em mensurações adjacentes (Tabela 4), foram relatadas em outras pesquisas envolvendo animais de raças zebuínas (DIAS et al., 2006; BALDI et al., 2010a, 2010b; BOLIGON et al., 2010a; BOLIGON et al., 2011). Cabe destacar que a seleção baseada no peso corporal em idades jovens pode influenciar de maneira desfavorável o mérito genético em idades posteriores devido à obtenção de gerações possivelmente mais pesadas em idades mais avançadas, fator indesejável principalmente em rebanhos de matrizes criadas a pasto, em função do aumento dos custos de manutenção (JENKINS; FERRELL, 1994).

O crescimento dos animais está mais associado à AOL quando comparado à EG e EGP8 (Tabela 4), sugerindo que a seleção de reprodutores para maior peso corporal deve proporcionar mudanças em médio ou longo prazo nas características de carcaça, em especial a AOL devido à resposta correlacionada. Outros estudos com

animais da raça Nelore também relataram maiores associações genéticas entre os pesos à desmama e ao sobreano com a área de olho de lombo, em relação à espessura de gordura subcutânea nas costelas e na garupa (YOKOO et al., 2010; GORDO et al., 2012; PINHEIRO et al., 2012; ZUIN et al., 2012; YOKOO et al., 2015).

As correlações genéticas e fenotípicas negativas, de mediana a baixa magnitude, observadas entre PeN com EG e EGP8 (Tabela 4) refletem a tendência esperada de que animais com maior tamanho ao nascimento, avaliado pelo peso, geralmente têm menor potencial para a deposição de gordura ao sobreano sendo, portanto, mais tardios. Estudos associando o peso ao nascer com características de carcaça obtidas por ultrassom não foram encontrados na literatura consultada.

As correlações genética e fenotípica obtidas entre PeN com ES (Tabela 4) sugerem que a utilização de reprodutores com diferenças esperadas na progênie próximas a zero para o PeN, ou seja, visando à obtenção de animais com peso ao nascer próximo à média da população, pode, em médio ou longo prazo, restringir o ganho genético para estrutura corporal avaliada ao sobreano nos rebanhos estudados. Esta resposta pode ser favorável, uma vez que nas ocasiões onde é necessário optar por reprodutores que apresentam classificação similar de acordo com o índice de seleção adotado, os pecuaristas frequentemente utilizam os escores visuais como critérios de decisão, sendo preferíveis os touros que apresentam maior diferença esperada na progênie para atribuição de escores de PS e MS, em relação à ES. Por outro lado, as associações obtidas entre PeN com PS e MS (Tabela 4) indicam que a seleção visando PeN mediano, não deve provocar alterações importantes na precocidade e musculabilidade das progênies avaliadas ao sobreano.

De modo geral, os resultados do presente estudo sugerem a existência de uma pequena proporção de genes de efeito aditivo que influenciam conjuntamente o crescimento fetal, e conseqüentemente o PeN, e o desenvolvimento do animal em relação à precocidade e à musculabilidade ao sobreano. No entanto, apesar das correlações fenotípicas entre o PeN e os escores de PS e MS terem apresentado baixa magnitude neste trabalho, alguns autores sugerem que, em relação ao crescimento pré-parto, fatores não genéticos, como a programação fetal, ou seja, o efeito exercido pela variação no aporte nutricional das matrizes ao longo da gestação no desenvolvimento em nível celular, principalmente dos tecidos muscular e adiposo do feto, seria fator de grande importância no desempenho das progênies de bovinos de corte em idades posteriores no que concerne aos atributos relacionados tanto ao

crescimento em si, quanto à qualidade da carne (DU et al., 2010; FUNSTON et al., 2010). De modo geral, estudos que relacionem o peso ao nascer com escores visuais são escassos, não sendo obtidos resultados para comparação na literatura consultada.

As correlações genéticas de altas magnitudes estimadas entre PeD e PeS com os escores visuais, principalmente com ES (Tabela 4), indicam que a seleção para peso corporal à desmama e ao sobreano pode auxiliar na obtenção de animais geneticamente superiores em composição corporal avaliada por escores visuais. De modo semelhante, utilizando escores visuais de conformação, precocidade e musculatura variando de 1 a 5 e atribuídos a animais da raça Nelore, Koury Filho et al. (2010) observaram maior relação entre o peso à desmama e ao sobreano com o escore de conformação ao sobreano do que com os demais escores avaliados na mesma idade. Além disso, as estimativas reportadas por esses autores alcançaram magnitudes de ordem ligeiramente inferior às obtidas no presente trabalho para PeD com ES, PS e MS, e similares às obtidas para PeS com estes mesmos escores. Outros pesquisadores (KOURY FILHO et al., 2009; GORDO et al., 2012) têm relatado estimativas de correlações genéticas entre escores de estrutura, precocidade e musculabilidade ao sobreano com o peso ao sobreano similares às obtidas no presente estudo.

As associações genéticas e fenotípicas obtidas entre AOL, EG e EGP8 (Tabela 4) indicam que a seleção para área de olho de lombo não deve acarretar em mudanças importantes na espessura de gordura subcutânea mensurada nas costelas e na garupa. Da mesma forma, alguns estudos (YOKOO et al., 2008; ZUIN et al., 2012) sugerem que estes caracteres, além de não serem antagônicos, parecem ser determinados por diferentes conjuntos de genes de ação aditiva e que o aumento da quantidade de músculo na carcaça seria acompanhado por aumento da deposição de gordura a uma taxa lenta. Esses trabalhos ainda ressaltaram a coerência biológica que estes resultados apontam, dado que o crescimento do tecido muscular é precedente ao do tecido adiposo. Por outro lado, as associações genética e fenotípica estimadas entre EG e EGP8 ($0,69 \pm 0,04$ e $0,57 \pm 0,01$, respectivamente) indicam que a seleção para a mensuração de gordura subcutânea em qualquer uma das duas posições pode trazer significativa resposta correlacionada na outra, uma vez que sua expressão parece ser afetada, em grande parte, pelo mesmo conjunto de genes de efeito aditivo. Adicionalmente, em função das tendências de mercado e dos objetivos

de seleção almejados nos sistemas produtivos, Gordo et al. (2012) sustentam que é necessário o desenvolvimento de índices que ponderem adequadamente estas características, visando à seleção de reprodutores que venham a contribuir no melhoramento do mérito das carcaças nas futuras gerações.

As associações estimadas entre as características de carcaça e os escores visuais foram de moderada magnitude (Tabela 4), com exceção da EG e EGP8 com ES, indicando que a seleção de touros com melhores méritos genéticos para qualquer um dos escores visuais deve proporcionar, em longo prazo, respostas correlacionadas favoráveis em relação à AOL nos rebanhos estudados. No entanto, a seleção para estrutura corporal pode não promover alterações significativas na EG e EGP8. Resultados semelhantes foram relatados em estudos com a raça Nelore, com correlações genéticas entre área de olho de lombo e escores visuais variando de 0,22 a 0,61 (YOKOO et al., 2009; GORDO et al., 2012; BONIN et al., 2015) e entre EG e EGP8 com ES variando de -0,05 a 0,12 (YOKOO et al., 2009; GORDO et al., 2012). As correlações estimadas entre EG e EGP8 com PS e MS no presente estudo foram próximas às relatadas por Yokoo et al. (2009) e indicam que a seleção para os escores de precocidade e musculabilidade podem auxiliar na obtenção de animais geneticamente superiores para espessura de gordura subcutânea nas costelas e na garupa, mensuradas por ultrassom.

A seleção para qualquer um dos escores obtidos visualmente deve proporcionar alterações importantes nos demais (Tabela 4). Além disso, a alta correlação genética estimada entre PS e MS (0,98) indica que esses escores podem ser considerados como uma única característica, sendo conveniente reavaliá-los a manutenção de ambos, simultaneamente, em eventuais índices de seleção utilizados na raça Nelore. De forma geral, as correlações genéticas entre os escores visuais atribuídos a bovinos de corte seguindo diferentes metodologias desenvolvidas no Brasil apresentam magnitudes elevadas, semelhantes às obtidas neste estudo (COSTA et al., 2008; KOURY FILHO et al., 2009; KOURY FILHO et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012; GORDO et al., 2012; BONIN et al., 2015; DUITAMA et al., 2015).

Para o aperfeiçoamento das rotinas de seleção empregadas na pecuária de corte é essencial o estudo das tendências genéticas observadas nas características de importância econômica ao longo do processo seletivo. Este estudo permite aprimorar índices e critérios, considerando a direção e a magnitude das mudanças genéticas esperadas. No presente trabalho, as características de crescimento

apresentaram mudanças genéticas favoráveis (Tabela 5). Para PeN, a mudança não significativa observada é vantajosa, visto que, de modo geral, a manutenção de um peso mediano das progênes ao nascer é importante para a prevenção de eventuais partos distócicos, principalmente em matrizes jovens. As mudanças positivas e significativas obtidas para as medidas à desmama e ao sobreano (385g e 880g ao ano, respectivamente) correspondem às expectativas, pois estas características são geralmente utilizadas na seleção dos rebanhos avaliados. De modo similar, em trabalho com animais da raça Nelore, Laureano et al. (2011) obtiveram mudanças genéticas estimadas para peso à desmama e peso ao sobreano com valores favoráveis, porém, mostrando magnitudes inferiores às obtidas neste estudo. Possivelmente esta pequena discrepância pode ser explicada pelo fato de os animais estudados por estes autores não estarem sendo selecionados diretamente para maiores pesos em determinadas idades, e sim, empregando-se índices de seleção que incluem dias para ganhar determinado peso.

As características de carcaça mensuradas por ultrassom não apresentaram mudanças genéticas significativas durante o período avaliado (Tabela 5), o que reflete a não inclusão dessas informações na seleção dos animais, uma vez que o índice de seleção proposto pela ANCP para a raça Nelore até o ano de 2015 não integrava estas características. Além disso, de modo geral, a inserção dos produtores em mercados de escassa remuneração por qualidade de carcaça inviabilizaria ou desestimularia a utilização das informações fenotípicas obtidas por ultrassom como critérios de seleção. No entanto, a partir de 2016 a ANCP realizou uma reformulação no índice de seleção empírico até então utilizado no programa para a raça Nelore. Deste modo, o novo índice econômico proposto, teve a inclusão da AOL com uma ponderação de 9%. Assim, podem ser esperadas mudanças significativas para esta característica em estudos futuros incluindo gerações posteriores a 2016.

De modo oposto às características de carcaça, as características relacionadas à composição morfológica mostraram mudanças positivas e significativas, possivelmente como resultado da frequente utilização por parte dos pecuaristas da avaliação visual como critério de decisão auxiliar na seleção de reprodutores que apresentam classificação similar de acordo com o índice de seleção adotado. De maneira geral, no entanto, embora as características de carcaça e os escores visuais sejam utilizados para inferir sobre atributos semelhantes em relação à composição corporal dos animais, estes grupos de características parecem possuir diferenças

importantes do ponto de vista genético, considerando suas relações e tendências genéticas. Neste sentido, alguns autores sugerem que a seleção direta baseada em características mensuradas por ultrassonografia em tempo real pode ser mais vantajosa na busca por melhorias na qualidade da carcaça de bovinos de corte quando comparada à seleção indireta por escores visuais (GORDO et al., 2012; BONIN et al., 2015). Similar ao observado no presente estudo, progresso genético baixo para características de carcaça e maiores tendências genéticas para os escores visuais de conformação, precocidade e musculatura foram relatados por Bonin et al. (2015), o que reforça a importância de considerar as características medidas por ultrassonografia em tempo real na escolha dos animais a serem mantidos como reprodutores em rebanhos da raça Nelore.

3.5 Conclusões

As características de crescimento, carcaça e composição morfológica possuem variabilidade genética e devem responder à seleção direta nos rebanhos da raça Nelore estudados. No entanto, a habilidade materna dos reprodutores deve apresentar lento ganho genético em virtude da baixa herdabilidade materna obtida para as características mensuradas até a desmama.

A seleção para maior peso corporal em idades jovens pode acarretar em mudanças favoráveis na área de olho de lombo e nos escores visuais ao sobreano. De modo semelhante, a utilização de reprodutores da raça Nelore melhores avaliados geneticamente para os escores de precocidade e musculabilidade ao sobreano deve produzir alterações favoráveis nas características de carcaça mensuradas por ultrassonografia em tempo real.

A utilização de medidas de pesos ao nascer, desmama e sobreano e área de olho de lombo como critérios de seleção não deve resultar em importantes alterações na espessura de gordura subcutânea nas costelas e na garupa dos animais.

Os critérios de seleção aplicados aos rebanhos estudados têm proporcionado ganho genético favorável em relação ao crescimento e aos escores visuais dos animais. No entanto, aperfeiçoamentos no processo de seleção devem ser implementados caso sejam desejadas mudanças genéticas nas características indicadoras de qualidade de carcaça.

4 Capítulo 2 – Parâmetros relacionados à desaceleração do crescimento de bovinos e associações com características de crescimento, qualidade de carcaça e composição morfológica

4.1 Introdução

A pecuária de corte brasileira tem sido de grande relevância para a economia nacional. Além do expressivo volume exportado em relação aos concorrentes internacionais (USDA, 2016), a carne corresponde a uma parcela considerável dos produtos da balança comercial do país (SECEX/DEAEX, 2016). No entanto, a taxa de desfrute dos rebanhos nacionais tem se mantido baixa. De acordo com a ABIEC (2015b; 2016) a taxa de desfrute declinou de 20,11% em 2014 para 18,78% em 2015, tendência que põe em risco a competitividade dos empreendimentos no setor.

A taxa de desfrute é um reflexo dos índices zootécnicos, fornecendo, em síntese, uma medida da capacidade do rebanho em geração de excedentes. Dentre os diversos fatores que influenciam este parâmetro, cabe destacar a precocidade de terminação dos animais, ou seja, a velocidade com que crescem e depositam gordura na carcaça. Em animais zebuínos, que constituem a maioria dos rebanhos mantidos em regiões tropicais (ABIEC, 2015a), o melhoramento deste atributo é extremamente importante e necessário, uma vez que estes animais são tidos como mais tardios em relação a bovinos de raças europeias em termos de maturação (TURNER, 1980). Além disso, Faria et al. (2009a) ressaltam que a seleção para precocidade de terminação tem sido um assunto em evidência e que o encurtamento do ciclo de produção proporcionado por esta prática seria um grande passo para a bovinocultura de corte aperfeiçoar seus índices produtivos. No entanto, as características de crescimento como peso e ganhos em peso largamente utilizadas atualmente na seleção de bovinos de corte, podem promover indesejável incremento no peso adulto

dos animais devido à resposta correlacionada (BOLIGON et al., 2010a; REGATIERI et al., 2012).

Características relacionadas à composição corporal mensuradas por ultrassom e escores visuais têm sido estudadas com o objetivo de possibilitar a obtenção de animais geneticamente superiores para qualidade de carcaça e composição morfológica apresentando, no entanto, tamanho adulto mediano (YOKOO et al., 2010; BOLIGON et al., 2011; BONIN et al., 2015). Apesar das medidas de carcaça *in vivo* obtidas por ultrassonografia em tempo real e da atribuição de escores visuais terem significado avanços consideráveis, o estudo de novos atributos e critérios de seleção é essencial.

Nesta perspectiva, Coutinho et al. (2015) estudando curvas de crescimento de características de carcaça obtidas por ultrassom em bovinos da raça Nelore concluíram que o uso de parâmetros das curvas poderia representar uma alternativa na identificação de animais mais precoces ou produtivos. Abordagem semelhante tem sido estudada com o objetivo de rever a forma de mensuração da persistência de lactação em vacas leiteiras (KAMIDI, 2005; PEREIRA et al., 2015). Em estudo com animais da raça Gir, Pereira et al. (2015) obtiveram um parâmetro (Parâmetro Gama (γ)) a partir da segunda derivada das curvas resultantes de um modelo quadrático que descreve, a produção diária de leite ao longo da lactação. Estes autores sugerem que tal parâmetro poderia ser utilizado na obtenção de uma medida da persistência de lactação de vacas que, uma vez empregada como critério de seleção, poderia modificar a curva de lactação sem, no entanto, influenciar o nível de produção de leite. Neste sentido, observando a analogia entre a curva de lactação de vacas leiteiras e a curva de crescimento de bovinos de corte nota-se que o parâmetro proposto por estes autores denotaria tanto a desaceleração da produção de leite durante a lactação, quanto a desaceleração do crescimento. De modo similar, o Parâmetro Gama (γ) obtido a partir do ajuste quadrático de curvas de crescimento estimadas para a prole de cada animal mediante avaliação genética por modelo de regressão aleatória poderia ser uma alternativa de seleção de touros visando melhorias na precocidade de terminação, sem alterações no tamanho.

Outra possibilidade de avaliar a desaceleração do crescimento seria a obtenção da razão (Gratio) entre os ganhos médios diários (GMD) de peso corporal pós (entre 205 e 700 dias de idade) e pré-desmama (entre o nascimento e os 205 dias de idade) obtidos, similarmente ao Parâmetro Gama, com base em curvas de crescimento

estimadas para a progênie de cada animal mediante avaliação genética por modelo de regressão aleatória. Deste modo, o Parâmetro Gratio poderia ser utilizado na inferência sobre a taxa de crescimento dos animais, pois representaria a proporção do potencial genético de crescimento do animal na fase pós-desmama em relação ao período pré-desmama. Neste sentido, quanto menor esta proporção, mais precoce seria o animal, uma vez que a expressão decrescente no período pós-desmama indicaria a desaceleração do crescimento.

O presente trabalho teve por objetivo a obtenção e o estudo de parâmetros genéticos relacionados com a desaceleração do crescimento de bovinos de corte (parâmetros Gama e Gratio), bem como, de suas relações com características de crescimento, qualidade de carcaça e composição morfológica.

4.2 Material e métodos

Neste estudo foram utilizadas informações constituintes de um banco de dados já consolidado não havendo, portanto, qualquer implicação a ser apreciada pela comissão de ética da instituição (Comissão de Ética em Experimentação Animal - CEEA, UFPel).

Animais e características

As informações utilizadas fazem parte da base de dados da Associação Nacional dos Criadores e Pesquisadores – ANCP, responsável por seu armazenamento e avaliação genética de animais das raças zebuínas Nelore, Tabapuã, Guzerá e Brahman. Nos rebanhos estudados, registros de peso corporal (kg) são obtidos periodicamente com o auxílio de balanças aferidas e, neste estudo, os parâmetros Gama e Gratio, medidas relacionadas à desaceleração do crescimento, foram obtidos por meio dos resultados da avaliação genética que utilizou os registros fenotípicos de peso corporal, do nascimento aos 700 dias de idade, de animais da raça Nelore nascidos entre 2002 e 2014, criados em 60 diferentes fazendas de forma extensiva em regiões de clima tropical no Brasil.

Posteriormente, foram utilizadas características de crescimento, qualidade de carcaça e composição morfológica em análises bicaracterísticas incluindo os parâmetros Gama ou Gratio em cada análise. Assim, as características de crescimento estudadas foram: peso ao sobreano (PeS) em kg – obtido próximo aos 18 meses de idade; peso final (PeF) em kg – obtido entre os 600 e 700 dias de idade.

As características de qualidade de carcaça estudadas compreenderam medidas *in vivo* obtidas ao sobreano (18 meses) mediante ultrassonografia em tempo real. Neste procedimento os animais são devidamente contidos e a captação das imagens é realizada por técnicos credenciados, sendo as seguintes características mensuradas: área de olho de lombo (AOL) em cm² – perímetro do músculo *Longissimus dorsi* no espaço entre a 12^a e a 13^a costelas; espessura de gordura subcutânea (EG) em mm – medida da espessura de gordura subcutânea depositada no espaço entre a 12^a e a 13^a costelas; espessura de gordura subcutânea na garupa (EGP8) em mm – medida da espessura de gordura subcutânea depositada na intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*, entre as tuberosidades dos ossos ílio e ísquio. Em relação à composição morfológica dos animais, foram utilizadas medidas obtidas mediante a atribuição de escores visuais ao sobreano por avaliadores treinados, seguindo o Sistema de Avaliação Morfológica – ANCP-SAM. Neste sistema são avaliados quesitos referentes à estrutura corporal (ES), precocidade de terminação (PS) e musculosidade (MS), e são atribuídos a cada animal escores de 1 (pior expressão da característica) a 6 (melhor expressão da característica) em relação ao grupo de contemporâneos (GC) ao qual pertencem.

Grupos de contemporâneos e consistência de dados

Para os registros de peso corporal analisados empregando modelos de regressão aleatória foram formados grupos de contemporâneos (GC) incluindo os efeitos de fazenda, ano e estação de nascimento, sexo, grupo de idade à pesagem (classes de 30 dias), manejo alimentar e lote de manejo. De forma a eliminar possíveis erros e permitir a estimação de parâmetros genéticos com maior acurácia, foram realizadas rotinas de consistência de dados e impostas as seguintes restrições à inclusão de animais na análise: peso corporal no intervalo considerado pela média do GC \pm 3,5 desvios-padrão; mínimo de quatro pesagens por animal; GC com no mínimo três animais; pai e mãe conhecidos; mínimo de quatro filhos com observação por mãe; mínimo de três observações por classe de idade ao parto da mãe (classes de 12 meses) de acordo com a classe de idade do animal à pesagem (classes de 30 dias). Após a consistência dos dados foram utilizados 90.710 registros de peso pertencentes a 16.524 animais.

Para as demais características, os GC foram determinados a partir das combinações dos seguintes efeitos: sexo, fazenda, ano e estação de nascimento,

manejo alimentar e lote de manejo para PeS e PeF; sexo, fazenda, ano e estação de nascimento, manejo alimentar, lote de manejo, técnico que capturou as imagens e laboratório que realizou o processamento das imagens para AOL, EG e EGP8; sexo, fazenda, ano e estação de nascimento, manejo alimentar, lote de manejo e técnico que atribuiu os escores para ES, PS e MS.

Em todas as análises bicaracterísticas, foram mantidos GC com no mínimo quatro observações. Para as características de PeS, PeF, AOL, EG e EGP8, mensurações que excediam 3,5 desvios-padrão acima ou abaixo da média do GC foram eliminadas. Para as características morfológicas de ES, PS e MS, os GC sem variabilidade (em que todos os animais possuíam o mesmo valor de atribuição do escore) foram excluídos (Tabela 6). O arquivo de genealogia utilizado em todas as análises para montar a matriz de parentesco continha identificação do animal, pai e mãe, totalizando 61.804 animais.

Tabela 6 – Descrição das características de crescimento, carcaça, escores visuais e parâmetros Gama e Gratio analisados na raça Nelore.

Descrição	Características ¹									
	PeS	PeF	AOL	EG	EGP8	ES	PS	MS	Gama	Gratio
Número de animais	14.382	4.532	12.536	12.502	12.493	12.263	12.263	12.263	13.567	13.567
Média ± desvio-padrão	349,31±70,58	398,87±96,78	50,52±10,85	2,31±1,30	3,49±1,84	3,90±1,29	3,85±1,34	3,72±1,36	49,49±10,02	63,28±1,00
Mediana	-	-	-	-	-	4	4	4	-	-
Número de touros	623	341	606	606	604	582	582	582	623	623
Número de vacas	8.824	3301	8.175	8.161	8.148	7.927	7.927	7.927	8.824	8.824
Número de grupo de contemporâneos	358	176	310	310	311	256	256	256	335	335
Média ± desvio-padrão para a idade do animal (dias)	538,72±27,82	632,51±23,91	531,53±45,27	531,50±45,25	531,48±45,22	524,51±40,97	524,51±40,97	524,51±40,97	-	-
Média ± desvio-padrão para a idade da vaca (anos)	6,04±3,04	6,10±3,11	6,00±3,02	6,00±3,02	6,01±3,02	5,97±2,98	5,97±2,98	5,97±2,98	-	-
R ² (média ± desvio-padrão)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,98±0,0008	-

¹ PeS: peso ao sobreano (kg); PeF: peso final (kg) (entre 600 e 700 dias); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculosidade ao sobreano (1 a 6); Gama: Parâmetro Gama (un.); Gratio: razão entre os valores estimados de ganhos médios diários em peso corporal nos períodos pós e pré-desmama (%).

Análise de regressão aleatória

O modelo de regressão aleatória utilizado pode ser descrito como:

$$y_{ijklmd} = GC_i + IM_{jl} + \sum_{o=1}^c \beta_{ko} \phi_{od} + \sum_{o=1}^c \alpha_{lo} \phi_{od} + \sum_{o=1}^c \omega_{mo} \phi_{od} + \sum_{o=1}^c \delta_{lo} \phi_{od} + \sum_{o=1}^c \rho_{mo} \phi_{od} + \varepsilon_{ijklmd}$$

em que: y_{ijklmd} é o peso do animal l na idade d ; GC_i é o efeito sistemático do grupo de contemporâneos i ; IM_{jl} é o efeito sistemático da classe j de idade da mãe ao parto de acordo com a classe de idade do animal l ; β_{ko} são os coeficientes de regressão para modelar a curva média da população; α_{lo} , ω_{mo} , δ_{lo} , ρ_{mo} são, respectivamente, os coeficientes de regressão para os efeitos genético-aditivo direto e materno, e de ambiente permanente do animal e materno para cada animal; ϕ_{od} são as covariáveis dos polinômios para cada coeficiente de regressão na idade d ; c é o número de coeficientes de regressão utilizados; e ε_{ijklmd} é erro aleatório associado a cada observação.

O modelo de regressão aleatória foi ajustado utilizando polinômios ortogonais de Legendre de quarta ordem para modelar a curva média da população e polinômios segmentados (*splines* lineares) com nós posicionados nas idades 1, 205, 450 e 700 para modelar todos os efeitos aleatórios incluídos no modelo. Foi considerada uma estrutura de variâncias residuais heterogênea com 15 classes, sendo um componente de variância residual para cada classe de idade: 1-60, 61-90, 91-120, 121-150, 151-180, 181-210, 211-240, 241-300, 301-360, 361-420, 421-480, 481-540, 541-600, 601-660, 661-700.

Em notação matricial, o modelo empregado pode ser representado por:

$$y = Xb + Z_1a + Z_2m + W_1p + W_2c + e$$

em que: y é o vetor das observações, b é o vetor dos efeitos sistemáticos (incluindo GC_i , IM_{jl} e β_{ko}), a é o vetor dos coeficientes aleatórios para o efeito genético-aditivo direto, m é o vetor dos coeficientes aleatórios para o efeito genético-aditivo materno, p é o vetor dos coeficientes aleatórios para o efeito de ambiente permanente do animal, c é o vetor dos coeficientes aleatórios para o efeito de ambiente permanente

materno, e é o vetor dos resíduos, e X , Z_1 , Z_2 , W_1 , W_2 são as matrizes de incidência correspondentes.

As pressuposições associadas ao modelo foram:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ m \\ p \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad V \begin{bmatrix} a \\ m \\ p \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_a \otimes A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_m \otimes A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_p \otimes I_{N_A} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_c \otimes I_{N_M} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix};$$

em que: K_a , K_m , K_p e K_c são as matrizes de (co)variâncias entre os coeficientes de regressão aleatórios para os efeitos genético-aditivo direto, genético-aditivo materno, de ambiente permanente do animal e de ambiente permanente materno, respectivamente, A é a matriz de parentesco entre os indivíduos, I é a matriz identidade, N_A é o número de animais com registro, N_M é o número de mães de animais com registro, \otimes é o produto de *Kronecker* entre matrizes e R é uma matriz bloco diagonal contendo as variâncias residuais. Neste modelo assumiu-se que não havia correlação entre os coeficientes de regressão aleatórios para efeitos genético-aditivos direto e materno e de ambiente permanente do animal e materno.

As estimativas dos componentes de (co)variâncias, utilizados na obtenção dos parâmetros das curvas de crescimento (fixa e aleatória), foram obtidas via inferência Bayesiana, utilizando-se o programa computacional GIBBS3F90 (MISZTAL, 2002). A análise consistiu de uma cadeia com 600.000 ciclos, sendo descartados os primeiros 100.000 ciclos (*burn-in*), com as amostras sendo retiradas a cada 20 iterações (*thinning interval*), totalizando 25.000 amostras para a obtenção das distribuições posteriores de (co)variâncias e parâmetros. Para determinar a convergência, foram realizadas inspeções gráficas (amostras x iteração) e os testes estatísticos de Heldelberger e Welch (HELDELBERGER; WELCH, 1983) utilizando o pacote Coda (PLUMMER et al., 2006) do programa R (R Core Team, 2014).

Parâmetros Gama e Gratio

Para a obtenção dos parâmetros de desaceleração do crescimento foi realizada uma avaliação genética utilizando-se os componentes de (co)variâncias estimados para os coeficientes de regressão aleatória, sendo computadas as soluções destes coeficientes com o auxílio do programa BLUPF90IOD (TSURUTA et al., 2001). Como

resultado desta avaliação foram preditas, para cada animal da análise, diferenças esperadas na progênie (DEPs) para o peso corporal em cada idade do intervalo entre o nascimento e os 700 dias, considerando o efeito genético-aditivo direto. Estes valores obtidos para cada idade, uma vez somados à curva média de acúmulo de peso corporal, estimada para a população estudada mediante a parte fixa do modelo de regressão aleatória, deram origem a curvas de crescimento estimadas para a progênie de cada animal, as quais foram utilizadas na obtenção de Gama e Gratio.

O Parâmetro Gama para cada animal foi obtido a partir da segunda derivada de funções quadráticas utilizadas para ajustar as curvas de crescimento estimadas para a sua progênie ao longo do período de tempo estudado. Cabe ressaltar que, Pereira et al. (2015) utilizaram funções quadráticas sem o intercepto, uma vez que as vacas em lactação iniciam a trajetória de produção a partir do ponto zero. No entanto, neste estudo, foram estimadas funções quadráticas com intercepto para ajustar a curva de crescimento da progênie dos animais, dado que, ao nascer, estes já apresentam pesos maiores do que zero.

Para a obtenção do Parâmetro Gratio referente a cada animal foram calculados os GMD pós (entre 205 e 700 dias de idade) e pré-desmama (entre o nascimento e os 205 dias de idade) com base nas curvas de crescimento estimadas para a sua progênie. Deste modo, Gratio foi dado pela razão entre os valores estimados para o GMD pós-desmama e o GMD pré-desmama.

Análises bicaracterísticas

De modo a determinar as relações entre os parâmetros Gama e Gratio com as demais características em estudo (PeS, PeF, AOL, EG, EGP8, ES, PS e MS), foram estimados componentes de (co)variâncias e parâmetros genéticos (herdabilidades e correlações) através de análises bicaracterísticas (incluindo os parâmetros Gama ou Gratio em cada análise) pelo método Bayesiano e utilizando um amostrador de *Gibbs*, com o auxílio dos programas GIBBS1F90 (para análises incluindo somente características de expressão contínua) e THRGIBBSF90 (para análises incluindo características categóricas e contínuas) (MISZTAL, 2002).

Assumiu-se distribuição uniforme *a priori* para os efeitos sistemáticos e, para os componentes de (co)variâncias, distribuição *Wishart* invertida. As análises consistiram de cadeias com 800.000 ciclos, sendo descartados os primeiros 200.000 ciclos (*burn-in*), com as amostras sendo retiradas a cada 20 iterações (*thinning*

interval). Para determinar a convergência das análises foram realizadas inspeções gráficas (amostras x iteração) e os testes estatísticos de Heldelberger e Welch (HELDELBERGER; WELCH, 1983) utilizando o pacote Coda (PLUMMER et al., 2006) do programa R (R Core Team, 2014).

O modelo geral utilizado pode ser descrito como:

$$y = Xb + Za + e$$

em que: y é o vetor de observações; b é o vetor de efeitos sistemáticos (GC, idade do animal na mensuração e idade da vaca ao parto); a é o vetor dos valores genético-aditivos diretos de cada animal e, e é o vetor de efeitos aleatórios residuais desconhecidos. X e Z são, respectivamente, as matrizes de incidência que relacionam b e a às observações. O efeito genético-aditivo direto foi assumido como não correlacionado com o efeito residual.

Para os parâmetros Gama e Gratio foram considerados, além dos efeitos aleatórios genético-aditivo direto e residual, o efeito sistemático do grupo de contemporâneos ao sobreano. Para PeS, PeF, AOL, EG, EGP8, ES, PS e MS, foram considerados os efeitos aleatórios genético-aditivo direto e residual e os efeitos sistemáticos de grupos de contemporâneos. Além disso, para estas características, a idade do animal à mensuração e a idade da vaca ao parto foram incluídas nos modelos como covariáveis de efeitos linear e quadrático.

As pressuposições assumidas nas análises foram:

$$E \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 b \\ X_2 b \end{bmatrix}$$

$$[a] = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_{a_1}^2 & \sigma_{a_1 a_2} \\ \sigma_{a_1 a_2} & \sigma_{a_2}^2 \end{bmatrix} \otimes A \right)$$

$$[e] = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_{e_1}^2 & \sigma_{e_1 e_2} \\ \sigma_{e_1 e_2} & \sigma_{e_2}^2 \end{bmatrix} \otimes I_{N_A} \right)$$

em que: $\sigma_{a_1}^2$ é a variância genético-aditiva direta para a característica 1 (parâmetros Gama ou Gratio); $\sigma_{a_2}^2$ é a variância genético-aditiva direta para a característica 2 (PeS,

PeF, AOL, EG, EGP8, ES, PS e MS); $\sigma_{a_1a_2}$ é a covariância genético-aditiva direta entre as características 1 e 2; $\sigma_{e_1}^2$ e $\sigma_{e_2}^2$ são as variâncias residuais para as características 1 e 2, respectivamente; $\sigma_{e_1e_2}$ é a covariância residual entre as características 1 e 2.

Os escores visuais foram analisados considerando o seguinte modelo de limiar:

$$f(w_i|y_i) = \prod_{j=1}^{n_i} 1(l_{ij} < t_1)1(w_{ij} = 1) + 1(t_1 < l_{ij} < t_2)1(w_{ij} = 2) + 1(t_2 < l_{ij} < t_3)1(w_{ij} = 3) \\ + 1(t_3 < l_{ij} < t_4)1(w_{ij} = 4) + 1(t_4 < l_{ij} < t_5)1(w_{ij} = 5) + 1(t_5 < l_{ij})1(w_{ij} = 6)$$

em que: para cada característica i ($j = 1, 2, 3, 4, 5$ ou 6), w_{ij} e l_{ij} são variáveis categóricas e escala subjacente da observação j , respectivamente; t_1 a t_5 são os limiares que definem a resposta categórica para cada característica e n_i representa o número total de dados para cada característica estudada. Foi definida distribuição inicial uniforme para os limiares.

4.3 Resultados

Análise de regressão aleatória

No banco de dados de peso corporal analisado, maior número de observações foi obtido nas classes que se aproximam às idades padrão de peso ao nascer e peso ao sobreano (Figura 3). A média de peso apresentou incremento com a idade, conforme esperado, e não foi verificada tendência fenotípica de desaceleração do acúmulo médio de peso no período, indicando que, pelo menos até os 700 dias, a média de peso dos animais não sofreu declínio considerável. O desvio-padrão teve incremento ao longo do período, seguindo tendência similar à da média.

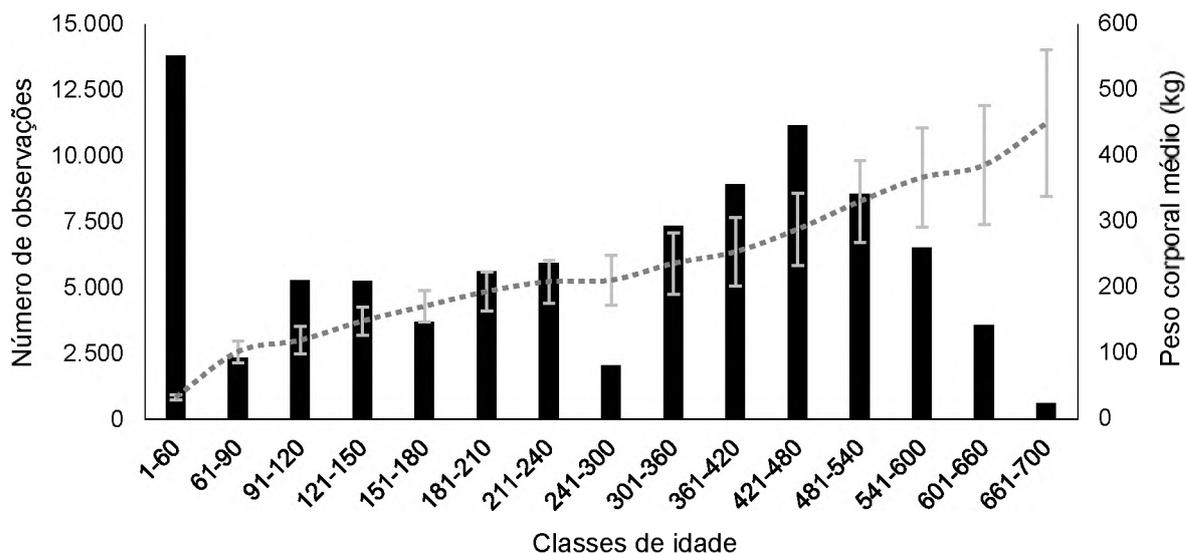


Figura 3 – Gráfico do número de observações (colunas), médias e respectivos desvios-padrão (linha e barras) para o peso corporal de acordo com as classes de idade em bovinos da raça Nelore.

As estimativas médias *a posteriori* das herdabilidades para o efeito genético-aditivo direto variaram de 0,12 (65 dias) a 0,33 (645 a 700 dias) (Figura 4). Logo após o nascimento, observou-se um declínio das estimativas até 65 dias seguido de um crescimento aproximadamente linear até os 700 dias de idade. Apresentando comportamento praticamente oposto, as estimativas de herdabilidade materna variaram de 0,05 a 0,11 alcançando magnitudes mais elevadas no período pré-desmama e declinando após a desmama (Figura 4).

A variância de ambiente permanente de animal como proporção da variância fenotípica total variou de 0,27 a 0,53, seguindo tendência semelhante à das estimativas de herdabilidade direta, porém, mostrando menor variação no período entre 200 e 700 dias (Figura 4).

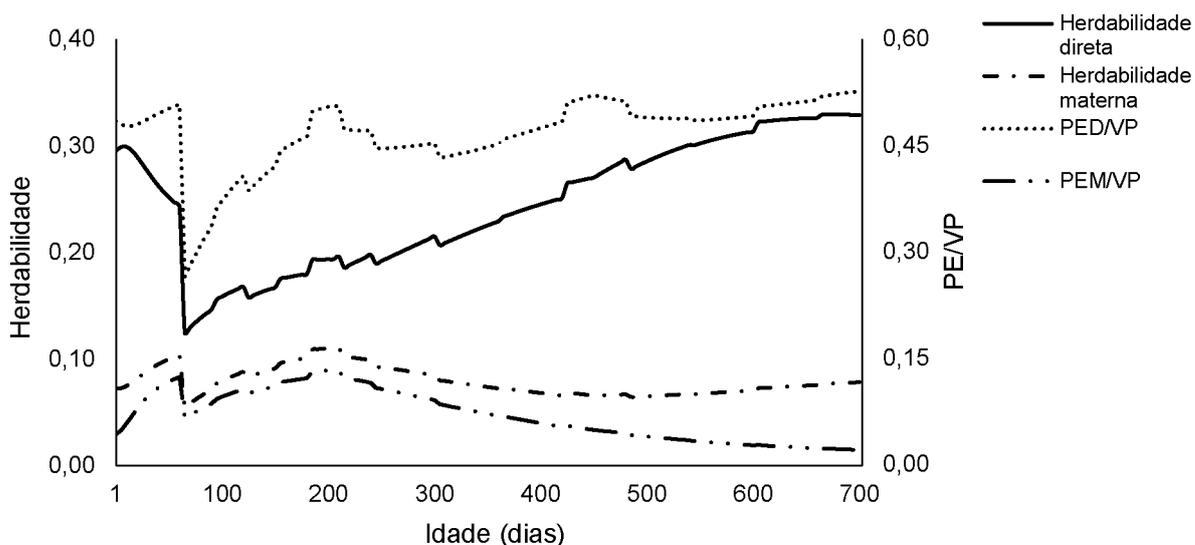


Figura 4 – Gráfico das estimativas de herdabilidades para os efeitos direto e materno e variância de ambiente permanente como proporção da variância fenotípica total (PE/VP) para os efeitos direto (PED/VP) e materno (PEM/VP) para o peso corporal de bovinos da raça Nelore.

As estimativas de variâncias de ambiente permanente materno expressas como proporção da variância fenotípica variaram de 0,02 a 0,13 e apresentaram tendência semelhante à do efeito genético-aditivo materno, mostrando maiores magnitudes no período pré-desmama e apresentando declínio dos 200 aos 700 dias, começando a declinar um pouco antes da desmama.

Conforme esperado, as estimativas de correlações genético-aditivas foram próximas à unidade entre pesos obtidos em idades adjacentes, reduzindo conforme o distanciamento das idades (Figura 5). Para o efeito direto, as correlações genéticas estimadas entre o peso aos 205 dias e os pesos aos 365 e 630 dias foram altas (0,90 e 0,81, respectivamente) (Figura 5). No entanto, o peso aos 365 mostrou correlação genética acima de 0,90 com os pesos entre os 365 e os 700 dias (idades mais próximas ao abate) (Figura 5).

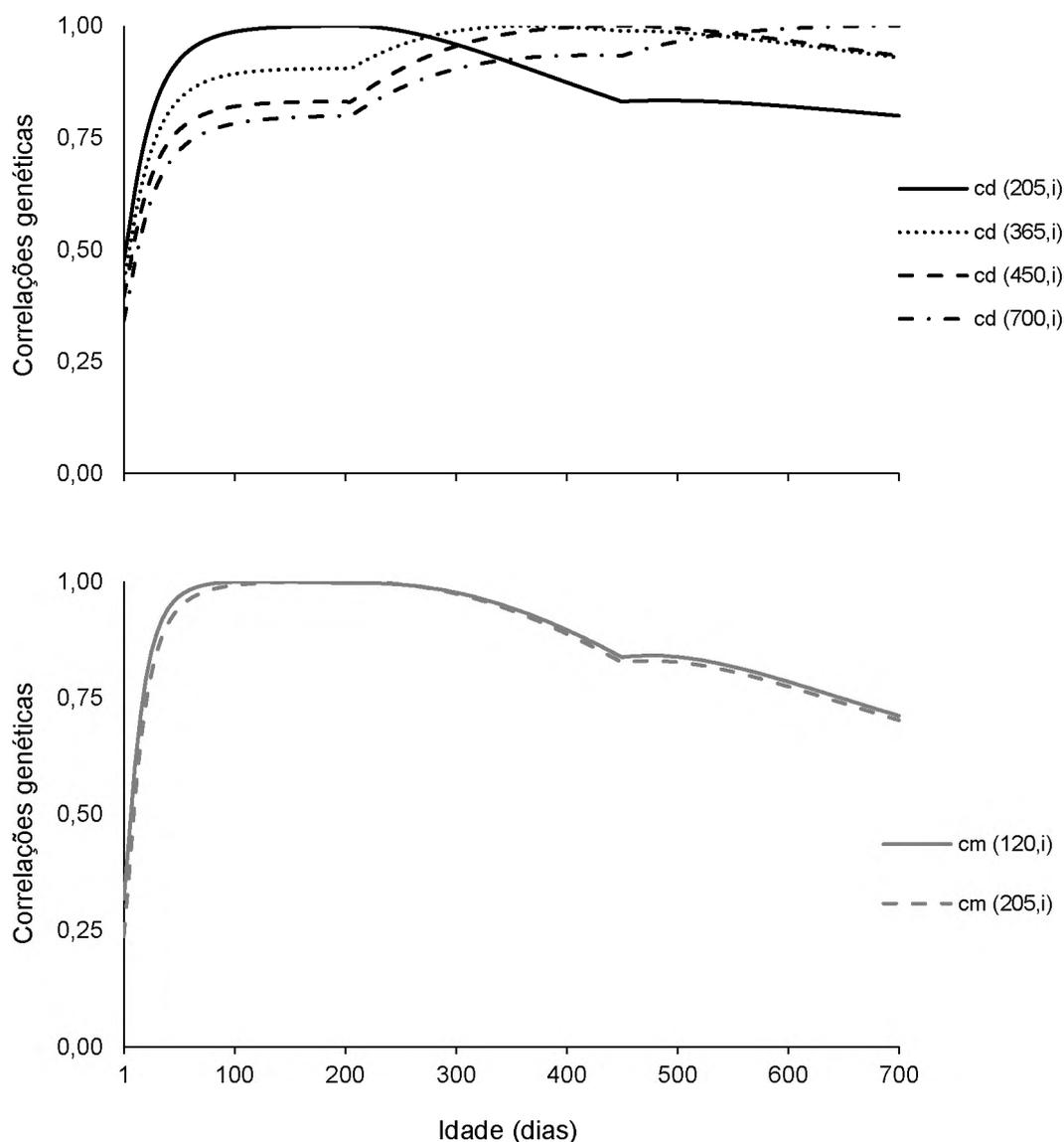


Figura 5 – Gráficos das estimativas de correlações genético-aditivas para os efeitos direto (cd (“idade x”, “i-ésima idade”)) e materno (cm (“idade x”, “i-ésima idade”)) para o peso corporal de bovinos da raça Nelore.

As correlações genético-aditivas maternas entre os pesos aos 120 e 205 dias com as demais idades mostraram tendências semelhantes (Figura 5). Além disso, a associação genética materna obtida entre os pesos aos 120 e 205 dias foi próxima à unidade (0,99) (Figura 5).

Parâmetros de desaceleração do crescimento

O Parâmetro Gama variou de 10,47 a 90,86 unidades na população estudada, com média e desvio-padrão de $49,49 \pm 10,02$ (Figura 6). Cabe ressaltar que, quanto menores os valores observados para este parâmetro, maior é a desaceleração no crescimento dos animais, sendo estes, portanto, mais precoces. O Parâmetro Gratio

apresentou menor amplitude em relação a Gama, variando de 58,38% a 67,26%, com média e desvio-padrão de $63,28 \pm 1,00$ (Figura 6). No mesmo sentido, animais com maior precocidade de terminação apresentam menor porcentagem de ganho médio diário em peso corporal na fase pós-desmama em relação à fase pré-desmama.

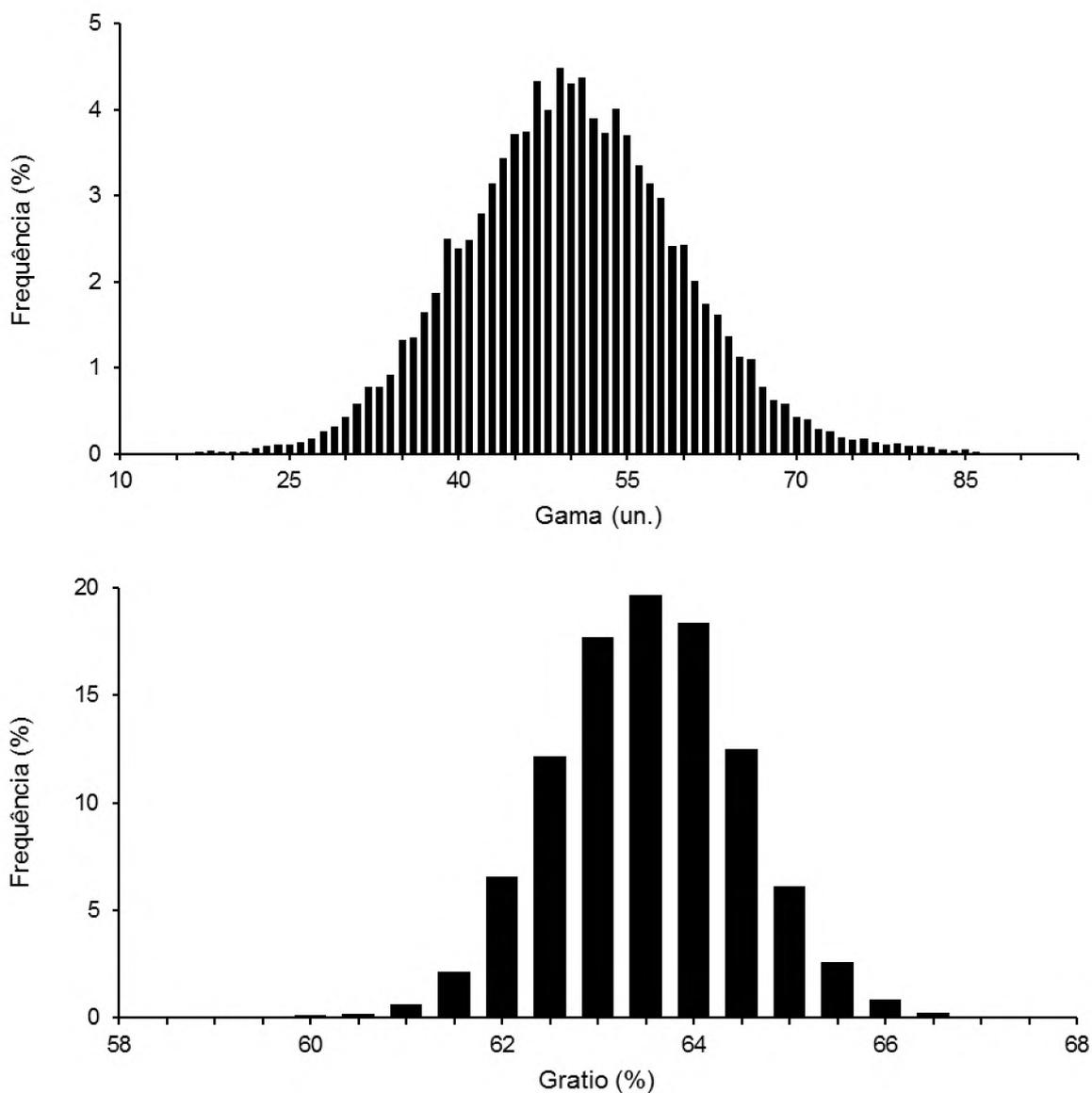


Figura 6 – Gráficos das distribuições de frequências para os parâmetros Gama e Gratio em bovinos da raça Nelore.

Análises bicaracterísticas

As estimativas de herdabilidade direta obtidas para PeS e PeF com o auxílio de modelos de dimensão finita (Tabela 7) mostraram-se ligeiramente superiores às obtidas pelo modelo de regressão aleatória (Figura 4). No entanto, de maneira geral a magnitude das estimativas foi moderada.

Da mesma forma, as estimativas de herdabilidades diretas médias *a posteriori* estimadas para as características mensuradas por ultrassom – AOL, EG e EGP8 ($0,38 \pm 0,03$, $0,30 \pm 0,02$ e $0,35 \pm 0,03$, respectivamente) e escores visuais – ES, PS e MS ($0,33 \pm 0,04$, $0,46 \pm 0,03$ e $0,39 \pm 0,03$, respectivamente) foram de moderada magnitude (Tabela 7).

As estimativas de herdabilidade obtidas para os parâmetros Gama e Gratio foram aproximadamente iguais à unidade (Tabela 7), conforme esperado, uma vez que estas pseudocaracterísticas foram obtidas a partir de curvas de crescimento estimadas considerando previsões de diferenças esperadas na progênie. Neste sentido, a variância fenotípica destes atributos foi composta em sua totalidade pelo efeito genético-aditivo direto.

As correlações genéticas estimadas entre o Parâmetro Gama e as demais características estudadas indicam baixas associações (Tabela 8). Considerando-se que o Parâmetro Gama denota a desaceleração do crescimento, é presumível, neste estudo, que menores valores deste parâmetro estariam relacionados a animais de maior precocidade. Neste sentido, as correlações estimadas entre o Parâmetro Gama com PeS e PeF apresentaram direções favoráveis, entretanto, com magnitudes praticamente nulas.

Em relação às características rotineiramente utilizadas como indicadoras de precocidade de terminação em bovinos de corte (e.g. EG, EGP8, PS e MS), o Parâmetro Gama mostrou baixa ou nula correlação genética, com coeficientes variando de $-0,07 \pm 0,02$ a $0,03 \pm 0,02$ (Tabela 8).

Apesar da baixa magnitude, a AOL e a ES foram as características que apresentaram maior associação genética com o Parâmetro Gama (Tabela 8).

O Parâmetro Gratio mostrou associação genética positiva e de magnitude baixa a moderada com as demais características estudadas, variando de $0,08 \pm 0,02$ a $0,37 \pm 0,02$ (Tabela 8). Os coeficientes de correlação estimados entre Gratio com PeS e PeF foram mais expressivos e apresentaram similaridade entre si (ambos iguais a $0,37 \pm 0,02$).

Tabela 7 – Médias, desvios-padrão e intervalos de alta densidade *a posteriori* (95%) dos componentes de variância e herdabilidades estimados para as características de crescimento, de carcaça, escores visuais e parâmetros Gama e Gratio analisados na raça Nelore

Características ¹	PeS	PeF	AOL	EG	EGP8	ES	PS	MS	Gama	Gratio
Médias (desvios-padrão)										
Variância genético-aditiva direta	426,95±35,27	449,22±64,08	10,94±1,02	0,18±0,02	0,43±0,04	0,63±0,08	0,79±0,07	0,70±0,07	28,20±0,35	0,34±0,004
Variância residual	624,32±25,31	671,19±46,84	17,87±0,76	0,41±0,01	0,79±0,03	1,28±0,08	0,94±0,06	1,07±0,06	0,07±0,03	0,001±0,00
Herdabilidade direta	0,41±0,03	0,40±0,05	0,38±0,03	0,30±0,02	0,35±0,03	0,33±0,04	0,46±0,03	0,39±0,03	0,99±0,001	0,99±0,001
Intervalo de alta densidade <i>a posteriori</i> (95%)										
Variância genético-aditiva direta	359,30 a 497,40	322,10 a 570,90	8,97 a 12,93	0,15 a 0,21	0,36 a 0,50	0,48 a 0,77	0,67 a 0,94	0,56 a 0,82	27,53 a 28,88	0,33 a 0,35
Variância residual	573,20 a 672,30	584,10 a 766,80	16,38 a 19,34	0,39 a 0,44	0,73 a 0,85	1,14 a 1,43	0,83 a 1,06	0,95 a 1,19	0,02 a 0,13	0,0002 a 0,0015
Herdabilidade direta	0,35 a 0,46	0,30 a 0,49	0,32 a 0,44	0,25 a 0,35	0,30 a 0,41	0,26 a 0,40	0,39 a 0,52	0,33 a 0,45	0,995 a 0,999	0,995 a 0,999

¹ PeS: peso ao sobreano (kg); PeF: peso final (kg) (entre 600 e 700 dias); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculosidade ao sobreano (1 a 6); Gama: Parâmetro Gama (un.); Gratio: razão entre os valores estimados de ganhos médios diários em peso corporal nos períodos pós e pré-desmama (%).

Em relação às características de carcaça, o Parâmetro Gratio apresentou associação positiva e de maior magnitude com as medidas de espessura de gordura subcutânea ($0,11\pm 0,02$ e $0,15\pm 0,02$ com EG e EGP8, respectivamente), em comparação com a AOL ($0,08\pm 0,02$) (Tabela 8). Da mesma forma, a correlação genética estimada entre ES e Gratio foi menor do que os coeficientes estimados entre PS e MS com Gratio ($0,15\pm 0,02$; $0,23\pm 0,02$ e $0,23\pm 0,02$, respectivamente) (Tabela 8).

Tabela 8 – Médias, desvios-padrão (SD) e intervalos de alta densidade *a posteriori* (IAD) das correlações genéticas estimadas entre os parâmetros Gama e Gratio com as características de crescimento, carcaça e composição morfológica estudadas em rebanhos da raça Nelore.

Características ¹	Correlações genéticas			
	Gama		Gratio	
	Média±SD	IAD (95%)	Média±SD	IAD (95%)
PeS	-0,03±0,02	-0,07 a 0,01	0,37±0,02	0,33 a 0,41
PeF	0,07±0,03	0,02 a 0,13	0,37±0,02	0,33 a 0,40
AOL	-0,12±0,02	-0,17 a -0,08	0,08±0,02	0,04 a 0,12
EG	0,02±0,02	-0,03 a 0,06	0,11±0,02	0,06 a 0,16
EGP8	0,03±0,02	-0,01 a 0,08	0,15±0,02	0,10 a 0,19
ES	-0,15±0,02	-0,19 a -0,11	0,15±0,02	0,11 a 0,20
PS	-0,05±0,02	-0,09 a -0,01	0,23±0,02	0,19 a 0,27
MS	-0,07±0,02	-0,11 a -0,03	0,23±0,02	0,19 a 0,27

¹ PeS: peso ao sobreano (kg); PeF: peso final (kg) (entre 600 e 700 dias); AOL: área de olho de lombo (cm²); EG: espessura de gordura subcutânea (mm); EGP8: espessura de gordura na garupa (mm); ES: escore de estrutura ao sobreano (1 a 6); PS: escore de precocidade ao sobreano (1 a 6); MS: escore de musculosidade ao sobreano (1 a 6); Gama: Parâmetro Gama (un.); Gratio: razão entre os valores estimados de ganhos médios diários em peso corporal nos períodos pós e pré-desmama (%).

4.4 Discussão

Análise de regressão aleatória

As estimativas de herdabilidade direta obtidas para pesos do nascimento aos 700 dias de idade indicam que, em função das menores magnitudes observadas para este coeficiente em idades mais jovens, a seleção baseada nas pesagens realizadas a partir de um ano de idade poderia proporcionar respostas mais rápidas, uma vez que os coeficientes de herdabilidade estimados posteriormente a este período foram superiores a 0,23 (Figura 4). Além disso, o peso aos 365 dias mostrou forte correlação genético-aditiva direta com o peso aos 550 dias (0,97), quando comparado à mensuração em idades mais jovens (205 dias) (Figura 5). Estes resultados indicam

que o peso ao ano poderia ser um melhor indicador do peso ao abate (considerando o abate próximo ao sobreano) e que, além disso, esta medida poderia proporcionar resultados satisfatórios na antecipação da seleção e conseqüente redução dos custos de mensuração, caso seja desejável. De modo similar, em estudo com animais da raça Brahman, Bertipaglia et al. (2015) obtiveram estimativas de herdabilidade direta com tendência semelhante e correlação entre os pesos aos 365 e aos 550 dias com magnitude próxima à obtida neste estudo (acima de 0,90).

Para o efeito genético-aditivo materno, as estimativas de herdabilidade mostradas na figura 4 indicam uma maior expressão no período próximo à desmama. Da mesma forma, resultados semelhantes têm sido observados em estudos envolvendo animais de raças zebuínas (ALBUQUERQUE; MEYER, 2001a; BOLIGON et al., 2011; BERTIPAGLIA et al., 2015). Adicionalmente, as correlações genético-aditivas maternas estimadas neste estudo mostram que as mensurações de peso tanto aos 120 quanto aos 205 dias poderiam fornecer um bom indicativo da habilidade materna no período pré-desmama, sugerindo que apenas uma destas medidas poderia ser utilizada na seleção para este atributo, o que possibilitaria reduzir os custos operacionais das fazendas de corte em relação à obtenção destas mensurações. Cabe ressaltar, no entanto, que a maior herdabilidade materna obtida para a medida de peso aos 205 dias revela que pode haver maior vantagem relativa na resposta à seleção para habilidade materna baseada nas medidas fenotípicas de peso obtidas próximo à desmama.

Para as estimativas de herdabilidade e razão entre variâncias (Figura 4), foi observado um decréscimo entre os 60 e 70 dias. Este declínio pode estar associado à sensível redução do número de observações verificado no conjunto de dados neste período (Figura 3). Da mesma forma, Meyer (2005), estudando funções de covariância para o crescimento de animais da raça Angus empregando polinômios de Legendre, observou tendência de decréscimo semelhante em um conjunto de dados que apresentava, de maneira correlata ao do presente estudo, baixa densidade de informações fenotípicas no período inicial imediato ao nascimento.

Análises bicaracterísticas

Os parâmetros genéticos estimados para as características de crescimento, carcaça e composição morfológica indicam que, nos rebanhos estudados, há relevante variabilidade genética (Tabela 7). Em relação ao PeS e ao PeF, as estimativas de herdabilidade obtidas neste estudo (Tabela 7) foram semelhantes a resultados relatados na literatura para a raça Nelore (BOLIGON et al., 2010a; YOKOO et al., 2010; REGATIERI et al., 2012). Estes resultados indicam que a seleção baseada no peso corporal obtido nestas idades pode auxiliar na obtenção de animais com peso adequado nas próximas gerações.

De modo similar, as medidas de carcaça obtidas por ultrassom apresentaram estimativas de herdabilidade com magnitude moderada (Tabela 7), sugerindo que o uso destas características como critérios de seleção de touros pode contribuir para o avanço da qualidade de carcaça enquanto objetivo de seleção. Resultados similares aos do presente estudo foram relatados por Pinheiro et al. (2012) e Ceacero et al. (2016), em animais da raça Nelore com idade próxima aos 18 meses. Por outro lado, em trabalho com animais de raças taurinas criados na Austrália, Reverter et al. (2000) estimaram herdabilidades superiores às obtidas neste estudo, principalmente para a espessura de gordura subcutânea obtida por ultrassom nas costelas e na garupa em animais da raça Angus, indicando que a proporção mais elevada de genes de efeito aditivo atuando na expressão deste atributo pode evidenciar o maior potencial genético adquirido por estes animais mediante seleção para maior deposição de gordura.

Em relação à composição morfológica, os escores visuais de ES, PS e MS mostraram significativa variabilidade genética (Tabela 7), sendo consistente com os relatos da literatura para a raça Nelore (KOURY FILHO et al., 2009; YOKOO et al., 2009; FARIA et al., 2010; GORDO et al., 2012; DUITAMA et al., 2015). De modo geral, a seleção baseada em características morfológicas atribuídas visualmente deve auxiliar na obtenção de biótipos desejáveis, permitindo a identificação de animais com maior desenvolvimento ponderal e, ao mesmo tempo, melhor conformação morfológica, precocidade de acabamento e musculosidade.

Os altos valores de herdabilidade estimados no presente estudo para os parâmetros Gama e Gratio eram esperados, uma vez que os mesmos foram obtidos a partir de diferenças esperadas na progênie preditas para o crescimento dos animais. Por outro lado, a medida de persistência da produção de leite na lactação, baseada

no parâmetro de desaceleração da produção de leite em vacas da raça Gir, obtida por Pereira et al. (2015) mostrou baixa magnitude de herdabilidade (0,08). Este resultado pode estar associado ao fato de o modelo utilizado por estes autores na obtenção da constante de desaceleração individual ter sido empregado no ajuste das observações fenotípicas reais ao invés do ajuste de observações fenotípicas estimadas por meio das diferenças esperadas na progênie preditas, conforme realizado no presente estudo.

As correlações genéticas entre o Parâmetro Gama e PeS e PeF estimadas neste estudo revelaram associação praticamente nula (Tabela 8). Estes resultados mostram concordância com o observado por Pereira et al. (2015), que estimaram correlação nula entre a persistência da produção de leite na lactação baseada no Parâmetro Gama e o nível de produção de leite. Neste sentido, é esperado que a seleção para alterar a forma da curva de crescimento, baseada no Parâmetro Gama, não proporcione alterações significativas no PeS e PeF.

No melhoramento de bovinos de corte, algumas características como EG, EGP8, PS e MS são utilizadas de maneira rotineira visando inferir sobre a precocidade de acabamento das carcaças dos animais. Em certa medida, seria esperada associação entre estas características e o Parâmetro Gama, no entanto, as correlações genéticas estimadas neste estudo sugerem independência entre as mesmas em nível genético (Tabela 8). Neste sentido, embora seja possível a alteração da forma da curva de crescimento mediante a seleção exclusiva para o declínio do Parâmetro Gama, não são esperadas mudanças significativas devido à resposta correlacionada com respeito à EG, EGP8, PS e MS. Estes resultados sugerem que o Parâmetro Gama não é um bom indicador da precocidade de terminação avaliada por EG, EGP8, PS e MS em bovinos da raça Nelore. No entanto a inclusão deste parâmetro de desaceleração do crescimento nos índices de seleção, juntamente com características de carcaça e composição morfológica, pode auxiliar na obtenção de futuras gerações de animais com crescimento mais rápido, carcaças de melhor qualidade e composição morfológica adequada aos sistemas de criação.

Conforme estimado neste estudo, AOL e ES apresentaram baixa associação com o Parâmetro Gama. No entanto, a direção obtida para as correlações genéticas indica que a seleção baseada neste parâmetro de desaceleração do crescimento pode ocasionar, em longo prazo, aumentos nos valores genéticos para AOL e ES. Dado que estudos conduzidos com animais da raça Nelore mostram correlações genéticas

de magnitudes moderadas a altas entre os escores visuais de estrutura e conformação corporal com o tamanho dos animais avaliado pela altura na garupa (FARIA et al., 2009a; SILVEIRA et al., 2017), pode ser conveniente, na composição de índices de seleção que compreendam o Parâmetro Gama, a inclusão de escores visuais com uma ponderação adequada, de modo a manter o tamanho adulto dos animais em um patamar mediano.

De forma geral, apesar de não terem sido encontradas evidências de que o Parâmetro Gama proposto neste estudo seja um bom indicador da precocidade de terminação em bovinos de corte – quando são consideradas suas relações com as medidas fenotípicas rotineiramente utilizadas na seleção para este atributo – maiores investigações são necessárias no sentido de estudar modelos alternativos para a obtenção deste parâmetro, bem como, esclarecer possíveis efeitos de sua inclusão em diferentes índices nas respostas à seleção obtidas, além de suas relações com outras características de importância econômica, adicionalmente às abordadas neste trabalho.

Em comparação ao Parâmetro Gama, o Parâmetro Gratio, apesar de ter mostrado associações genéticas positivas e de magnitudes variando de baixa a moderada (Tabela 8), apresentou maior relação com as demais características estudadas. Entretanto, os coeficientes de correlação de magnitude moderada e similares obtidos entre Gratio com PeS e PeF (Tabela 8), sugerem que a seleção para este parâmetro deve proporcionar mudanças de magnitude equivalente nos pesos obtidos ao sobreano e entre 600 e 700 dias de idade. Cabe ressaltar, no entanto, que a direção esperada para as respostas correlacionadas não seria favorável, uma vez que tende a reduzir o potencial genético das gerações futuras para o peso corporal próximo à idade de abate. Este fato pode ser especialmente indesejável em conjunturas de mercado onde o peso corporal representa um dos critérios predominantes utilizados pelos frigoríficos na remuneração aos pecuaristas.

As correlações estimadas entre o Parâmetro Gratio e as características de carcaça obtidas por ultrassom (Tabela 8) revelam que a seleção de touros visando exclusivamente menores valores para o Gratio nas próximas gerações, i.e., melhor potencial genético para ganho médio diário em peso corporal na fase pré-desmama em relação à fase pós-desmama, deve promover modesto declínio no potencial genético das progênes para qualidade de carcaça. Estes resultados indicam que animais com maior crescimento até a desmama não necessariamente apresentam

maior mérito genético para qualidade de carcaça, principalmente para a deposição de gordura, sugerindo que o crescimento pós-desmama é um componente de certa relevância na expressão deste atributo. Ao encontro desta suposição, os resultados obtidos por Silva et al. (2017), em estudo com touros jovens da raça Nelore, mostram que, da perspectiva fenotípica, a redução da taxa de crescimento pós-desmama, poderia diminuir o peso, o acabamento e o rendimento das carcaças. No entanto, considerando que uma pequena proporção dos mesmos genes de efeito aditivo estaria atuando na expressão de Gratio, AOL, EG e EGP8, a seleção conjunta destas características em um índice de seleção seria possível de ser implementada em rebanhos de bovinos de corte visando à obtenção de animais de maior crescimento até a desmama, com crescimento menos intenso após a desmama e carcaças de melhor qualidade.

As associações genéticas estimadas entre Gratio e os escores visuais atribuídos ao sobreano (Tabela 8) indicam que os animais que têm maior potencial genético para o ganho médio diário de peso na fase pré-desmama, e que mostram maior redução do mérito genético para o ganho médio diário de peso corporal após este período, tendem a apresentar menores valores genéticos para os escores visuais, principalmente as atribuições relacionadas à precocidade e musculosidade em relação à estrutura corporal. De maneira geral, os resultados obtidos sugerem que a seleção de reprodutores baseada exclusivamente em menores valores genéticos para o Parâmetro Gratio pode ocasionar respostas correlacionadas indesejáveis a longo prazo na composição morfológica dos animais ao sobreano. Neste sentido, é possível que o crescimento pós-desmama apresente relevância moderada na expressão dos atributos visuais avaliados ao sobreano, principalmente os relacionados à precocidade e à musculosidade nos rebanhos estudados. Raciocínio similar pode ser formulado a partir dos resultados obtidos por Everling et al. (2014), os quais mostram que o escore de precocidade de terminação atribuído ao sobreano possui associação genética positiva e de maior magnitude com o ganho médio diário em peso corporal da desmama ao sobreano em comparação ao ganho médio diário em peso corporal do nascimento à desmama (0,48 e 0,29, respectivamente).

Quando é considerada a associação genética entre os parâmetros Gama e Gratio com as características comumente utilizadas na inferência sobre a precocidade de terminação, estes parâmetros não parecem ser, individualmente, bons indicadores para este atributo em bovinos de corte. De modo geral, a utilização do Parâmetro

Gama não deve interferir no desempenho dos animais para peso ao sobreano e ao abate, diferentemente do esperado com a seleção baseada no Parâmetro Gratio. Por outro lado, as relações entre os parâmetros estudados e a composição corporal mensurada por ultrassonografia em tempo real e por atribuição visual de escores indicam, de modo similar, que nenhuma resposta correlacionada ou respostas levemente desfavoráveis podem ser obtidas a longo prazo mediante a seleção baseada exclusivamente nestes parâmetros de desaceleração do crescimento. No entanto, nos programas de melhoramento genético, a inclusão dos parâmetros Gama e/ou Gratio em índices de seleção, conjuntamente a características relacionadas à qualidade de carcaça e à composição morfológica, pode ser uma alternativa para modificar gradualmente a desaceleração do crescimento e melhorar a composição corporal dos animais nos rebanhos estudados.

4.5 Conclusões

A seleção de touros da raça Nelore melhores avaliados para os pesos obtidos próximos à desmama e aos 365 dias de idade pode ser implementada visando, respectivamente, melhorias na habilidade materna, mesmo que de forma lenta, e no peso ao abate das próximas gerações.

A seleção para alterar a forma da curva de crescimento, baseada no Parâmetro Gama, não deve provocar alterações significativas nos pesos obtidos próximos ao sobreano e entre os 600 e 700 dias de idade, na espessura de gordura subcutânea nas costelas e na garupa mensuradas por ultrassom ao sobreano, tampouco nos escores de precocidade e musculosidade atribuídos visualmente ao sobreano. No entanto, podem ser esperados aumentos em médio ou longo prazo nos valores genéticos para área de olho de lombo mensurada por ultrassom ao sobreano e para o escore visual de estrutura corporal atribuído ao sobreano.

A seleção exclusivamente baseada no Parâmetro Gratio pode reduzir o potencial genético das gerações futuras, tanto para o peso corporal próximo à idade de abate, quanto para a composição corporal avaliada por escores visuais. Contudo, a seleção compreendendo índices baseados em menores valores de Gratio e maiores valores genéticos para AOL, EG e EGP8 seria possível de ser implementada visando à obtenção de animais com maior crescimento até a desmama e carcaças de melhor qualidade.

Os parâmetros Gama e Gratio não parecem ser, individualmente, bons indicadores para a precocidade de terminação avaliada por EG, EGP8, PS e MS. No entanto, a inclusão destes parâmetros de desaceleração do crescimento em índices de seleção, conjuntamente a características relacionadas à qualidade de carcaça e à composição morfológica, pode ser uma alternativa para modificar gradualmente a desaceleração do crescimento e melhorar a composição corporal de bovinos da raça Nelore.

5 Considerações finais

O melhoramento genético de bovinos de corte visando à precocidade de terminação têm sido um tema de crescente interesse nos últimos anos, em parte devido à intrínseca relação com a eficiência dos sistemas pecuários, mas também devido à relativa dificuldade envolvida na mensuração direta deste atributo.

A seleção de animais considerando o peso corporal e os ganhos em peso em determinadas idades tem sido prática comum adotada pelos programas de melhoramento genético. Entretanto, a seleção de reprodutores baseada em medidas relacionadas à composição corporal tem sido utilizada visando, simultaneamente, à seleção de animais de rápido crescimento, qualidade de carcaça e composição morfológica adequados, sem que isto ocasione incremento genético no tamanho dos animais em idades mais avançadas.

A inclusão do Parâmetro Gama em índices de seleção de bovinos de corte da raça Nelore pode auxiliar na obtenção de uma mudança gradual na forma da curva de crescimento destes animais sem, no entanto, afetar de forma indesejável o peso, a qualidade de carcaça e a composição morfológica em idades próximas ao abate. Da mesma forma, visando à obtenção de animais com maior crescimento até a desmama e carcaças de melhor qualidade, a inclusão do Parâmetro Gratio poderia ser implementada em índices de seleção que compreendam AOL, EG e EGP8. Contudo, são necessárias maiores investigações de modo a esclarecer os possíveis impactos econômicos da inclusão destes parâmetros de desaceleração do crescimento nos índices de seleção, bem como, determinar ponderações adequadas em relação a outras características economicamente importantes.

Não obstante, o presente trabalho pode proporcionar subsídios para futuros estudos sobre a implementação de critérios de seleção baseados na desaceleração do crescimento de bovinos de corte, além de suscitar a busca por modelos alternativos na obtenção destes parâmetros.

Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, L. G.; MEYER, K. Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of age in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, p.2776-2789, 2001a.

ALBUQUERQUE, L. G.; MEYER, K. Estimates of direct and maternal genetic effects for weights from birth to 600 days of age in Nelore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.118, p.83-92, 2001b.

ARAÚJO, C. V.; NEHLS, W. F.; LAUREANO, M. M. M.; ZUBLER, R.; LÔBO, R. B.; FIGUEIREDO, L. G. G.; ARAÚJO, S. I.; BEZERRA, L. A. F. Modelos de regressão para características de crescimento de bovinos da raça Nelore do estado do Mato Grosso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.68, n.2, p.448-456, 2016.

ARAÚJO, R. O.; MARCONDES, C. R.; EVERLING, D. M.; WEBER, T.; LOPES, J. S.; GARNERO, A. V.; GUNSKI, R. J.; RORATO, P. R. N. Abordagem bayesiana multivariada para características de crescimento, fertilidade e escores visuais de rebanhos da raça Brangus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.8, p.1077-1086, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Rebanho bovino brasileiro**. 2015a. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/3_rebanho.asp>. Acesso em: 25/11/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Perfil da pecuária no Brasil – Relatório anual 2015**. 2015b. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/img/upl/ABIEC_FolderPerfil_PT.pdf>. Acesso em: 27/12/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Perfil da pecuária no Brasil – Relatório anual 2016**. 2016. Disponível em: <<http://www.crbpz.org.br/PortalUploads/Docs/1256.pdf>>. Acesso em: 27/12/2016.

BALDI, F.; ALBUQUERQUE, L. G.; ALENCAR, M. M. Random regression models on Legendre polynomials to estimate genetic parameters for weights from birth to adult age in Canchim cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.127, p.289-299, 2010a.

BALDI, F.; ALENCAR, M. M.; ALBUQUERQUE, L. G. Random regression analyses using B-splines functions to model growth from birth to adult age in Canchim cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.127, p.433-441, 2010b.

BERTIPAGLIA, T. S.; CARREÑO, L. O. D.; ASPILCUETA-BORQUIS, R. R.; BOLIGON, A. A.; FARAH, M. M.; GOMES, F. J.; MACHADO, C. H. C.; REY, F. S. B.; FONSECA, R. Estimates of genetic parameters for growth traits in Brahman cattle using random regression and multitrait models. **Journal of Animal Science**, v.93, p.3814-3819, 2015.

BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; BERTRAND, J. K. Studies on multiple trait and random regression models for genetic evaluation of beef cattle for growth. **Journal of Animal Science**, v.83, p.62-67, 2005.

BOLIGON, A. A.; ALBUQUERQUE, L. G. Correlações genéticas entre escores visuais e características reprodutivas em bovinos Nelore usando inferência bayesiana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1412-1418, 2010.

BOLIGON, A. A.; ALBUQUERQUE, L. G.; MERCADANTE, M. E. Z.; LÔBO, R. B. Herdabilidades e correlações entre pesos do nascimento à idade adulta em rebanhos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.12, p.2320-2326, 2009b.

BOLIGON, A. A.; CARVALHEIRO, R.; ALBUQUERQUE, L. G. Evaluation of mature cow weight: Genetic correlations with traits used in selection indices, correlated responses, and genetic trends in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v.91, p.20-28, 2013.

BOLIGON, A. A.; MERCADANTE, M. E. Z.; BALDI, F.; LÔBO, R. B.; ALBUQUERQUE, L. G. Multi-trait and random regression mature weight heritability and breeding value estimates in Nelore cattle. **South African Journal of Animal Science**, v.39, p.145-148, 2009a.

BOLIGON, A. A.; MERCADANTE, M. E. Z.; FORNI, S.; LÔBO, R. B.; ALBUQUERQUE, L. G. Covariance functions for body weight from birth to maturity in Nellore cows. **Journal of Animal Science**, n.88, p.849-859, 2010a.

BOLIGON, A. A.; MERCADANTE, M. E. Z.; LÔBO, R. B.; BALDI, F.; ALBUQUERQUE, L. G. Random regression analyses using B-spline functions to model growth of Nellore cattle. **Animal**, v.6, n.2, p.212-220, 2011.

BOLIGON, A. A.; SILVA, J. A. V.; SESANA, R. C.; SESANA, J. C.; JUNQUEIRA, J. B.; ALBUQUERQUE, L. G. Estimation of genetic parameters for body weights, scrotal circumference, and testicular volume measured at different ages in Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v.88, p.1215-1219, 2010b.

BONIN, M. N.; FERRAZ, J. B. S.; PEDROSA, V. B.; SILVA, S. L.; GOMES, R. C.; CUCCO, D. C.; SANTANA, M. H. A.; CAMPOS, J. H. A.; BARBOSA, V. N.; CASTRO, F. S. F.; NOVAIS, F. J.; OLIVEIRA, E. C. M. Visual body-scores selection and its influence on body size and ultrasound carcass traits in Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v.93, 2015.

Brasil com Z[®] - Zootecnia Tropical. **Integração entre avaliações visuais e de ultrassonografia em programas de melhoramento genético de zebuínos**. 2015.

Disponível em: <<http://www.brasilcomz.com/enviados/20157313273.pdf>>. Acesso em: 14/03/2016.

CAMPOS, G. S.; BRACCINI NETO, J.; OAIGEN, R. P.; CARDOSO, F. F.; COBUCI, J. A.; KERN, E. L.; CAMPOS, L. T.; BERTOLI, C. D.; McMANUS, C. M. Bioeconomic model and selection indices in Aberdeen Angus cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, p.1-8, 2014.

CEACERO, T. M.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G.; CANESIN, R. C.; BONILHA, S. F. M.; ALBUQUERQUE, L. G. Phenotypic and genetic correlations of feed efficiency traits with growth and carcass traits in Nelore cattle selected for postweaning weight. **Plos One**, v.11, n.8, p.1-11, 2016.

COSTA, G. Z.; QUEIROZ, S. A.; OLIVEIRA, J. A.; FRIES, L. A. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de escores visuais e de ganho médio de peso do nascimento à desmama de bovinos formadores da raça Brangus. **Ars Veterinaria**, v.24, n.3, p.172-176, 2008.

COUTINHO, C. C.; MERCADANTE, M. E. Z.; JORGE, A. M.; PAZ, C. C. P.; EL FARO, L.; MONTEIRO, F. M. Growth curves of carcass traits obtained by ultrasonography in three lines of Nelore cattle selected for body weight. **Genetics and Molecular Research**, v.14, n.4, p.14076-14087, 2015.

DIAS, L. T.; ALBUQUERQUE, L. G.; TONHATI, H.; TEIXEIRA, R. A. Estimação de parâmetros genéticos para peso do nascimento aos 550 dias de idade para animais da raça Tabapuã utilizando-se modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.1915-1925, 2006.

DU, M.; TONG, J.; ZHAO, J. UNDERWOOD, K. R.; ZHU, M. FORD, S. P.; NATHANIELSZ, P. W. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. **Journal of Animal Science**, n.88, p.E51-E60, 2010.

DUITAMA, L. O.; FONSECA, R.; BERTIPAGLIA, T.; MACHADO, C. H.; SOARES FILHO, C. V. Estimação de parâmetros genéticos para escores visuais e características de desenvolvimento ponderal na raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.4, p.1111-1118, 2015.

EVERLING, D. M.; BRESOLIN, T.; RORATO, P. R. N.; ARAUJO, R. O.; BOLIGON, A. A.; WEBER, T.; DORNELLES, M. A.; CAMPOS, L. T. Finishing precocity visual score and genetic associations with growth traits in Angus beef cattle. **Genetics and Molecular Research**, v.13, n.3, p.7757-7765, 2014.

FARIA, C. U.; KOURY FILHO, W.; MAGNOBOSCO, C.U.; ALBUQUERQUE, L. G.; BEZERRA, L. A. F.; LÔBO, R. B. Bayesian inference in genetic parameter estimation of visual scores in Nelore beef-cattle. **Genetics and Molecular Biology**, v.32, n.4, p.753-760, 2009b.

FARIA, C. U.; MAGNABOSCO, C. U.; ALBUQUERQUE, L. G.; BEZERRA, L. A. F.; LÔBO, R. B. Estimativas de correlações genéticas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassonografia em bovinos Nelore utilizando modelos bayesianos linear-limiar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.11, p.2144-2151, 2009a.

FARIA, C. U.; PIRES, B. C.; VOZZI, A. P.; MAGNABOSCO, C. U.; KOURY FILHO, W.; VIU, M. A. O.; OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B. Genetic correlations between categorical morphological traits in Nelore cattle by applying Bayesian analysis under a threshold animal model. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.127, p.377-384, 2010.

FUNSTON, R. N.; LARSON, D. M.; VONNAHME, K. A. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: Implications for beef cattle production. **Journal of Animal Science**, v.88, p.E205-E215, 2010.

GIANNOTTI, J. D. G.; PACKER, I. U.; MERCADANTE, M. E. Z. Meta-análise para estimativas de herdabilidade para características de crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1173-1180, 2005.

GORDO, D. G. M.; BALDI, F.; LÔBO, R. B.; KOURY FILHO, W.; SAINZ, R. D.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic association between body composition measured by ultrasound and visual scores in Brazilian Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v.90, p.4223-4229, 2012.

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, v.82-83, p.349-360, 2004.

HELDELBERGER, P.; WELCH, P. Simulation run length control in the presence of an initial transient. **Operations Research**, v.31, p.1109-1144, 1983.

HUNTER, R. A.; SIEBERT, B. D. Utilization of low-quality roughage by *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **British Journal of Nutrition**, v.53, p.637-648, 1985.

IBELLI, A. M. G.; RIBEIRO, A. R. B.; GIGLIOTTI, R.; REGITANO, L. C. A.; ALENCAR, M. M.; CHAGAS, A. C. S.; PAÇO, A. L.; OLIVEIRA, H. N.; DUARTE, J. M. S.; OLIVEIRA, M. C. S. Resistance of cattle of various genetic groups to the tick *Rhipicephalus microplus* and the relationship with coat traits. **Veterinary Parasitology**, v.186, p.425-430, 2012.

JENKINS, T. G.; FERRELL, C. L. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: I. Initial evaluation. **Journal of Animal Science**, v.72, p.2787-2797, 1994.

KAMIDI, R. E. A parametric measure of lactation persistency in dairy cattle. **Livestock Production Science**, v.96, p.141-148, 2005.

KIRKPATRICK, M.; LOFSVOLK, D.; BULMER, M. Analysis of the Inheritance, Selection and Evolution of Growth Trajectories. **Genetics Society of America**, v.124, p.979-993, 1990.

KOURY FILHO, W.; ALBUQUERQUE, L. G.; ALENCAR, M. M.; FORNI, S.; SILVA, J. A. V.; LÔBO, R. B. Estimativas de herdabilidade e correlações para escores visuais, peso e altura ao sobreano em rebanhos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.12, p.2362-2367, 2009.

KOURY FILHO, W.; ALBUQUERQUE, L. G.; FORNI, S.; SILVA, J. A. V.; YOKOO, M. J. I.; ALENCAR, M. M. Estimativas de parâmetros genéticos para os escores visuais e suas associações com peso corporal em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.1015-1022, 2010.

LAUREANO, M. M. M.; BOLIGON, A. A.; COSTA, R. B.; FORNI, S.; SEVERO, J. L. P.; ALBUQUERQUE, L. G. Estimativas de herdabilidade e tendências genéticas para características de crescimento e reprodutivas em bovinos da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.1, p.143-152, 2011.

LOPES, F. B.; MAGNABOSCO, C. U.; PAULINI, F.; SILVA, M. C.; MIYAGI, E. S.; LÔBO, R. B. Genetic analysis of growth traits in polled Nelore cattle raised on pasture in tropical region using bayesian approaches. **Plos One**, v.8, n.9, p.1-6, 2013.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**, São Paulo. 2000. 134p.

MEYER, K. Estimates of direct and maternal covariance functions for growth of Australian beef calves from birth to weaning. **Genetics Selection Evolution**, v.33, p.487-514, 2001.

MEYER, K. Estimates of genetic covariance functions for growth of Angus cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.122, p.73-85, 2005.

MEYER, K. Scope for a random regression model in genetic evaluation of beef cattle for growth. **Livestock Production Science**, v.86, p.69-83, 2004.

MIAR, Y.; PLASTOW, G. S.; BRUCE, H. L.; MOORE, S. S.; DURUNNA, O. N.; NKRUHMAH, J. D.; WANG, Z. Estimation of genetic and phenotypic parameters for ultrasound and carcass merit traits in crossbred beef cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.94, p.1-8, 2014.

MISZTAL, I. **BLUPF90 Program**. 2002. Disponível em: <<http://nce.ads.uga.edu/html/projects/programs/>>. Acesso em: 14/03/2016.

MRODE, R. A. **Linear models for the prediction of animal breeding values**. 3.ed. CABI, 2014. 360 p.

NELKON, M.; PARKER, P. **Advanced Level Physics**. 3.ed. Londres: Heinemann Educational Books LTDA, 1970. 1107p.

PASSAFARO, T. L.; FRAGOMENI, B. O.; GONÇALVES, D. R.; MORAES, M. M.; TORAL, F. L. B. Análise genética do peso em um rebanho de bovinos Nelore. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.51, n.2, p.149-158, 2016.

PEDROSA, V. B.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S.; SILVA, J. A. V.; RIBEIRO, S.; SILVA, M. R.; PINTO, L. F. B. Parâmetros genéticos do peso adulto e características de desenvolvimento ponderal na raça Nelore. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.11, n.1, p.104-113, 2010.

PEREIRA, R. J.; AYRES, D. R.; EL FARO, L.; VERCESI FILHO, A. E.; VERNEQUE, R. S.; ALBUQUERQUE, L. G. A new way to measure milk yield persistency: a genetic point of view with application to Gyr (*Bos indicus*) cattle. **Journal of Dairy Research**, v.82, p.385-390, 2015.

PINHEIRO, T. R.; MERCADANTE, M. E. Z.; ALBUQUERQUE, L. G.; BONILHA, S. F. M.; MONTEIRO, F. M. Selection for higher body weight in Nelore cattle is effective in achieving an increase of *longissimus* muscle area without reducing subcutaneous fat thickness. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.6, p.1426-1432, 2012.

PLUMMER, M.; BEST, N.; COWLES, K.; VINES, K. Coda: Convergence diagnosis and output analysis for mcmc. **R News**, v.6, n.1, p.7-11, 2006. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>>.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

REGATIERI, I. C.; BOLIGON, A. A.; BALDI, F.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic correlations between mature cow weight and productive and reproductive traits in Nelore cattle. **Genetics and Molecular Research**, v.11, n.3, p.2979-2986, 2012.

REVERTER, A.; JOHNSTON, D. J.; GRASER, H.-U.; WOLCOTT, M. L.; UPTON, W. H. Genetic analyses of live-animal ultrasound and abattoir carcass traits in Australian Angus and Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, v.78, p.1786-1795, 2000.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR e DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E APOIO À EXPORTAÇÃO (SECEX/DEAEX). **Balança comercial brasileira: semanal**. 2016. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/balanca-semanal/DownloadCompleto_Outubro2016_2%C2%AA_Semana.zip>. Acesso em: 18/10/2016.

SHIOTSUKI, L.; SILVA II, J. A. V.; TONHATI, H.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic associations of sexual precocity with growth traits and visual scores of conformation, finishing, and muscling in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v.87, p.1591-1597, 2009.

SILVA, L. H. P.; PAULINO, P. V. R.; ASSIS, G. J. F.; ASSIS, D. E. F.; ESTRADA, M. M.; SILVA, M. C.; SILVA, J. C.; MARTINS, T. S.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F.; CHIZZOTTI, M. L. Effect of post-weaning growth rate on carcass traits and meat quality of Nelore cattle. **Meat Science**, v.123, p.192-197, 2017.

SILVEIRA, D. D.; DE VARGAS, L.; ROSO, V. M.; CAMPOS, G. S.; SOUZA, F. R. P.; BOLIGON, A. A. Genetic study of visual scores and hip height at different ages in Nelore cattle. **Animal Production Science**, v.57, p.614-621, 2017.

TORAL, F. L. B.; ROSO, V. M.; ARAÚJO, C. V.; REIS FILHO, J. C. Genetic parameters and response to selection for post-weaning weight gain, visual scores and carcass traits in Hereford and Hereford x Nelore cattle. **Livestock Science**, v.137, p.231-237, 2011.

TSURUTA, S.; MISZTAL, I.; STRANDÉN, I. Use of the preconditioned conjugate gradient algorithm as a generic solver for mixed-model equations in animal breeding applications. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1166-1172, 2001.

TURNER, J. W. Genetic and biological aspects of zebu adaptability. **Journal of Animal Science**, v.50, n.6, 1980.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA/FAS). **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. 2016. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF>. Acesso em: 18/10/2016.

YOKOO, M. J.-I.; ALBUQUERQUE, L. G.; LÔBO, R. B.; BEZERRA, L. A. F.; ARAUJO, F. R. C.; SILVA, J. A. V.; SAINZ, R. D. Genetic and environmental factors affecting ultrasound measures of longissimus muscle area and backfat thickness in Nelore cattle. **Livestock Science**, v.117, p.147-154, 2008.

YOKOO, M. J.-I.; LÔBO, R. B.; ARAÚJO, F. R. C.; BEZERRA, L. A. F.; SAINZ, R. D.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic associations between carcass traits measured by real-time ultrasound and scrotal circumference and growth traits in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v.88, p.52-58, 2010.

YOKOO, M. J.-I.; LÔBO, R. B.; MAGNABOSCO, C. U.; ROSA, G. J. M.; FORNI, S.; SAINZ, R. D.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic correlation of traits measured by ultrasound at yearling and 18 months of age in Nelore beef cattle. **Livestock Science**, v.180, p.34-40, 2015.

YOKOO, M. J.-I.; WERNECK, J. N.; PEREIRA, M. C.; ALBUQUERQUE, L. G.; KOURY FILHO, W.; SAINZ, R. D.; LOBO, R. B.; ARAUJO, F. R. C. Correlações genéticas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassom em bovinos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.2, p.197-202, 2009.

ZUIN, R. G.; BUZANSKAS, M. E.; CAETANO, S. L.; VENTURINI, G. C.; GUIDOLIN, D. G. F.; GROSSI, D. A.; CHUD, T. C. S.; PAZ, C. C. P.; LÔBO, R. B.; MUNARI, D. P. Genetic analysis on growth and carcass traits in Nelore cattle. **Meat Science**, v.91, p.352-357, 2012.