



# Efeito da idade a primeira concepção como critério de seleção em características de crescimento e carcaça em bovinos Nelore

## Effect of age at first conception as a selection criterion on growth and carcass traits in Nelore cattle

Ludmilla Costa Brunet<sup>\*1</sup> , Fernando Baldi<sup>2</sup> , Marcos Fernando Oliveira e Costa<sup>1</sup> , Raysildo Barbosa Lobo<sup>3</sup> , Fernando Brito Lopes<sup>3</sup> , Cláudio Ulhoa Magnabosco<sup>1</sup> 

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Cerrados), Brasília, Distrito Federal, Brasil

2 Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil

3 Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil

4 Cobb-Vantress, Siloam Springs, Arkansas, USA

\*autor correspondente: ludmillabrunes@hotmail.com

**Resumo:** Objetivou-se identificar características indicadoras de precocidade sexual de fácil mensuração e que podem ser registradas em menor idade (idade à primeira concepção - IPC), além de estimar as correlações genéticas dessa característica com aquelas de crescimento e carcaça em bovinos Nelore. A IPC foi considerada a idade em que a fêmea apresentou o primeiro diagnóstico positivo de prenhez. A estimativa dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos foi realizada usando modelo animal linear em análises bicaracterísticas. As estimativas de herdabilidade foram moderadas, indicando viabilidade de seleção genética para características de crescimento, carcaça e precocidade sexual. As correlações genéticas obtidas entre o IPC e a idade ao primeiro parto (IPP) foram altas (0,88), indicando a viabilidade do uso de IPC como critério de seleção para parto em idade precoce de novilhas. As estimativas de correlações genéticas entre IPC e IPP com peso aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade e características de carcaça foram moderadas e negativas (-0,33 a -0,62). Assim, a seleção genética para animais com IPC e IPP precoces aumentaria o rendimento de carcaça, a deposição de gordura e o peso corporal, embora não afete o peso ao nascer e o ganho de peso diário. Os resultados deste estudo encorajam o uso de IPC em bovinos Nelore, uma vez que esta característica apresentou variabilidade genética em bovinos Nelore, podendo ser utilizada como critério de seleção para melhorar a precocidade sexual. Quando o objetivo de seleção genética é aumentar a precocidade sexual das novilhas, indica-se o uso de IPC como critério, pois a mensuração desta característica ocorre em idade menor IPP.

**Palavras-chave:** *Bos indicus*; características produtivas; parâmetros genéticos; qualidade de carcaça; precocidade sexual

Recebido: 18 de março, 2023. Aceito: 21 de setembro, 2023. Publicado: 13 de dezembro, 2023.

**Abstract:** The aim was to identify predictive traits of relatively easy measurement and which can be recorded early in life (age at first conception - AFCo), besides estimating its genetic correlations with growth and carcass traits in Nellore cattle. Age at first conception was considered the age at which the female had the first positive diagnosis for pregnancy. The estimation of (co)variance components and genetic parameters was performed using a linear animal model in two-trait analysis. The estimates of heritability were moderate, enabling genetic selection for growth-, carcass-, and sexual precocity-related traits. The genetic correlation obtained between AFCo and age at first calving (AFCa) was high (0.88), indicating the feasibility of using AFCo as a selection criterion for early calving heifers. Genetic correlation estimates between AFCo and AFCa with weight at 120, 210, 365, and 450 days of age and carcass traits were moderate and negative (-0.33 to -0.62). Thus, genetic selection for animals with early AFCo and AFCa would enhance carcass yield, fat deposition, and growth performance, despite not affecting birth weight or daily weight gain. The results of this study encourage the use of AFCo in Nellore cattle since this trait displayed enough genetic variability in Nellore cattle, and can be used as selection criteria to improve sexual precocity. When the objective of genetic selection is to increase heifer sexual precocity, we could use the first trait as a criterion, as the measurement of this trait occurs at a lower AFCa.

**Keywords:** *Bos indicus*; carcass quality; genetic parameters; productive traits; sexual precocity

## 1. Introdução

Atualmente, tem se dado maior ênfase a características de crescimento em programas de melhoramento genético de bovinos de corte, sendo as relacionadas a qualidade de carcaça, fertilidade e precocidade sexual utilizadas em segundo plano. Contudo, a seleção exclusiva para características de crescimento pode resultar em impacto negativo em características de carcaça e indicadores de precocidade sexual. Visto que, animais mais pesados a maturidade são mais tardios ou apresentam maior estrutura corporal, apresentando carcaças de menor acabamento e atraso na ocorrência da puberdade<sup>(1-3)</sup>. Em adição, a seleção genética para características de qualidade de carcaça pode aumentar a rentabilidade dos sistemas de produção<sup>(4)</sup>, pois atributos de carcaça e carne afetam o aceite pelo mercado consumidor e a recompra<sup>(5)</sup>.

Em consonância, características indicadoras de precocidade sexual tem um maior impacto na produtividade de sistemas de cria<sup>(6)</sup>. A lucratividade da bovinocultura de corte está associada à redução da idade a maturidade das novilhas, uma vez que permite maior número de bezerros por vaca e maior longevidade produtiva<sup>(6-9)</sup>. Novilhas que emprenham no início da estação reprodutiva e parem também no início da estação de nascimento, apresentam bezerros mais pesados e maior tempo de recuperação pós-parto, resultando em maiores chances de se apresentarem prenhas no início das estações reprodutivas subsequentes<sup>(10,11)</sup>. Assim, a seleção genética para precocidade sexual em novilhas permite otimizar o ciclo produtivo e em sistemas de produção de bovinos de corte a sustentabilidade econômica está relacionada ao crescimento, eficiência reprodutiva, carcaça e produção<sup>(12)</sup>.

A seleção genética para precocidade sexual é realizada indiretamente considerando o perímetro escrotal (PE), característica de fácil mensuração avaliada em machos e que

apresenta alta herdabilidade, porém é uma característica limitada pelo sexo<sup>(6,13)</sup>. O objetivo da seleção da precocidade sexual é reduzir a idade a puberdade. Contudo, a avaliação do início da puberdade em novilhas é complexa, necessitando de manejo para a detecção da primeira ovulação, tal como, o uso de dosagem hormonal, com consequentes custos de produção adicionais<sup>(8)</sup>.

Uma forma de otimizar a seleção genética para precocidade sexual é utilizar características medidas diretamente nas fêmeas, que apresentem correlação alta e favorável com a idade à puberdade, e leve ao aumento do ganho genético, como idade à primeira concepção (IPC) e idade ao primeiro parto (IPP)<sup>(6,13,14)</sup>. A IPC, medida considerando a diferença entre a data de nascimento e a data do primeiro diagnóstico positivo de gestação da novilha, é de fácil avaliação para todas as novilhas, não exigindo o uso de penalidades para as novilhas que não pariram. A IPC não depende da duração da gestação, ao contrário da IPP. Além disso, a realização do diagnóstico de gestação é uma prática comum em rebanhos de seleção de bovinos de corte. A prenhez de novilhas apresenta variância genética moderada a alta, o que justifica a utilização desta característica como critério de seleção em programas de criação de bovinos Nelore<sup>(6)</sup>. Essa característica é avaliada, comumente, como uma característica binária e conhecida como probabilidade de parto precoce até os 30 meses de idade (PPC30)<sup>(6)</sup>, com inferência bayesiana, que se baseia em conhecimento preliminar (distribuição *a priori*)<sup>(15)</sup> e apresenta maior demanda computacional<sup>(16)</sup>. O uso desses métodos de estimação de parâmetros genéticos tem sido associado a dificuldade de atingir os critérios de convergência ao avaliar a correlação genética entre PPC30 e outras características<sup>(17)</sup>. Portanto, a avaliação da idade a primeira prenhez de novilhas utilizando IPC pode ser uma alternativa para facilitar a avaliação genética e ampliar a seleção genética para precocidade sexual. Visto que, esta é uma característica quantitativa e é obtida mais facilmente no rebanho, pois faz parte da coleta rotineira de dados. Além disso, a IPC tem uma vantagem em relação à IPP, uma vez que a IPC é avaliada antes do primeiro parto.

Diversos estudos têm demonstrado que o PE apresenta alta correlação com PPC30 e características produtivas, como peso aos 120 (P120) e 450 dias de idade (P450) (0,30 a 0,66) em bovinos de corte<sup>(6,17-19)</sup>. Entretanto, o PE apresenta baixa correlação com características de carcaça, como área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EG) e espessura de gordura na garupa (P8) em bovinos de corte<sup>(6,17-19)</sup>. Baixas estimativas de correlação genética também foram relatadas entre IPP e características produtivas, embora as estimativas de correlações genéticas entre IPP e características de carcaça mostrem grande variação em bovinos de corte<sup>(6,17-20)</sup>.

Até o momento, as relações entre características de precocidade sexual em fêmeas de fácil mensuração, como IPC, e sua correlação com características produtivas e de carcaça utilizando animais zebuínos em sistemas de pastejo não foram totalmente exploradas. Para a avaliação da IPP é necessário expor as novilhas ao acasalamento na mesma idade e realizar o diagnóstico de gestação, o que pode implicar um custo de avaliação superior ao da IPC. Porém, a identificação antecipada de fêmeas precoces pode reduzir custos de produção, com o descarte de novilhas tardias.

Antes de recomendar aos produtores a inclusão da seleção genética para IPC e IPP em seus programas de melhoramento, é vital compreender a relação genética dessas duas características relacionadas a precocidade sexual com outras características de importância econômica, como características de crescimento e qualidade de carcaça. Este estudo levanta a hipótese de que a seleção genética para obtenção de novilhas precoces pode ser realizada utilizando IPC como critério de seleção, sem efeitos negativos sobre outras características de importância econômica. Assim, objetivou-se, com este estudo, contribuir para a identificação de características de fácil mensuração e que possam ser registradas de forma antecipada em novilhas (IPC), além de estimar suas correlações genéticas com características de crescimento e carcaça em bovinos Nelore.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Dados fenotípicos e características avaliadas

A coleta de informações fenotípicas não é categorizada como experimento, pois as intervenções estão relacionadas às práticas agrícolas de acordo com a lei nº 11.794 (8 de outubro de 2008; inciso VII do § 1º do inciso 225 da Constituição Federal do Brasil), que estabelece procedimentos para o uso científico dos animais. Assim, o presente estudo não foi submetido a um comitê de ética, visto que foi utilizado um conjunto de dados de um sistema de produção comercial, com consentimento do proprietário dos animais.

Os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela Fazenda Vera Cruz, que apresenta sistema de produção semi-extensivo a pasto e está localizada no Estado de Mato Grosso, e pelo Programa de Melhoramento Genético Nelore Brasil, coordenado pela Associação Nacional dos Criadores e Pesquisadores (ANCP). O rebanho avaliado foi submetido à seleção para precocidade sexual utilizando IPC como critério de seleção desde 2009. O conjunto de dados incluiu 4.081 registros fenotípicos de animais nascidos entre 2009 e 2015. A ANCP forneceu as informações de pedigree com 11.198 animais, o qual foi utilizado para compor a matriz de parentesco. Os dados de pedigree continham 1.606 touros e 6.129 vacas com progênie. O número médio de progênies por vaca e touro foi de 2,10 e 6,13, respectivamente. Os animais avaliados apresentaram endogamia média de 0,041%.

Os animais foram pesados a cada 90 dias, do nascimento até os 18 meses de idade. A estação de monta adotada foi de novembro a fevereiro, utilizando inseminação artificial em tempo fixo para todas as novilhas e monta natural após a segunda inseminação artificial. As novilhas foram expostas ao acasalamento pela primeira vez aos 11 meses de idade, com peso mínimo de 250 kg. Todas as novilhas do rebanho avaliado foram desafiadas quanto à precocidade sexual e submetidas ao mesmo manejo reprodutivo, sem avaliação da manifestação do primeiro estro. Todas as novilhas foram submetidas ao mesmo protocolo de sincronização. As novilhas que apresentaram prenhez positiva aos 20 meses foram classificadas como precoces, caso contrário foram classificadas como convencionais. Todos os registros de novilhas precoces e convencionais foram analisados. A estação de parição teve duração de agosto a novembro, sendo os bezerros desmamados aos  $240 \pm 30$  dias de idade.

As características IPC e IPP, mesmo afetando o desempenho reprodutivo, foram consideradas como indicadoras de precocidade sexual, indicando especificamente o início da atividade reprodutiva das fêmeas. A IPC foi considerada a idade, em meses, em que a novilha apresentou o primeiro diagnóstico positivo de gestação. O diagnóstico de prenhez foi realizado pelo mesmo veterinário por meio de exames ultrassonográficos realizados no 28º dia após a inseminação artificial, utilizando transdutor linear de 7,5MHz. A observação de líquido alantóico ou de embrião visível foi adotado como diagnóstico de gestação positivo<sup>(21)</sup>. A IPP foi calculada, em meses, como a diferença em dias entre a data do primeiro parto e a data do nascimento da matriz. As diferenças entre IPC e IPP, ou seja, novilhas que apresentaram gestação precoce, mas não pariram podem ser atribuídas a diversos fatores, como perda embrionária, aborto voluntário, entre outros fatores intrínsecos às fêmeas.

Sete características produtivas foram incluídas nessas análises: peso ao nascer (PN), P120, peso aos 210 dias de idade (P210), peso aos 365 dias de idade (P365) e P450, ganho em peso pré (GMDPRE) e pós-desmame (GMDPOS). O peso padronizado e o ganho de peso diário foram calculados conforme método proposto por Garnero et al.<sup>(22)</sup>. Seis características de carcaça foram incluídas nas análises: AOL, EG, P8, marmoreio (MAR), peso de carcaça quente (PCQ) e peso comestível (PPC). AOL, EG, P8 e MAR foram mensuradas por ultrassonografia (Aloka 500 SSD com transdutor 3,5 MHz) conforme descrito por BIF<sup>(23)</sup>. A AOL (avaliada em cm<sup>2</sup>), a EG (mensurada em mm) e o MAR (%) foram mensurados entre a 12ª e a 13ª costelas no músculo *Longissimus Dorsi*. A P8 (mensurada em mm) foi mensurada na intersecção dos músculos *Gluteus Medius* e *Biceps Femoris*, que está localizado entre os ossos íleo e ísquio. O PCQ e PPC foram estimados por meio de equações baseadas nas medidas fenotípicas de AOL, EG, P8 e peso mensurado no dia da ultrassonografia<sup>(24)</sup>.

## 2.2 Análises estatísticas e de parâmetros genéticos

Os efeitos fixos foram testados quanto à significância ( $P < 0,05$ ) usando a função *lm* com software R<sup>(25)</sup>. Os efeitos testados para cada característica avaliada foram ano e época de nascimento, sexo, lote de manejo, touro, idade dos animais e idade da mãe. Assim, os grupos contemporâneos (GC) foram compostos por animais nascidos no mesmo ano e estação de nascimento, sexo e mesmo lote de manejo. As análises preliminares, juntamente com a edição dos dados coletados, foram realizadas com o software estatístico R<sup>(25)</sup>. Na edição dos dados foram eliminados: dados inferiores e superiores a 3,5 desvios-padrão da média do GC; GC com menos de quatro animais; e touros com menos de cinco filhos.

Testou-se a conectabilidade entre os grupos de contemporâneos, com base no número total de laços genéticos, tendo-se considerado como restrição a existência de no mínimo 10 laços, usando o programa AMC<sup>(26)</sup>. A conectabilidade dos GCs constituiu-se de um arquipélago com maior número de laços genéticos e todos os GC a ele conectados. Após a análise do relatório final do programa AMC, realizou-se a preparação dos arquivos de dados e de pedigree, incluindo somente GC conectados. Nas análises genéticas, foram consideradas 4.081 observações de animais da raça Nelore e um arquivo com pedigree de 11.198 animais

e seis gerações, utilizados na composição da matriz de parentesco. As distribuições das características são mostradas na Tabela 1.

As características foram analisadas utilizando modelo animal em análises uni e bicaracterísticas. As análises bicaracterísticas foram realizadas para estimar covariância e correlações genéticas e fenotípicas entre as características avaliadas. O modelo animal foi baseado no método de máxima verossimilhança restrita, que utiliza um algoritmo livre de derivadas, disponível no REML (máxima verossimilhança restrita) e AIREML (average information – máxima verossimilhança restrita) do programa BLUPF90<sup>(27)</sup>. Os critérios de convergência foram definidos como 10<sup>-12</sup> para garantir a convergência no máximo global da função de verossimilhança.

Para PN, P120, P210 e GMDPRE, foram incluídos no modelo como efeitos aleatórios o genético aditivo direto, o genético materno, o ambiente materno permanente e o efeito residual, e como efeitos fixos o GC e idade da vaca ao parto como covariáveis (efeito linear e quadrático).

**Tabela 1.** Número de observações (Nº), média, desvio-padrão (DP), coeficiente de variação (CV), mínimo, máximo, número de grupos contemporâneos (Nº GC) e número de animais por GC para crescimento, carcaça e características indicadoras de precocidade sexual em bovinos Nelore

Característica	Nº	Média	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)	Nº GC	Nº animais/GC
PN (kg)	4081	34,10	23,00	45,00	2,92	8,56	186	22
P120 (kg)	3158	134,03	68,00	193,21	18,43	13,75	203	16
P210 (kg)	3222	203,67	102,00	308,00	28,59	14,04	217	15
P365 (kg)	2846	283,85	132,00	433,00	48,63	17,13	216	13
P450 (kg)	2157	324,15	172,00	481,00	55,51	17,12	157	14
GMDPRE (kg)	3070	0,79	0,07	1,71	0,20	25,32	200	15
GMDPOS (kg)	2051	0,54	0,04	1,36	0,21	38,92	113	18
AOL (cm <sup>2</sup> )	1906	55,87	24,46	96,07	9,85	17,63	61	31
EG (mm)	1844	2,63	0,27	8,83	1,35	51,55	61	30
EGP8 (mm)	1299	3,41	1,02	12,74	1,77	52,05	61	21
MAR (%)	1137	2,24	1,00	4,94	0,83	37,05	61	19
PCQ (kg)	1952	207,83	93,95	358,65	42,31	20,36	58	34
PPC (kg)	1952	82,15	34,06	143,75	17,23	20,97	58	34
IPC (meses)	1695	22,03	11,33	40,95	5,95	27,01	101	17
IPP (meses)	1490	33,14	21,13	48,33	5,62	16,97	101	15

PN: peso ao nascer; P120: peso aos 120 dias de idade; P210: peso aos 210 dias de idade; P365: peso aos 365 dias de idade; P450: peso aos 450 dias de idade; GMDPRE: ganho médio diário pré-desmame; GMDPOS: ganho médio diário pós-desmame; AOL: área de olho de lombo; EG: espessura de gordura subcutânea; P8: espessura de gordura subcutânea na grupa; MAR: marmoreio; PCQ: peso carcaça quente; PPC: peso da porção comestível; IPC: idade à primeira concepção; IPP: idade ao primeiro parto.

Para P365, P450, GMDPOS, IPC e IPP, foram incluídos no modelo o genético aditivo direto e o resíduo como efeitos aleatórios, e os efeitos fixos de GC. Para características de carcaça, foram incluídos no modelo o genético aditivo direto e o resíduo como efeitos aleatórios, e os

efeitos fixos de GC e idade do animal como covariáveis (efeito linear). A equação do modelo animal utilizada foi:

$$y = X\beta + Z_1a + Z_2m + Z_3mpe + e$$

Onde  $y$  é o vetor de fenótipos,  $X$  é a matriz de incidência que associa  $\beta$  com  $y$ ,  $\beta$  é o vetor dos efeitos fixos, incluindo o GC, a idade da vaca ao parto (PN, P120 e P210) e idade do animal (características de carcaça),  $Z_1$  é a matriz de incidência que associa  $a$  com  $y$ ,  $a$  é o vetor de efeito aleatório genético aditivo direto,  $Z_2$  é a matriz de incidência que associa  $m$  com  $y$ , apenas para PN, P210 e P210,  $m$  é o vetor de efeito genético maternal,  $Z_3$  é a matriz de incidência que associa  $mpe$  com  $y$ , apenas para PN, P210 e P210,  $mpe$  é o vetor dos efeitos de ambiente permanente materno, e  $e$  é o vetor de efeitos residuais aleatórios. Foi assumido que  $E(y) = X\beta$ ; com os efeitos genéticos aditivo direto, materno aditivo, ambiente permanente materno e residual assumidos como normalmente distribuídos, com média zero e  $\text{Var}(a) = H \otimes S_a$ ,  $\text{Var}(m) = H \otimes S_m$ ,  $\text{Var}(mpe) = H \otimes S_{mpe}$  e  $\text{Var}(e) = H \otimes S_e$ , nos quais  $S_a$ ,  $S_m$ ,  $S_{mpe}$ , e  $S_e$  são as matrizes genética aditiva, materna aditiva, ambiente permanente materno e covariância residual, respectivamente, e  $I$  é uma matriz identidade de ordem apropriada.

As estimativas de variância e (co)variância obtidas pelo AIREMLF90 foram utilizadas como valores iniciais para o REMLF90<sup>(27)</sup>, e as análises para estimativa dos parâmetros foram repetidas até que os resultados permanecessem constantes. Os desvios-padrão foram obtidos para os coeficientes de herdabilidade e correlações genéticas, utilizando a distribuição assintótica normal multivariada, proposta por Meyer e Houle<sup>(28)</sup>. Em seguida, os valores dos erros-padrão foram divididos pela raiz quadrada do número de observações, obtendo-se os desvios-padrão. Estimativas de herdabilidade, correlações genéticas e fenotípicas foram calculadas utilizando os componentes de variância do REMLF90<sup>(27)</sup>.

### 3. Resultados

As estimativas de variâncias, herdabilidades e seus respectivos erros-padrão para características de crescimento, carcaça e indicadoras de precocidade sexual estão apresentadas na Tabela 2. As estimativas de herdabilidade direta para características de crescimento, carcaça e indicadoras de precocidade sexual foram moderadas. As estimativas de herdabilidade materna para PN, P120 e P210 foram baixas.

As correlações genéticas e fenotípicas obtidas entre IPC e IPP foram positivas e altas ( $0,88 \pm 0,13$  e  $0,96 \pm 0,13$ , respectivamente) (Tabela 3), sendo esta relação favorável. As correlações genéticas e fenotípicas entre IPC e IPP com características de crescimento são apresentadas na Tabela 3. Foram obtidas correlações genéticas favoráveis entre características indicadoras de precocidade sexual e peso corporal, sendo esta estimativa moderada e negativa ( $-0,51$  a  $0,40$ ), exceto para PN, cujos valores foram baixos. Da mesma forma, o ganho em peso apresenta baixas correlações genéticas com características de precocidade sexual, exceto entre IPP com GMDPOS, que foi favorável ( $-0,33$ ). Foram obtidas estimativas de correlações fenotípicas favoráveis entre IPC e IPP com PN, P210, P365 e P450, sendo estas estimativas moderadas e negativas.

**Tabela 2.** Estimativas de componentes para variâncias genéticas aditivas ( $\sigma^2a$ ), maternas ( $\sigma^2m$ ), de ambiente permanente materno ( $\sigma^2pe$ ), ambientais ( $\sigma^2e$ ) e fenotípicas ( $\sigma^2p$ ); herdabilidades direta ( $h^2d$ ) e materna ( $h^2m$ ) e seus respectivos erros-padrão (ep) para características de crescimento, carcaça e indicadores de precocidade sexual em bovinos Nelore.

Características	Parâmetros genéticos						
	$\sigma^2a$	$\sigma^2m$	$\sigma^2pe$	$\sigma^2e$	$\sigma^2p$	$h^2d \pm ep$	$h^2m \pm ep$
PN (kg)	1,35	0,22	0,07	1,81	3,45	0,39±0,06	0,06±0,03
P120 (kg)	102,00	24,28	42,09	146,57	314,94	0,32±0,03	0,08±0,02
P210 (kg)	199,05	46,23	64,54	331,64	641,46	0,31±0,04	0,07±0,03
P365 (kg)	214,58	-	-	354,35	568,93	0,33±0,03	-
P450 (kg)	316,90	-	-	505,49	822,39	0,34±0,07	-
GMDPRE (kg)	0,10	0,05	0,05	0,22	0,42	0,23±0,02	0,06±0,03
GMDPOS (kg)	0,08	-	-	0,18	0,26	0,27±0,02	-
AOL (cm <sup>2</sup> )	20,07	-	-	33,03	53,10	0,39±0,04	-
EG (mm)	0,59	-	-	1,16	1,74	0,34±0,03	-
EGP8 (mm)	0,67	-	-	1,32	1,99	0,34±0,05	-
MAR (%)	0,23	-	-	0,38	0,62	0,38±0,16	-
PCQ (kg)	165,63	-	-	261,59	427,21	0,39±0,08	-
PPC (kg)	60,91	-	-	95,55	156,46	0,39±0,08	-
IPC (meses)	3,61	-	-	13,34	16,95	0,21±0,08	-
IPP (meses)	4,27	-	-	13,40	17,67	0,24±0,08	-

PN: peso ao nascer; P120: peso aos 120 dias de idade; P210: peso aos 210 dias de idade; P365: peso aos 365 dias de idade; P450: peso aos 450 dias de idade; GMDPRE: ganho médio diário pré-desmame; GMDPOS: ganho médio diário pós-desmame; AOL: área de olho de lombo; EG: espessura de gordura subcutânea; P8: espessura de gordura subcutânea na garupa; MAR: marmoreio; PCQ: peso carcaça quente; PPC: peso da porção comestível; IPC: idade à primeira concepção; IPP: idade ao primeiro parto.

**Tabela 3.** Estimativas de correlações genéticas e fenotípicas com seus respectivos erros-padrão (ep) entre idade a primeira concepção (IPC) e idade ao primeiro parto (IPP) com características de crescimento em bovinos Nelore.

Características	Correlações genéticas		Correlações fenotípicas	
	IPC	IPP	IPC	IPC
PN	-0,17±0,04	-0,15±0,19	-0,63±0,04	-0,52±0,14
P120	-0,41±0,15	-0,48±0,07	-0,25±0,02	-0,21±0,01
P210	-0,40±0,04	-0,45±0,06	-0,52±0,11	-0,51±0,12
P365	-0,43±0,03	-0,49±0,01	-0,56±0,06	-0,42±0,05
P450	-0,51±0,03	-0,43±0,04	-0,50±0,04	-0,47±0,04
GMDPRE	-0,25±0,02	-0,28±0,02	-0,30±0,04	-0,22±0,12
GMDPOS	-0,29±0,03	-0,33±0,01	-0,21±0,03	-0,15±0,12
IPP	0,88±0,13	-	0,96±0,13	-

PN: peso ao nascer; P120: peso aos 120 dias de idade; P210: peso aos 210 dias de idade; P365: peso aos 365 dias de idade; P450: peso aos 450 dias de idade; GMDPRE: ganho médio diário pré-desmame; GMDPOS: ganho médio diário pós-desmame.

Em geral, foram obtidas correlações genéticas e fenotípicas favoráveis entre características indicadoras de precocidade sexual e de carcaça, variando de (-0,62 a -0,33), exceto as correlações fenotípicas entre MAR e IPC e IPP (-0,22 e -0,17, respectivamente), que foram baixas (Tabela 4).

**Tabela 4.** Estimativas de correlações genéticas e fenotípicas com seus respectivos erros-padrão (ep) entre idade a primeira concepção (IPC) e idade ao primeiro parto (IPP) com características de carcaça em bovinos Nelore.

Características	Correlações genéticas		Correlações fenotípicas	
	IPC	IPP	IPC	IPP
AOL	-0,62±0,19	-0,60±0,11	-0,52±0,11	-0,33±0,01
EG	-0,45±0,15	-0,48±0,14	-0,49±0,06	-0,47±0,02
P8	-0,39±0,15	-0,43±0,14	-0,53±0,06	-0,41±0,03
MAR	-0,33±0,12	-0,37±0,06	-0,22±0,16	-0,17±0,03
PCQ	-0,45±0,17	-0,42±0,09	-0,41±0,11	-0,35±0,01
PPC	-0,40±0,14	-0,41±0,15	-0,36±0,05	-0,35±0,11

AOL: área de olho de lombo; EG: espessura de gordura subcutânea; P8: espessura de gordura subcutânea na garupa; MAR: marmoreio; PCQ: peso carcaça quente; PPC: peso da porção comestível.

## 4. Discussão

Para o PN, foi observada estimativa de herdabilidade direta de 0,39 (Tabela 2), sendo semelhante à relatada por Araujo et al.<sup>(29)</sup> e superior à relatada por Kamei et al.<sup>(30)</sup> em bovinos Nelore. Estimativas moderadas de herdabilidade direta também foram obtidas para os pesos aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade e foram superiores aos valores relatados para bovinos Nelore por Kamei et al.<sup>(30)</sup>, mas semelhantes ao apresentado por Araujo et al.<sup>(29)</sup>, Bonamy et al.<sup>(6)</sup>, e Kluskaa et al.<sup>(17)</sup>. A maior magnitude observada em comparação com outros estudos pode ser atribuída à maior proporção de variância aditiva em relação à variância ambiental, visto que os animais avaliados foram submetidos a manejo padronizado, levando a menor influência ambiental. Os dados avaliados são provenientes de apenas um rebanho, o que pode resultar em menor variância ambiental para peso ao nascer e demais características de peso corporal avaliadas. Outro fator que pode ter contribuído para as maiores estimativas de herdabilidade para características de crescimento é a seleção genética pela qual o rebanho foi submetido, que considera a capacidade materna e as características de peso como critérios de seleção.

A utilização do PN em programas de melhoramento genético é um fator crucial para a facilidade de parto e está diretamente associada à distocia e à mortalidade perinatal. Portanto, determinar as estimativas de herdabilidade do peso ao nascer pode aumentar a produtividade econômica, melhorando as características de crescimento e limitando os problemas associados ao peso ao nascer<sup>(4,31)</sup>. Isto é mais importante considerando que novilhas submetidas à seleção para precocidade sexual ainda estão completando o desenvolvimento corporal na ocorrência do primeiro parto.

As estimativas moderadas de herdabilidade para ganhos de peso pré e pós-desmame foram semelhantes às relatadas em estudos anteriores com bovinos *indicus* (0,15 a 0,22)<sup>(20,32)</sup>, indicando a possibilidade de ganho genético por meio da seleção nessas características. Entretanto, foram inferiores à herdabilidade do peso corporal, fato justificado pela maior influência ambiental no ganho de peso, tendo em vista que essas características são diretamente influenciadas pela dieta ofertada.

As estimativas de herdabilidade materna observadas para PN, P120, P210 e GMDPRE estão dentro do intervalo apresentado na literatura, cujos valores foram de 0,03 a 0,11 em bovinos Nelore<sup>(17,20,29,30)</sup>. Apesar da importância da inclusão dos efeitos maternos na análise genética e da influência do potencial genético da mãe no desempenho pré-desmame, verificada pela proporção da variância materna em relação à variância fenotípica, os baixos valores encontrados para a herdabilidade materna podem estar associado à maior influência da variância aditiva no peso corporal<sup>(33)</sup>. Esses resultados sugerem que as características de peso ao nascer e peso corporal de bovinos Nelore responderiam lentamente à seleção por habilidade materna. Ainda assim, os efeitos genéticos aditivos e maternos devem ser considerados na construção de índices de seleção genética<sup>(4)</sup>.

Estimativas moderadas de herdabilidade para AOL, EG e P8 foram similares as relatadas na literatura para bovinos Nelore, variando entre 0,17 a 0,34<sup>(6,17,19,20)</sup>. Estimativas moderadas de herdabilidade para MAR e PCQ também foram relatadas por Gordo et al.<sup>(34)</sup>, Tonussi et al.<sup>(35)</sup> e Weik et al.<sup>(36)</sup> avaliando bovinos Nelore. Os resultados obtidos indicaram que parte da variação dessas características é atribuída aos efeitos aditivos e que as características de carcaça podem responder à seleção genética, modificando a composição corporal em um curto espaço de tempo se a pressão da seleção genética for intensa<sup>(20)</sup>.

As estimativas de herdabilidade para IPC estão dentro do intervalo relatado em estudos anteriores com bovinos Nelore avaliada como característica binária, isto é, probabilidade de parto precoce (0,21 a 0,37)<sup>(6,17,19)</sup>. Para IPP, o valor obtido neste estudo foi superior aos valores (0,08 a 0,16) relatados em bovinos Nelore<sup>(17,20,37,38)</sup>. Por outro lado, ficou próximo da estimativa (0,25) apresentada por Buzanskas et al.<sup>(19)</sup>. Embora diferenças de grupos genéticos e variâncias residuais resultem em discrepâncias nas estimativas de herdabilidade, a superioridade obtida para herdabilidade de IPP pode ser resultado da seleção genética imposta ao rebanho avaliado para precocidade sexual, bem como da prática de manejo de desafiar sexualmente as novilhas desde 11 meses de idade. Assim, se as novilhas forem expostas à atividade reprodutiva em idades precoces, pode ser obtidas maiores estimativas de herdabilidade, conforme confirmado por Pereira et al.<sup>(39)</sup>, Boligon et al.<sup>(40)</sup> e Heise et al.<sup>(41)</sup>. Estimativas moderadas de herdabilidade para AFCo e AFCa indicaram que essas características podem responder à seleção genética. Assim, devido à importância econômica das características indicadoras de precocidade sexual para o sistema de produção de carne bovina e às diferenças genéticas entre os indivíduos, a seleção genética pode ser uma ferramenta eficaz para obter alterações genéticas no rebanho, reduzindo assim IPC e IPP<sup>(37)</sup>.

As diferenças entre IPC e IPP, ou seja, novilhas que apresentaram gestação em idade precoce mas não apresentaram parição, podem ser atribuídas a diversos fatores, como perda

embrionária, aborto voluntário, entre outros fatores intrínsecos às fêmeas. No entanto, estimativas de correlações genéticas e fenotípicas altas e favoráveis e fenotípicas entre IPC e IPP demonstram que muitos genes afetam simultaneamente essas características e a seleção genética para reduzir a idade à primeira concepção também reduziria a idade ao primeiro parto. Estes resultados também demonstram que IPC pode ser um indicador fenotípico de IPP ou vice-versa, sendo indicadores de novilhas que apresentaram maior precocidade sexual. Correlações genéticas favoráveis entre IPC, avaliada como probabilidade de parto precoce e característica binária, com IPP também foram relatadas por Kluskaa *et al.*<sup>(17)</sup> e Shiotsuki *et al.*<sup>(42)</sup> com bovinos Nelore. Entretanto, as estimativas observadas neste estudo apresentam maior magnitude, resultado da seleção genética para precocidade sexual realizada ao rebanho avaliado. De fato, Boligon e Albuquerque<sup>(43)</sup> afirmaram que as correlações genéticas são influenciadas pelos critérios de seleção genética adotados no rebanho. Além disso, quando o objetivo produtivo é aumentar a precocidade sexual, a IPC poderia ser indicada como critério de seleção genética, uma vez que esta característica é obtida em idade mais jovem que a IPP, reduzindo o tempo de identificação das novilhas mais precoces.

Embora a correlação genética entre PN e características indicadoras de precocidade sexual tenha sido baixa, as estimativas fenotípicas foram favoráveis, moderadas e negativas, ou seja, maiores pesos ao nascer estão associados a IPC e IPP apresentados em menor idade. Essas estimativas apontam que fatores ambientais e não aditivos atuam simultaneamente sobre essas características e que uma variação no desenvolvimento fetal pode influenciar na ocorrência de prenhez precoce. A relação entre essas características pode ser atribuída à influência que o desenvolvimento fetal, refletido no peso ao nascer, tem no desempenho reprodutivo e na idade ao primeiro parto<sup>(44)</sup>. Uma extensa discussão sobre isso pode ser encontrada em Brunes *et al.*<sup>(45)</sup>.

As baixas correlações fenotípicas entre IPC e IPP com P120 podem ser atribuídas a uma maior influência da habilidade materna nesta fase de crescimento do que o ambiente ofertado ao bezerro. Assim, a produção de leite influencia o crescimento dos bezerros e esse peso corporal é avaliado na idade que coincide com o pico de lactação de bovinos Nelore<sup>(46)</sup>. As correlações fenotípicas e genéticas favoráveis e moderadas entre P210, P365 e P450 com características indicadoras de precocidade sexual indicam que novilhas que apresentam maior peso corporal também seriam aquelas com menor idade à primeira concepção e ao parto e que as condições ambientais que levam ao aumento o peso corporal também pode aumentar a precocidade sexual em novilhas Nelore. Assim, o peso vivo das novilhas é fundamental para que ela emprenhe e chegue ao final da gestação com sucesso<sup>(47)</sup>. Visto que, para a ocorrência da primeira ovulação, o peso é mais importante que a idade, pois o maior crescimento e desenvolvimento antecipam a puberdade e a maturidade sexual<sup>(48)</sup>, justificando a associação genética e fenotípica encontrada entre essas características.

De fato, Funston *et al.*<sup>(49)</sup> afirmaram que o peso corporal pode influenciar o início da puberdade em novilhas, que é dependente da ação da seleção genética. Assim, a moderada correlação genética observada neste estudo pode ser decorrente da seleção genética para precocidade sexual imposta ao rebanho avaliado, que visa reduzir a idade a maturidade

sexual das novilhas. Entretanto, a seleção massiva para peso corporal pode resultar em animais com maior peso vivo adulto, tamanho corporal<sup>(50,51)</sup> e tardios sexualmente<sup>(1)</sup>. Assim, a seleção genética simultânea de características indicadoras de crescimento e precocidade sexual pode ser recomendada. Para bovinos Nelore, foram relatadas correlações genéticas negativas, mas de menor magnitude, entre características de crescimento e IPC, avaliada como característica binária (PPC30)<sup>(6)</sup>. A correlação genética negativa entre IPP com características de crescimento também foi relatada para bovinos de corte (-0,50 a -0,13)<sup>(18,20,43,50)</sup>.

As estimativas de correlações favorável e moderada entre IPP com GMDPOS também foi relatada por Boligon et al.<sup>(50)</sup> avaliando bovinos Nelore, e indicando que genes para ganho de peso pós-desmame poderiam estar ligados de alguma forma àqueles responsáveis pela precocidade sexual do animal. Os resultados obtidos indicaram que novilhas com maior potencial de ganho de peso diário pós-desmame são também as mais precoces sexualmente, sendo este efeito mais pronunciado na fase pós-desmame, o que corrobora o apresentado por Caetano et al.<sup>(20)</sup>. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que novilhas submetidas à seleção para precocidade sexual ainda não completaram seu desenvolvimento corporal e aquelas com maior ganho de peso pós-desmame podem ter melhor condição corporal e maiores chances de apresentarem o primeiro parto em menores idades. Segundo Pereira et al.<sup>(1)</sup> o maior ganho de peso do desmame à puberdade produziu maior peso corporal e menor idade à puberdade, o que pode estar relacionado ao aumento do diâmetro folicular<sup>(52)</sup>.

As baixas estimativas de correlações genéticas e fenotípicas obtidas entre IPC com GMDPRE e GMDPOS, e IPP com GMDPRE indicam que características indicadoras de precocidade sexual apresentam baixa relação com o ganho de peso diário pré-desmame em bovinos Nelore. No entanto, estes resultados são diferentes daqueles observados entre IPP com GMDPOS, o que pode ser atribuído a um possível efeito do crescimento precoce pós-desmame na ocorrência de prenhez na primeira estação reprodutiva<sup>(53)</sup>. Portanto, a nutrição pós-desmame e o ganho de peso diário são estratégias para melhorar a eficiência econômica e biológica dos sistemas de produção de bezerros, permitindo antecipar a idade das novilhas na primeira estação reprodutiva<sup>(1)</sup>.

As correlações genéticas favoráveis (moderadas e negativas) entre AOL, EG e P8 com características indicadoras de precocidade sexual indicam que a seleção genética para prenhez precoce em novilhas promove resultados favoráveis em características de carcaça. A seleção fenotípica e as mudanças ambientais visando aumentar a espessura de gordura da carcaça e a área de olho de lombo pode levar a uma melhora na precocidade sexual, sugerindo que AOL, EG e P8 da novilha podem ser indicativos de precocidade sexual. Maior deposição de gordura subcutânea pode ser um indicador de que os animais atingiram a fase de terminação de forma mais precoce, resultando também em animais sexualmente mais precoces<sup>(20)</sup>. Assim, é possível melhorar a qualidade da carcaça e, conseqüentemente, diminuir a idade à primeira concepção e ao parto. Uma extensa discussão sobre isso pode ser encontrada em Brunes et al.<sup>(45)</sup>.

Resultados semelhantes de correlação genética entre EG com IPP<sup>(20)</sup> e IPC, avaliada como característica binária<sup>(17,54)</sup>, e AOL com IPP<sup>(55)</sup> foram relatados em bovinos Nelore. No entanto,

resultados contrastantes foram relatados por Bonamy et al.<sup>(6)</sup>, Caetano et al.<sup>(20)</sup>, De Paula et al.<sup>(56)</sup>, Kluskaa et al.<sup>(17)</sup> e Portes et al.<sup>(57)</sup>, que encontraram baixa correlação genética e fenotípica entre características de carcaça e indicadoras de precocidade sexual em bovinos Nelore. Os resultados obtidos neste estudo não mostraram esta tendência, provavelmente, devido a diferenças nas frequências genéticas populacional e diferenças no programa de seleção, uma vez que o rebanho avaliado é selecionado por precocidade sexual, AOL, EG e P8.

Correlações genéticas e fenotípicas favoráveis (moderadas e negativas) entre IPC e IPP com o MAR obtidas indicam que o aumento do marmoreio resulta em redução da idade à primeira concepção e ao parto. Da mesma forma, Oyama<sup>(54)</sup> relatou correlações genéticas favoráveis entre marmoreio e IPP, em bovinos de corte. A associação genética entre MAR e características indicadoras de precocidade sexual corrobora com resultados apresentados por Mota et al.<sup>(58)</sup>, que relataram que marcadores do tipo polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) com efeito específico sobre IPP abrigam loci de característica quantitativa (QTL) associadas a importantes vias biológicas, incluindo escore de marmoreio. Esses resultados podem ser justificados por uma possível influência positiva do aumento do marmoreio e da gordura na carcaça na redução da idade de início da atividade reprodutiva das fêmeas<sup>(59)</sup>. A deposição de tecido adiposo inicia-se após a conclusão da deposição de tecido ósseo e muscular<sup>(60)</sup>. Assim, novilhas sexualmente precoces atingem a maturidade em menor idade, resultando no início da deposição de gordura na carcaça<sup>(61)</sup>, incluindo deposição de gordura intramuscular, justificando os resultados obtidos neste estudo.

Correlações genéticas e fenotípicas favoráveis (moderadas) entre PCQ e PPC com características indicadoras de precocidade sexual sugerem que novilhas mais precoces selecionadas com base em IPC e IPP podem apresentar maior rendimento de cortes cárneos e peso de carcaça. A associação do peso da carcaça com a precocidade sexual pode ser atribuída aos mesmos efeitos da sua associação com o peso vivo, uma vez que novilhas com maior desenvolvimento corporal apresentam maior peso de carcaça. O PPC indica a quantidade de carne comestível esperada da carcaça, que por sua vez está associada à área de olho de lombo e à deposição muscular, característica que também está associada à precocidade sexual. Segundo Rosales Nieto et al.<sup>(62)</sup>, a precocidade sexual é influenciada pela taxa de crescimento, o que afeta a deposição muscular.

Em geral, era esperada uma correlação genética e fenotípica favorável e moderada entre características de carcaça e indicadoras de precocidade sexual. Como um balanço energético corporal positivo<sup>(63)</sup> regula a taxa de ovulação das fêmeas, seria de se esperar que animais que apresentam maior deposição de carcaça em menor idade também sejam sexualmente mais precoces<sup>(55)</sup>. Segundo Pereira et al.<sup>(1)</sup>, para cada unidade aumentada no EG, houve uma redução de 9,9 dias para atingir a puberdade em novilhas mestiças de corte.

## 5. Conclusões

Os resultados deste estudo incentivam o uso de IPC em bovinos Nelore, uma vez que esta característica apresenta moderada variabilidade genética em bovinos Nelore e pode

ser utilizada como critério de seleção para melhorar a precocidade sexual. Além disso, considerando a correlação genética obtida entre IPC e IPP, quando o objetivo da seleção genética é aumentar a precocidade sexual das novilhas, pode ser utilizado a IPC como critério de seleção, pois a mensuração desta característica ocorre em idades mais jovens em relação ao primeiro parto, o que implica em reduzir o tempo necessário para avaliação dos animais e tomada de decisão. A seleção a longo prazo para animais com menores idades a primeira concepção e ao parto pode levar a um aumento no rendimento de carcaça, na deposição de gordura e no desempenho para crescimento.

### Declaração de conflito de interesses

Nenhum conflito de interesse foi declarado pelos autores.

### Contribuições do autor

*Conceituação:* L. C. Brunes e C. U. Magnabosco. *Curadoria dos dados:* L. C. Brunes, C. U. Magnabosco, F. Baldi e R. B. Lobo. *Análise formal:* L. C. Brunes, C. U. Magnabosco e F. Baldi. *Investigação:* L. C. Brunes, C. U. Magnabosco, F. Baldi e R. B. Lobo. *Redação (esboço original):* L. C. Brunes, C. U. Magnabosco e F. Baldi. *Redação (revisão e edição):* M. F. O. Costa e F. B. Lopes.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP) e a Fazenda Vera Cruz pela concessão dos dados durante este projeto. Agradecemos também à Fazenda Vera Cruz, EMBRAPA, CAPES e FAPEG pelo apoio financeiro.

### Referências

1. Pereira GR, Barcellos JOJ, Sessim AG, Tarouco JU, Feijó FD, Braccini Neto J, Prates ER, Canozzi MEA. Relationship of post-weaning growth and age at puberty in crossbred beef heifers. *Rev Bras Zootec.* 2017;46(5):413–420. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000500007>
2. Snelling WM, Kuehn LA, Thallman RM, Bennett GL, Golden BL. Genetic correlations among weight and cumulative productivity of crossbred beef cows. *J Anim Sci.* 2019;97(1):63–77. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/sky420>
3. Terry SA, Basarab JA, Guan LL, McAllister TA. Strategies to improve the efficiency of beef cattle production. *Can J Anim Sci.* 2021;101(1):1–19. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0022>
4. Lopez BI, Santiago KG, Seo K, Jeong T, Park JEE, Chai HHH, Park W, Lim D. Genetic Parameters of Birth Weight and Weaning Weight and Their Relationship with Gestation Length and Age at First Calving in Hanwoo (*Bos taurus coreanae*). *Animals.* 2020;10(6):1083. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani10061083>
5. Pegolo S, Cecchinato A, Savoia S, Di Stasio L, Pauciuolo A, Brugiapaglia A, Bittante G, Albera A. Genome-wide association and pathway analysis of carcass and meat quality traits in Piemontese young bulls. *Animal.* 2020;14(2):243–52. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731119001812>
6. Bonamy M, Kluska S, Peripolli E, de Lemos MVE, Amorim ST, Vaca RJ, Lobo RB, Castro LM de, Faria CU de, Ferrari FB, Baldi F. Genetic association between different criteria to define sexual precocious heifers with growth, carcass, reproductive and feed efficiency indicator traits in Nellore cattle using genomic information. *J Anim Breed Genet.* 2019;136:15–22. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jbg.12366>
7. Dias LT, Faro LE, Albuquerque LG. Estimativas de herdabilidade para idade ao primeiro parto de novilhas da raça Nelore. *Rev Bras Zootec.* 2004;97–102. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000100013>

8. Meirelles SL, Espasandin AC, Mattar M, Queiroz SA de. Genetic and environmental effects on sexual precocity traits in Nellore cattle. *Rev Bras Zootec.* 2009;38(8):1488–1493. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000800012>
9. Setiaji A, Oikawa T. Genetics of heifer reproductive traits in Japanese Black cattle. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 2020;33(2):197–202. Disponível em: <https://doi.org/10.5713/2Fajas.19.0118>
10. Terakado APN, Pereira MC, Yokoo MJ, Albuquerque LG. Evaluation of productivity of sexually precocious Nelore heifers. *Animal.* 2015;9(6):938–43. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731115000075>
11. Fernandes Júnior GA, Silva DA, Mota LFM, de Melo TP, Fonseca LFS, Silva DB dos S, Carvalheiro R, Albuquerque LG. Sustainable Intensification of Beef Production in the Tropics: The Role of Genetically Improving Sexual Precocity of Heifers. *Animals.* 2022;12(2):174. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12020174>
12. Fernandes Júnior GA, Garcia DA, Hortolani B, de Albuquerque LG. Phenotypic relationship of female sexual precocity with production and reproduction traits in beef cattle using multivariate statistical techniques. *Ital J Anim Sci.* 2019;18(1):182–188. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1503570>
13. Irano N, De Camargo GMF, Costa RB, Terakado APN, Magalhães AFB, Silva RMDO, Dias MM, Bignardi AB, Baldi F, Carvalheiro R, Oliveira, HN de, Albuquerque LG. Genome-wide association study for indicator traits of sexual precocity in Nellore cattle. *PLoS One.* 2016;11(8):1–14. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159502>
14. Novakovic Z, Sretenovic L, Aleksic S, Petrovic MM, Pantelic V, Ostojic-Andric D. Age at first conception of high yielding cows. *Biotechnol Anim Husband.* 2011;27(3):1043–1050. Disponível em: <http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=1450-91561103043N>
15. Lopes MV de O, Silva VM da, Araujo TL de. A análise de diagnósticos de enfermagem sob uma perspectiva bayesiana. *Rev da Esc Enferm da USP.* 2012;46(4):994–1000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0080-62342012000400030>
16. Aguilar I, Misztal I, Johnson D, Legarra A, Tsuruta S, Lawlor T. Hot topic: A unified approach to utilize phenotypic, full pedigree, and genomic information for genetic evaluation of Holstein final score. *J Dairy Sci.* 2010;93:743–52. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2730>
17. Kluskaa S, Olivieria BF, Bonamy M, Chiaiaa HLJ, Feitosaa FLB, Bertona MP, Peripolli E, Lemos MVA, Tonussi RL, Lobo RB, Magnabosco CU, Di Croce F, Osterstock J, Pereira ASC, Munari DP, Bezerra LA, Lopes FB, Baldi F. Estimates of genetic parameters for growth, reproductive, and carcass traits in Nelore cattle using the single step genomic BLUP procedure. *Livest Sci.* 2018;216:203–9. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.015>
18. Pires BC, Tholon P, Buzanskas ME, Sbardella AP, Rosa JO, Campos da Silva LO, Torres Junior RA de A, Munari DP, Alencar MM de. Genetic analyses on bodyweight, reproductive, and carcass traits in composite beef cattle. *Anim Prod Sci.* 2017;57(3):415–421. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AN15458>
19. Buzanskas ME, Pires PS, Chud TCS, Bernardes PA, Rola LD, Savegnago RP, Lobo RB, Munari DP. Parameter estimates for reproductive and carcass traits in Nelore beef cattle. *Theriogenology.* 2017;92:204–209. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.057>
20. Caetano SL, Savegnago RP, Boligon AA, Ramos SB, Chud TCS, Lôbo RB, Munari DP. Estimates of genetic parameters for carcass, growth and reproductive traits in Nellore cattle. *Livest Sci.* 2013;155(1):1–7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.04.004>
21. Szenci O, Cyulai G, Nagy P, Kovács L, Varga J, Taverne MAM. Effect of uterus position relative to the pelvic inlet on the accuracy of early bovine pregnancy diagnosis by means of ultrasonography. *Vet Q.* 1995;17(1):37–39. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01652176.1995.9694528>
22. Garnero AV, Lôbo RB, Bezerra LAF, Oliveira HN. Comparação entre alguns critérios de seleção para crescimento na raça Nelore. *Rev Bras Zootec.* 2001;30(3):714–718. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000300016>
23. BIF - Beef Improvement Federation. Guidelines for uniform beef improvement programs. Athens: BIF. Beef Improvement Federation. 2016. Disponível em: [https://beefimprovement.org/wp-content/uploads/2013/07/BIFGuidelinesFinal\\_updated0916.pdf](https://beefimprovement.org/wp-content/uploads/2013/07/BIFGuidelinesFinal_updated0916.pdf)

24. Lobo RB, Bezerra LAF, Magnabosco CU, Faria CU, Bergmann JAG, Castro LM, Negreiros MP, Baena MM, Oliveira DMC, Nakabashi LRM, Assagra WLO, Baldi F. Sumário de Touros. Ribeirão Preto: ANCP; 2023. 116 p. Portuguese. Disponível em: [https://www.ancp.org.br/wp/wp-content/uploads/2023/08/Suma%CC%81rio-ANCP-2023\\_230823.pdf](https://www.ancp.org.br/wp/wp-content/uploads/2023/08/Suma%CC%81rio-ANCP-2023_230823.pdf)
25. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
26. Roso VM, Schenkel FS. AMC – A computer program to assess the degree of connectedness among contemporary groups. In: 8 th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Belo Horizonte: UFMG; 2006. p. 26-27.
27. Misztal I, Tsuruta S, Lourenco DAL, Aguilar I, Legarra A, Vitezica Z. Manual for BLUPF90 family of programs. Athens: University of Georgia; 2019. 125 p. Disponível em: [http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90\\_all1.pdf](http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all1.pdf)
28. Meyer K, Houle D. Sampling based approximation of confidence intervals for functions of genetic covariance matrices. In: association for the advancement of animal breeding and genetics conference. In: Association for the advancement of animal breeding and genetics conference. Napier: AAABG; 2013. p. 523–526. Disponível em: <http://www.aaabg.org/aaabg/AAABG20papers/meyer20523.pdf>
29. Araujo CV de, Lobo RB, Figueiredo LGG, Mousquer CJ, Laureano MMM, Bittencourt TCB dos SC de, Araujo SI. Estimates of genetic parameters of growth traits of Nelore cattle in the Midwest region of Brazil. *Rev Bras Saude e Prod Anim.* 2014;15(4):846–853. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/HTwK5jxChbfHCNRWGfN5ygz/?lang=en>
30. Kamei LM, De Azambuja Ribeiro EL, Fonseca NAN, De Souza Dantas Muniz CA, Camiloti TV, Koritiaki NA, Albieri N, Fortaleza AP de S. Genetic parameters of growth traits in Nelore cattle. *Semin Ciências Agrárias.* 2017;38(3):1513. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1513>
31. Hohnholz T, Volkman N, Gillandt K, Waßmuth R, Kemper N. Risk Factors for Dystocia and Perinatal Mortality in Extensively Kept Angus Suckler Cows in Germany. *Agriculture.* 2019;9(4):85-96. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture9040085>
32. Manuel M, Cavani L, Millen DD, Andrighetto C, Lupatini GC, Fonseca R da. Estimation of genetic parameters for weight traits and Kleiber Index in a Brahman cattle population. *Sci Agric.* 2019;76(6):459–462. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0062>
33. Lira TS de, Pereira L de S, Lopes FB, Ferreira JL, Lôbo RB, Santos GC de J. Tendências genéticas para características de crescimento em rebanhos nelore criados na região do trópico úmido do Brasil. *Cienc Anim Bras.* 2013;14(1):23–31. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/cab.v14i1.16785>
34. Gordo DGM, Espigolan R, Bresolin T, Fernandes Júnior GA, Magalhães AFB, Braz CU, Fernandes WB, Baldi F, Albuquerque LG. Genetic analysis of carcass and meat quality traits in Nelore cattle. *J Anim Sci.* 2018;96(9):3558–64. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article/96/9/3558/5051832>
35. Tonussi RL, Espigolan R, Gordo DGM, Magalhães AFB, Venturini GC, Baldi F, Oliveira HN, Chardulo LAL, Tonhati H, Albuquerque LG. Genetic association of growth traits with carcass and meat traits in Nelore cattle. *Genet Mol Res.* 2015;14(4):18713–18719. Disponível em: <https://doi.org/10.4238/2015.december.28.20>
36. Weik F, Hickson RE, Morris ST, Garrick DJ, Archer JA. Genetic Parameters for Growth, Ultrasound and Carcass Traits in New Zealand Beef Cattle and Their Correlations with Maternal Performance. *Animals.* 2022;12(25):1-19. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12010025>
37. Claus LAM, Koetz Júnior C, Roso VM, Borges MHF, Barcellos JOJ, Ribeiro EL de A. Genetic parameters of age at first calving, weight gain, and visual scores in Nelore heifers. *Rev Bras Zootec;* 2017;46(4):303–308. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000400005>
38. da Silva Neto JB, Peripolli E, da Costa e Silva EV, Espigolan R, Neira JDR, Schettini G, Costa Filho LCC, Barbosa FB, Macedo GG, Brunes LC, Lobo RB, Pereira ASC, Baldi F. Genetic correlation estimates between age at puberty and growth, reproductive, and carcass traits in young Nelore bulls. *Livest Sci.* 2020;241:104266. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104266>
39. Pereira E, Eler JP, Ferraz JBS. Análise genética de características reprodutivas na raça Nelore. *Pesq agropec bras.* 2002;37(5):703–8. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500016>

40. Boligon AA, Rorato PRN, De Albuquerque LG. Correlações genéticas entre medidas de perímetro escrotal e características produtivas e reprodutivas de fêmeas da raça Nelore. *Rev Bras Zootec.* 2007;36(3):565–571. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300007>
41. Heise J, Stock KF, Reinhardt F, Ha NT, Simianer H. Phenotypic and genetic relationships between age at first calving, its component traits, and survival of heifers up to second calving. *J Dairy Sci.* 2018;101(1):425–432. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12957>
42. Shiotsuki L, Silva JA, Tonhati H, Albuquerque LG. Genetic associations of sexual precocity with growth traits and visual scores of conformation, finishing, and muscling in Nelore cattle. *J Anim Sci.* 2009;87(5):1591–1597. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1173>
43. Boligon AA, Albuquerque LG. Genetic parameters and relationships of heifer pregnancy and age at first calving with weight gain, yearling and mature weight in Nelore cattle. *Livest Sci.* 2011;141(1):12–16. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.04.009>
44. Freetly HC, Ferrell CL, Jenkins TG. Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights and growth rates. *J Anim Sci.* 2000;78:2790–2796. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/2000.78112790x>
45. Brunes LC, Baldi FS, Costa MFO e, Quintans G, Banchemo G, Lôbo RB, Magnabosco CU. Early growth, backfat thickness and body condition has major effect on early heifer pregnancy in Nelore cattle. *An Acad Bras Cienc.* 2022;94(1):1-18. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191559>
46. Vaz RZ, Lobato JFP, Restle J, Costa PT, Eloy LR, Ferreira OGL, Costa JLB. Calving month and calf sex on the production and efficiency of herds. *Ciência Anim Bras.* 2020;21:1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v21e-61977>
47. Gregianini HAG, Carneiro Junior JM, Pinto Neto A, Costa Filho LCC da, Gregianini JTF, Pinheiro AK, Trenkel CKG. Precocidade sexual de novilhas Nelore em rebanho sob seleção no Estado do Acre. *Res Soc Dev.* 2021;10(4):e16310413945. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13945>
48. Andrade EF, Ferreira DF, Santos PEF dos, Eustáquio Filho A. Principais fatores que afetam a precocidade de novilhas nelores e a classificação do sistema de produção precoce: uma revisão. *Recital.* 2020;2(57):73. Disponível em: <https://doi.org/10.46636/recital.v2i3.132>
49. Funston RN, Martin JL, Larson DM, Roberts AJ. Physiology and Endocrinology Symposium: Nutritional aspects of developing replacement heifers. *J Anim Sci.* 2012;90(4):1166–1171. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4569>
50. Boligon AA, Albuquerque LG de. Correlações genéticas entre escores visuais e características reprodutivas em bovinos Nelore usando inferência bayesiana. *Pesqui Agropec Bras.* 2010;45(12):1412–1408. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200011>
51. Regatieri IC, Boligon AA, Costa RB, de Souza FRP, Baldi F, Takada L, Venturini Gc, de Camargo GMF, Júnior GGA, Tonhati H, de Oliveira HN, de Albuquerque LG. Association between single nucleotide polymorphisms and sexual precocity in Nelore heifers. *Anim Reprod Sci.* 2017;177:88–96. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.12.009>
52. Barcellos JOJ, Pereira GR, Dias EA, McManus C, Canellas L, Bernardi ML, Tarouco A, Prates ER. Higher feeding diets effects on age and liveweight gain at puberty in crossbred Nelore × Hereford heifers. *Trop Anim Health Prod.* 2014;46(6):953–960. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0593-6>
53. Roberts AJ, Geary TW, Grings EE, Waterman RC, MacNeil MD. Reproductive performance of heifers offered ad libitum or restricted access to feed for a one hundred forty-day period after weaning. *J Anim Sci.* 2009;87(9):3043–3052. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1476>
54. Oyama K, Katsuta T, Anada K, Mukai F. Genetic Parameters For Reproductive Performance Of Breeding Cows And Carcass Traits Of Fattening Animals In Japanese Black (Wagyu) Cattle. *Anim Sci.* 2004; 78(2):195-201. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1357729800053984>
55. Yokoo MJ, Lôbo RB, Magnabosco CU, Rosa GJM, Forni S, Sainz RD, Albuquerque LG. Genetic correlation of traits measured by ultrasound at yearling and 18 months of age in Nelore beef cattle. *Livest Sci.* 2015;180:34–40. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.003>

56. De Paula EJH, Martins EN, De Oliveira CAL, Magnabosco CDU, Sainz RD, Geron LJV, Souza Neto EL, Porto E de P, Miguel GZ. Associations between reproductive and carcass traits in Nelore. *Semin Agrar*. 2015;36(6):4423–4434. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4423>
57. Portes JV, Menezes GRO, MacNeil MD, da Silva LOC, Gondo A, Braccini Neto J. Selection indices for Nelore production systems in the Brazilian Cerrado. *Livest Sci*. 2020;242:104309. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104309>
58. Mota LFM, Lopes FB, Fernandes Júnior GA, Rosa GJM, Magalhães AFB, Carvalheiro R, Albuquerque LG. Genome-wide scan highlights the role of candidate genes on phenotypic plasticity for age at first calving in Nelore heifers. *Sci Rep*. 2020;10(1):6481. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63516-4>
59. Oyama K, Mukai F, Yoshimura T. Genetic relationships among traits recorded at registry judgment, reproductive traits of breeding females and carcass traits of fattening animals in Japanese Black cattle. *Anim Sci Technol*. 1996;67:511–518. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/chikusan1924/67/6/67\\_6\\_511/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/chikusan1924/67/6/67_6_511/_pdf)
60. Magnabosco CU, Brito Lopes F, de Magalhaes Rosa GJ, Sainz RD. Bayesian estimates of genetic parameters for reproductive traits in Nelore cows raised on pasture in tropical regions. *Rev Colomb Ciencias Pecu*. 2016;29(2):119–129. Disponível em: <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n2a05>
61. Faria CU, Pires BC, Vozzi AP, Magnabosco CU, Koury Filho W, Viu MAO, Oliveira HN, Lobo RB. Genetic correlations between categorical morphological traits in Nelore cattle by applying Bayesian analysis under a threshold animal model. *J Anim Breed Genet*. 2010;127:377–384. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2010.00860.x>
62. Rosales Nieto CA, Ferguson MB, Macleay CA, Briegel JR, Martin GB, Thompson AN. Selection for superior growth advances the onset of puberty and increases reproductive performance in ewe lambs. *Animal*. 2013;7(6):990–997. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1751731113000074>
63. Bronson FH, Manning JM. The Energetic Regulation of Ovulation: A Realistic Role for Body Fat. *Biol Reprod*. 1991;44(6):945–950. Disponível em: <https://doi.org/10.1095/biolreprod44.6.945>