

IVAN CARVALHO FILHO

**PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS  
REPRODUTIVAS DE TOUROS DA RAÇA NELORE**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Zootecnia, para obtenção do título  
de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C331p  
2018

Carvalho Filho, Ivan, 1992-

Parâmetros genéticos para características reprodutivas de touros da raça Nelore / Ivan Carvalho Filho. – Viçosa, MG, 2018.

vi, 25 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Renata Veroneze.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 17-21.

1. Nelore (Bovino) - Reprodução. 2. Sêmen. 3. Animais - Melhoramento genético. 4. Genética. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 636.20824

IVAN CARVALHO FILHO

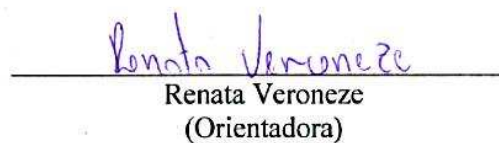
**PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS  
REPRODUTIVAS DE TOUROS DA RAÇA NELORE**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Zootecnia, para obtenção do título  
de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de julho de 2018.

  
José Domingos Guimarães

  
Paulo Sávio Lopes  
(Coorientador)

  
Renata Veroneze  
(Orientadora)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida concedido.

À minha mãe Márcia, pelo amor incondicional, sendo mãe e pai durante todo esse tempo, me apoiando e incentivando em todos os momentos.

Ao meu pai Ivan, que mesmo não presente fisicamente, esteve presente em meu coração.

Ao meu irmão Gustavo, pelo apoio e amizade.

À minha namorada Laís por todo o amor, amizade e companheirismo, nessa jornada.

Aos meus avós e todos os meus familiares que sempre torceram por mim.

Aos meus sogros, Éder e Terezinha, por serem como pais para mim.

À minha orientadora Renata, que além da amizade, teve toda a disponibilidade e paciência de me orientar e me fazer crescer profissionalmente e pessoalmente nesta etapa.

Aos professores Fabyano, Paulo Sávio e Simone pelo apoio durante a condução dessa dissertação e pelos conhecimentos passados ao longo dessa etapa.

Aos membros da banca José Domingos Guimarães e Paulo Sávio Lopes, pela disposição em ler este trabalho e por suas valiosas sugestões.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal de Viçosa que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos os amigos do GDMA por cada momento de discussão, aprendizado, descontração e, especialmente, pela amizade e apoio.

Aos eternos amigos da graduação, de Muriaé e de Uberaba, pela amizade e parceria.

As fontes financiadoras de pesquisa CAPES, CNPq e FAPEMIG.

E a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste projeto ou enriquecimento de minha vida acadêmica, profissional e humana.

## **BIOGRAFIA**

IVAN CARVALHO FILHO, filho de Ivan Carvalho e Márcia do Carmo Reis Carvalho, nasceu em Muriaé, Minas Gerais, em 08 de maio de 1992. Ingressou no curso de Ciências Biológicas na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Santa Marcelina em fevereiro de 2010, obtendo sua graduação em dezembro de 2012. Em maio de 2013 iniciou sua graduação em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa e graduou-se em Zootecnia em julho de 2016. Iniciou o Mestrado em Zootecnia na mesma instituição em agosto de 2016, realizando suas pesquisas na área de Melhoramento Animal e submetendo-se à defesa em 17 de julho de 2018.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Características biométricas testiculares.....	2
2.2 Características físicas e morfológicas do sêmen.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
4. RESULTADOS.....	9
5. DISCUSSÃO.....	11
5.1 Herdabilidades.....	12
5.1 Correlações genéticas.....	14
6. CONCLUSÃO.....	16
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
8. TABELAS SUPLEMENTARES.....	22

## RESUMO

CARVALHO FILHO, Ivan, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Parâmetros genéticos para características reprodutivas de touros da raça Nelore.** Orientadora: Renata Veroneze. Coorientadores: Fabyano Fonseca e Silva e Paulo Sávio Lopes.

A raça Nelore é a principal raça utilizada na pecuária brasileira, sendo a de maior rebanho comercial do mundo. Com a utilização das técnicas reprodutivas, principalmente a inseminação artificial, torna-se importante estimar parâmetros genéticos para as características reprodutivas de touros, a fim de elucidar mais as características e vislumbrar a possibilidade de sua inclusão como critério de seleção. Ao todo 17 características divididas em características biométricas do testículo, características físicas e morfológicas do sêmen e características vesiculares tiveram seus parâmetros genéticos estimados neste trabalho para uma população de touros Nelore com idade de 18 a 36 meses. Utilizou-se o modelo animal uni e bi característico para a estimação dos componentes de (co)variância. O grupo de contemporâneos foi considerado como efeito fixo e a idade como co-variável. Dentre as estimativas de herdabilidade, é importante ressaltar que perímetro escrotal, característica biométrica mais avaliada em touros, apresentou herdabilidade de 0,47, sendo esse valor similar ao encontrado para todas as outras características biométricas (0,34 a 0,48). Já dentre as características físicas e morfológicas, houve maior discrepância entre as estimativas de herdabilidade encontradas (0,05 a 0,49) e, dentre elas, é pertinente destacar a motilidade espermática (0,07) que afeta diretamente a fertilidade do touro e as características morfológicas, defeitos espermáticos maiores, menores e totais (0,49, 0,17 e 0,39). Em relação as correlações genéticas estimadas, nota-se correlação alta e favorável entre as características biométricas do testículo, sugerindo que apenas uma delas pode ser usada como critério de seleção. Entre todas as características, pode-se observar correlações variando de baixas a altas, porém sempre favoráveis. Assim, os resultados evidenciam que a escolha do perímetro escrotal como critério de seleção para fertilidade de machos é bastante acertada, por provocar mudanças favoráveis nas características de qualidade do sêmen.

## ABSTRACT

CARVALHO FILHO, Ivan, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Genetic parameters for reproductive traits of Nelore bulls.** Advisor: Renata Veroneze. Co-advisors: Fabyano Fonseca e Silva and Paulo Sávio Lopes.

Nelore is the main breed used in Brazilian cattle production, being the largest commercial herd in the world. The use of reproductive techniques, especially artificial insemination, increase the importance of genetic parameters estimation for bull's reproductive traits. Genetic parameters increase the knowledge about the trait and provides information about their use as selection criteria. Seventeen traits divided into testis biometry, physical and morphological semen traits and vesicular traits had their genetic parameters estimated in this study for a Nelore bulls population aged 18 to 36 months. Single and multi-trait animal models were used to estimate (co)variance components. Contemporary group was used as fixed effect and age as a co-variable. Among the estimates of heritabilities, it is important to emphasize that the scrotal circumference, which is the most frequently biometric trait evaluated in bulls, had heritability of 0.47. This value was similar to the findings for all other biometric traits (0.34 to 0.48). Among the physical and morphological traits, there was high variability between heritability estimates (0.05 to 0.49). Among them, it can be highlighted the sperm motility heritability (0.07), which is a trait that directly affects the bull fertility. Across semen morphological traits, the major, minor and total sperm defects exhibited heritability 0.49, 0.17 and 0.39, respectively. The genetic correlations were high and favorable between biometric testis traits. This result, suggest that only one trait can be used as a selection criterion. The genetic correlations between all traits varied from low to high, but they were favorable. Thus, the results show that the scrotal circumference is an appropriate selection criteria for male fertility, since it can cause favorable changes in semen quality traits.

## 1. INTRODUÇÃO

O gado Zebu (*Bos taurus indicus*) é altamente difundido no território brasileiro, devido a sua rusticidade e por ser altamente adaptado as condições climáticas do país. A raça Nelore é a principal raça zebuína utilizada, tanto em sistemas baseados em raça pura quanto em cruzamentos, apresentando bons índices zootécnicos em todo o território nacional (MAGNABOSCO et al., 2016).

A seleção dos reprodutores tem sido direcionada principalmente para características de desempenho e carcaça, dando pouca ênfase para características reprodutivas (BOLIGON; RORATO; ALBUQUERQUE, 2007). Porém, sob o ponto de vista econômico, a eficiência reprodutiva é de grande importância, uma vez que a antecipação da vida reprodutiva do macho e a qualidade do sêmen estão diretamente relacionadas à eficiência e à lucratividade do sistema de produção. Além disso, os programas de melhoramento tem dado maior ênfase a coleta de dados reprodutivos de fêmea como idade ao primeiro parto, *stayability* e intervalo de partos, sendo escassos os bancos de dados de características reprodutivas de machos.

O perímetro escrotal (PE) é a principal característica reprodutiva avaliada em machos bovinos, por ser de fácil mensuração e pela sua relação com precocidade sexual (BUZANSKAS et al., 2017). Contudo, as correlações genéticas de PE com características de qualidade seminal e outras características reprodutivas do próprio macho são pouco conhecidas.

A qualidade do sêmen afeta diretamente a taxa de concepção e consequentemente a lucratividade da bovinocultura. Além disso, com o avanço das tecnologias reprodutivas, principalmente a inseminação artificial (IA), as características de qualidade seminal se tornam ainda mais importantes uma vez que o Manual do Colégio Brasileiro de Reprodução (CBRA, 2013) apresenta algumas características mínimas que o sêmen criopreservado deve apresentar para ser considerado apto a comercialização.

Dessa maneira, a estimação de parâmetros genéticos para características reprodutivas do macho, se torna muito importante, pois permite definir os critérios de seleção para fertilidade do macho, prever o sucesso da seleção e assim promover maiores ganhos genéticos na população (CARDOSO; TEMPELMAN, 2012).

Assim, objetivou-se estimar parâmetros genéticos para características biométricas do testículo e de qualidade do sêmen de bovinos da raça Nelore.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Características biométricas**

As principais características biométricas relacionadas aos testículos são: comprimento do testículo direito e esquerdo, largura do testículo direito e esquerdo, volume do testículo direito, esquerdo e total e perímetro escrotal (SIQUEIRA; GUIMARÃES; PINHO, 2013).

De acordo com LOPES et al. (2016) as características biométricas podem auxiliar na previsão da puberdade dos descendentes, uma vez que testículos maiores em touros jovens estão associados com maturidade sexual precoce (BARTH; OMINSKI, 2000). Dentre as características biométricas o perímetro escrotal é a mais utilizada em avaliações genéticas, pois sua mensuração é fácil e de baixo custo, apresenta alta herdabilidade variando de 0,18 a 0,81 e correlação genética favorável com características de peso corporal e reprodutivas tanto em machos, quanto em fêmeas (BERGMANN, 1993; BERGMANN et al., 1996; PEREIRA; ELER; FERRAZ, 2000; SIQUEIRA; GUIMARÃES; PINHO, 2013).

A grande maioria dos trabalhos avalia a relação de PE com características reprodutivas das fêmeas (GROSSI et al., 2008; BUZANSKAS et al., 2017; PIRES et al., 2017; COSTA, 2017), ou características corporais e de desempenho (BUZANSKAS et al., 2017; SANTOS et al., 2017; SOARES et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2018), havendo poucos resultados mostrando sua relação com outras características reprodutivas do macho.

BUZANSKAS et al. (2017) avaliando animais da raça Nelore obtiveram estimativa de herdabilidade alta para perímetro escrotal de 0,38 aos 450 dias de idade e correlações genéticas moderadas entre PE e área de olho de lombo, espessura de gordura e idade ao primeiro parto (0,31, 0,25 e -0,46, respectivamente), mostrando que o perímetro escrotal é uma característica importante em programas de melhoramento, uma vez que sua seleção proporciona resposta correlacionada favorável em outras características.

De acordo com (COSTA, 2017), o perímetro escrotal medido aos 365 dias de idade apresenta herdabilidade moderada (0,29) e estimativas favoráveis de correlação genética com as características de *stayability* e idade ao primeiro parto em fêmeas, demonstrando que o perímetro escrotal pode ser um critério de seleção para desempenho reprodutivo de animais da raça Nelore.

SOARES et al. (2017), ao avaliarem animais da raça Brahman, afirmaram que o perímetro escrotal medido aos 12 e 24 meses de idade são um bom critério de seleção por apresentarem alta herdabilidade e correlações genéticas favoráveis com a taxa de crescimento animal. Mostrando a possibilidade de selecionar animais jovens para perímetro escrotal, o que é desejável por diminuir o intervalo de geração.

Avaliando animais da raça Nelore, GROSSI et al. (2008) também obtiveram estimativas de herdabilidade média a alta para perímetro escrotal em diferentes idades, sendo 0,64, 0,65 e 0,42 aos 450, 550 e 730 dias, respectivamente. Além disso, a correlação genética estimada com idade ao primeiro parto foi de -0,13 para animais com perímetro escrotal medido aos 450 dias e 550 dias e de 0,06 aos 730 dias, indicando que a seleção para a perímetro escrotal seria mais eficiente se fosse baseada em 450 ou 550 dias de idade.

Ao usar dados de animais da raça Nelore aos 18 meses, UNANIAM et al. (2000) mostraram que o perímetro escrotal apresenta correlações altas com comprimento testicular, largura testicular e volume testicular, sendo 0,73, 0,74 e 0,80, respectivamente. Evidenciando que essas características são altamente correlacionadas.

SILVEIRA et al. (2012) ao mensurarem as características biométricas de testículo de tourinhos da raça Nelore com média de 21 meses de idade, observaram estimativas de herdabilidade de 0,37 para perímetro escrotal, comprimento do testículo direito e esquerdo e volume testicular, já a largura do testículo direito e esquerdo tiveram as estimativas de herdabilidades um pouco mais baixas (0,31 e 0,28, respectivamente). Os autores ainda relataram que perímetro escrotal apresentou estimativas de correlação genética de 0,97 com largura dos testículos direito e esquerdo e de 0,88 com volume testicular, o que foi explicado pelo fato do perímetro escrotal levar em consideração a largura de todo o escroto e também ser utilizado para o cálculo do volume testicular. Esses mesmos autores relataram correlações

genéticas mais baixas entre PE e comprimento testicular, sendo as estimativas de correlações 0,58 e 0,59 para testículo direito e esquerdo, respectivamente. As estimativas de correlações entre as características comprimento, volume e largura do testículo variaram de 0,33 a 0,99 neste mesmo trabalho.

Estudando um grupo de animais da raça Nelore entre as idades de 19 a 39 meses, DIAS et al. (2008) obtiveram estimativas de correlação genética variando de 0,81 a 0,99 entre perímetro escrotal e volume testicular, comprimento do testículo direito, comprimento do testículo esquerdo, largura do testículo direito e largura do testículo esquerdo.

Apesar da utilização do perímetro escrotal como critério de seleção em programas de melhoramento, BAILEY et al. (1996) e BAILEY et al. (1998) alertam que o perímetro escrotal não constitui uma medida representativa da produção e qualidade espermática, mostrando que tanto comprimento quanto largura testicular, podem auxiliar na estimativa de fertilidade do animal, por serem utilizadas para a obtenção do volume testicular.

As vesículas seminais são as principais glândulas sexuais acessórias, responsáveis pela produção das secreções presentes no ejaculado, as quais fornecem aos espermatozoides um ambiente nutritivo e protetor no momento em que entra em contato com os órgãos genitais da fêmea, sendo crucial para a fecundação e manutenção da motilidade espermática (JUYENA; STELLETTA, 2012). Não foram encontrados trabalhos na literatura consultada que relatassem a estimativa de herdabilidade dessa característica e as estimativas de correlações com as demais características físicas e morfológicas do sêmen e características biométricas testiculares.

## **2.2 Características físicas e morfológicas do sêmen**

As principais características físicas e morfológicas do sêmen avaliadas em bovinos são motilidade espermática, porcentagem de espermatozoides normais, turbilhonamento, defeitos espermáticos maiores, menores e totais e vigor espermático.

De acordo com o manual do Colégio Brasileiro de Reprodução Animal (CBRA, 2013), a motilidade espermática é caracterizada pela movimentação e pela

viabilidade dos espermatozoides, sendo altamente susceptível a alterações ambientais. Essa característica é utilizada para avaliar a porcentagem de espermatozoides móveis (0 – 100 %). O turbilhonamento é avaliado pela movimentação em massa dos espermatozoides por meio de ondas, sendo atribuída nota de 0 a 5. O vigor espermático avalia a velocidade ou intensidade de movimentos dos espermatozoides sendo atribuído notas de 0 a 5. Os defeitos espermáticos maiores, menores e totais são expressos em porcentagem. Os defeitos espermáticos maiores são alterações severas na forma dos espermatozoides, causando diminuição da fertilidade, abrangendo alterações de acrossoma, gota citoplasmática proximal, cabeça, peça intermediária, cauda e formas teratológicas (BLOM, 1973), enquanto os defeitos espermáticos menores são alterações menos severas, não causando grande redução da fertilidade, englobando patologias da cabeça, inserção entre peça intermediária e cabeça, cauda dobrada ou enrolada e gota citoplasmática distal (BLOM, 1973). Defeitos espermáticos totais são calculado pela soma dos defeitos maiores e menores, sendo recomendado que reprodutores possuam valores menores ou iguais a 30 % (CBRA, 2013).

SILVEIRA et al. (2012) avaliaram algumas características do sêmen e correlacionaram somente com o perímetro escrotal, dentre as características avaliadas, a motilidade espermática, que é uma característica importante para a fertilidade, apresentou baixa estimativa de herdabilidade (0,08) e teve correlação genética estimada em 0,39 com perímetro escrotal, sendo uma correlação positiva, porém de baixa magnitude. O turbilhonamento obteve estimativa de herdabilidade baixa (0,12) e estimativa correlação genética com o perímetro escrotal de 0,34. Já a estimativa de correlação do perímetro escrotal com a característica vigor espermático, foi de 0,56, sendo que esta característica apresenta estimativa de herdabilidade de 0,07. Foram avaliadas também as estimativas de herdabilidade dos defeitos espermáticos maiores, menores e totais e a suas estimativas de correlações com o perímetro escrotal, sendo as estimativas de herdabilidades 0,20, 0,02 e 0,20 e as estimativas de correlações -0,05, -0,48 e -0,09, evidenciando que a seleção para perímetro escrotal seria favorável a diminuição dos defeitos no sêmen.

Ao trabalhar com dados de touros da raça Nelore com média de 31 meses, SARREIRO et al. (2002) obtiveram para motilidade e vigor espermático estimativas

de herdabilidade de 0,01 e 0,03, respectivamente, evidenciando que essas características são muito influenciadas pelo ambiente.

DIAS et al. (2008) obtiveram estimativas de correlações genéticas entre perímetro escrotal e motilidade e vigor espermático, defeitos espermáticos maiores, menores e totais de 0,72, 0,60, 0,13, -0,67 e -0,12, respectivamente, os quais são resultados semelhantes aos de SILVEIRA et al (2012). DIAS et al. (2008) obtiveram estimativas de correlações genéticas de 0,68, 0,54, 0,12, -0,59 e -0,08 entre volume testicular e motilidade, vigor, defeitos maiores, menores e totais, respectivamente, apresentando, portanto correlação baixa e desfavorável com defeitos maiores, mas favoráveis com os outros defeitos. Esses trabalhos demonstram que o perímetro escrotal pode ser usado como critério de seleção para qualidade física do sêmen devido a sua alta correlação genética com motilidade e vigor espermático.

Avaliando touros da raça Nelore com média de 18 meses, filhos de vacas que não foram selecionadas para precocidade, SIQUEIRA et al. (2011) observaram estimativas de herdabilidades de 0,42, 0,41, 0,08, 0,07, 0,03, 0,02 e 0,01 para perímetro escrotal, volume testicular, motilidade espermática, vigor espermático e defeitos espermáticos maiores, menores e totais, respectivamente. Essas estimativas corroboram com a literatura, pois as herdabilidades das características físicas e morfológicas do sêmen são baixas e as características biométricas testiculares apresentam estimativas maiores de herdabilidade. Os autores observaram que perímetro escrotal apresentou estimativas de correlações genéticas de 0,84 com volume testicular, 0,68 com motilidade espermática, 0,64 com vigor espermático, 0,20 com defeitos espermáticos maiores, 0,38 com defeitos espermáticos menores e -0,82 com defeitos espermáticos totais. As estimativas correlações genéticas de motilidade espermática com defeitos espermáticos maiores e menores foram 0,57 e 0,34, respectivamente, sendo uma correlação desfavorável, porém com defeitos espermáticos totais apresentou uma correlação genética alta e favorável de -0,81.

BERRY; WALL; PRYCE (2014) ao realizarem meta-análise com trabalhos de bovinos de leite envolvendo características reprodutivas de macho e de fêmea obtiveram estimativa de herdabilidade média de 0,12 para porcentagem de espermatozoides viáveis e 0,05 para motilidade espermática. Os autores também relataram correlações genéticas entre perímetro escrotal e motilidade espermática

(0,76) e porcentagem de espermatozoides viáveis (0,63). DRUET et al. (2009), realizaram um estudo com bovinos da raça holandesa e encontraram estimativas de herdabilidades e correlações para várias características reprodutivas de macho. Dentre as características, a motilidade espermática e o volume do ejaculado, obtendo estimativa de herdabilidade de 0,13 e 0,22, respectivamente, e a correlação entre elas de -0,53, indicando correlação desfavorável entre as características.

A morfologia espermática é bastante relevante para a eficiência do sistema de produção de bovinos de corte. ATTIA; KATILA; ANDERSSON (2015) verificaram que a morfologia espermática está correlacionada com a taxa de concepção de bovinos, sendo que a relação da qualidade do sêmen com a fertilidade é um dos pontos mais importantes do sistema de produção (JANUSKAUSKAS; JOHANNISSON; RODRIGUEZ-MARTINEZ, 2001).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados fenotípicos utilizados neste estudo foram coletados em uma fazenda, situada no município de Carlos Chagas (18°51' latitude Sul e 41°55' longitude Oeste), no norte do estado de Minas Gerais, Brasil. Região que apresenta clima tropical com estação seca de inverno, comumente conhecido como clima de savana em que todos os meses apresentam temperatura média superior a 18 °C e índice pluviométrico de até 1.200 mm com maior estação de chuvas no período de novembro a fevereiro (SÁ JÚNIOR et al., 2012).

Foram coletados fenótipos de 612 touros com idade entre 18 e 36 meses entre os anos de 2006 e 2015. Os grupos de contemporâneos foram formados pela combinação de ano e estação de nascimento. Foram definidas quatro estações de nascimento (Março a Maio, Junho a Agosto, Setembro a Novembro e Dezembro a Fevereiro), conforme proposto por MOTA et al. (2017).

Ao todo, foram avaliadas 17 características reprodutivas dos touros. Podendo ser divididas em características biométricas do testículo (comprimento do testículo direito (CTD), comprimento do testículo esquerdo (CTE), largura do testículo direito (LTD), largura do testículo esquerdo (LTE), volume do testículo direito (VTD), volume testículo esquerdo (VTE), volume testicular total (VT) e perímetro escrotal (PE)), características físicas e morfológicas do sêmen (motilidade espermática progressiva (MOT), porcentagem de espermatozoides normais (PNS),

turbilhonamento (TURB), defeitos maiores (DMA), menores (DME) e totais (DT) e vigor espermático (VIG)) e comprimento e largura da vesícula seminal (CVS, LVS).

As características biométricas do testículo foram obtidas utilizando uma fita métrica flexível, sendo que o perímetro corresponde a medida horizontal em torno do escroto, mensurado na parte de maior diâmetro. O volume testicular foi calculado de acordo com o proposto por FIELDS et al. (1979), em que o testículo é considerado um cilindro, assim, a fórmula utilizada foi  $VT = 2[r^2 \times \pi \times h]$ , em que o raio (r) foi calculado a partir da metade da largura, h = comprimento, e  $\pi = 3,14$ . O volume foi expresso em  $cm^3$ . Foram calculados o volume de cada testículo e o volume total foi obtido pela soma dos volumes de cada testículo. A mensuração dos dados de vesícula seminal é realizada por meio de palpação retal.

A coleta do sêmen foi realizada por meio do método da eletroejaculação, em que o eletrodo ou probe é inserido no reto, com eletrodos em forma de anéis ou longitudinais promovendo a estimulação elétrica pela passagem de uma corrente alternada pela medula ao nível da 4ª vértebra lombar, estimulando a ejaculação. A estatística descritiva dos dados fenotípicos dos touros encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados

Características	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	CV
CTD, cm	530	11,80	1,17	7,30	15,20	9,89
CTE, cm	530	11,77	1,22	7,00	15,00	10,36
LTD, cm	530	6,47	0,57	4,50	8,90	8,88
LTE, cm	530	6,43	0,58	4,30	8,90	9,06
VTD, $cm^3$	530	1054,44	261,61	330,81	2521,63	24,81
VTE, $cm^3$	530	1037,05	263,07	294,31	2488,46	25,37
VT, $cm^3$	530	2091,49	516,54	625,12	5010,09	24,70
PE, cm	609	31,17	3,25	20,10	45,90	10,41
MOT, %	506	72,52	11,74	10,00	95,00	16,19
PNS, %	500	81,65	13,20	4,00	96,00	16,17
TURB <sup>1</sup>	506	1,33	1,10	0,00	4,50	83,03
DMA, %	500	12,66	11,35	2,50	92,00	89,62
DME, %	500	5,69	6,33	0,00	67,00	111,15
DT, %	500	18,35	13,20	4,00	96,00	71,92
VIG <sup>1</sup>	506	3,12	0,49	0,50	5,00	15,62
CVS, cm	408	7,96	1,42	5,00	14,00	17,78
LVS, cm	408	1,97	0,37	1,00	3,00	18,97

---

<sup>1</sup> Escores atribuídos para turbilhonamento e vigor espermático sendo 0 = sem atividade e 5 = máxima atividade.

CTD: comprimento do testículo direito; CTE: comprimento do testículo esquerdo; LTD: largura do testículo direito; LTE: largura do testículo esquerdo; VTD: volume do testículo direito; VTE: volume testículo esquerdo; VT: volume testicular total; PE: perímetro escrotal; MOT: motilidade espermática, PNS: porcentagem de espermatozoides normais; TURB: turbilhonamento; DMA: defeitos espermáticos maiores; DME: defeitos espermáticos menores; DT: defeitos espermáticos totais; VIG: vigor espermático; CVS: comprimento da vesícula seminal; LVS: largura da vesícula seminal

Para a estimação da herdabilidade, foi utilizado o modelo animal uni característico, o qual pode ser descrito na forma matricial como:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e}$$

em que  $\mathbf{y}$  é o vetor de observações,  $\boldsymbol{\beta}$  é o vetor de efeitos fixos (grupo de contemporâneo e a idade, como co-variável),  $\mathbf{u}$  é o vetor de efeito genético aditivo aleatório,  $\mathbf{e}$  é o vetor de resíduos aleatórios e  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Z}$  são as matrizes de incidência conectando as observações aos efeitos fixos e aleatórios.

Nesse modelo assume-se que  $\mathbf{u} \sim N(0, \mathbf{A}\sigma_a^2)$ , e  $\mathbf{e} \sim N(0, \mathbf{I}\sigma_e^2)$ , em que  $\mathbf{A}$  é a matriz dos numeradores dos coeficientes de parentesco de Wright,  $\mathbf{I}$  é uma matriz identidade com número igual de observações e  $\sigma_a^2$  e  $\sigma_e^2$  são as variâncias genéticas aditivas e residuais, respectivamente.

As estimativas de correlação genética foram obtidas através do modelo animal bi-característico, o qual possui a mesma forma matricial descrita acima, com as mesmas definições para  $\mathbf{y}$ ,  $\boldsymbol{\beta}$ ,  $\mathbf{u}$ ,  $\mathbf{e}$ ,  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Z}$ . Porém assume-se que  $\mathbf{u} \sim N(0, \mathbf{A} \otimes \mathbf{G})$ , e  $\mathbf{e} \sim N(0, \mathbf{I} \otimes \mathbf{R})$ , em que  $\otimes$  é o operador do produto direto;  $\mathbf{G}$  e  $\mathbf{R}$  representam matrizes de (co)variâncias para efeitos genéticos aditivos e de resíduos, respectivamente;  $\mathbf{A}$  e  $\mathbf{I}$  conforme descrito anteriormente.

As análises foram realizadas usando os softwares da família BLUPF90 (MISZTAL et al., 2002). As informações de pedigree dos animais avaliados foram disponibilizadas pela Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ), resultando em uma matriz de parentesco com 1852 animais.

#### 4. RESULTADOS

Estimativas de herdabilidade estão apresentadas na tabela 2 e as estimativas de correlação genética para as características avaliadas na figura 1 e tabela suplementar 3. Nas tabelas suplementares 1 e 2 se encontram as estimativas das (co)variâncias genéticas e residuais.

Na tabela 2, pode-se observar que as estimativas herdabilidades variaram de 0,01 a 0,49. Dentre as características relacionadas a biometria do testículo, o comprimento do testículo direito apresentou a maior estimativa de herdabilidade sendo seguido pelo perímetro escrotal e pelas as características de volume testicular. Para as características físicas e morfológicas do sêmen a maior estimativa de herdabilidade foi para defeitos maiores. Estimativas baixas foram observadas para motilidade espermática, turbilhonamento e vigor espermático. Herdabilidades próximas de zero foram observadas para comprimento e largura da vesícula seminal.

Foi observado estimativas de correlação genética altas e positivas do perímetro escrotal com a maioria das características relacionadas a biometria do testículo (figura 1). O perímetro escrotal apresentou também alta correlação genética com motilidade espermática e turbilhonamento, além de apresentar correlação genética moderada negativa, porém favorável com os defeitos espermáticos maiores e totais (figura 1 e tabela suplementar 3). A porcentagem de espermatozoides normais apresentou estimativas de correlação alta e negativa com defeitos espermáticos maiores, menores e moderada e positiva com motilidade espermática.

Tabela 2. Estimativas de herdabilidade.

Características	h <sup>2</sup> (SE)
Comprimento do testículo direito (CTD)	0,48 (0,15)
Comprimento do testículo esquerdo (CTE)	0,41 (0,14)
Largura do testículo direito (LTD)	0,40 (0,13)
Largura do testículo esquerdo (LTE)	0,38 (0,14)
Volume do testículo direito (VTD)	0,35 (0,13)
Volume do testículo esquerdo (VTE)	0,34 (0,13)
Volume testicular total (VT)	0,35 (0,13)
Perímetro escrotal (PE)	0,47 (0,12)
Motilidade espermática (MOT)	0,07 (0,08)
Porcentagem de espermatozoides normais (PNS)	0,36 (0,14)
Turbilhonamento espermático (TURB)	0,07 (0,08)
Defeitos espermáticos maiores (DMA)	0,49 (0,18)

Defeitos espermáticos menores (DME)	0,17 (0,12)
Defeitos espermáticos totais (DT)	0,39 (0,15)
Vigor espermático (VIG)	0,05 (0,09)
Comprimento da vesícula seminal (CVS)	0,02 (0,10)
Largura da vesícula seminal (LVS)	0,01 (0,08)

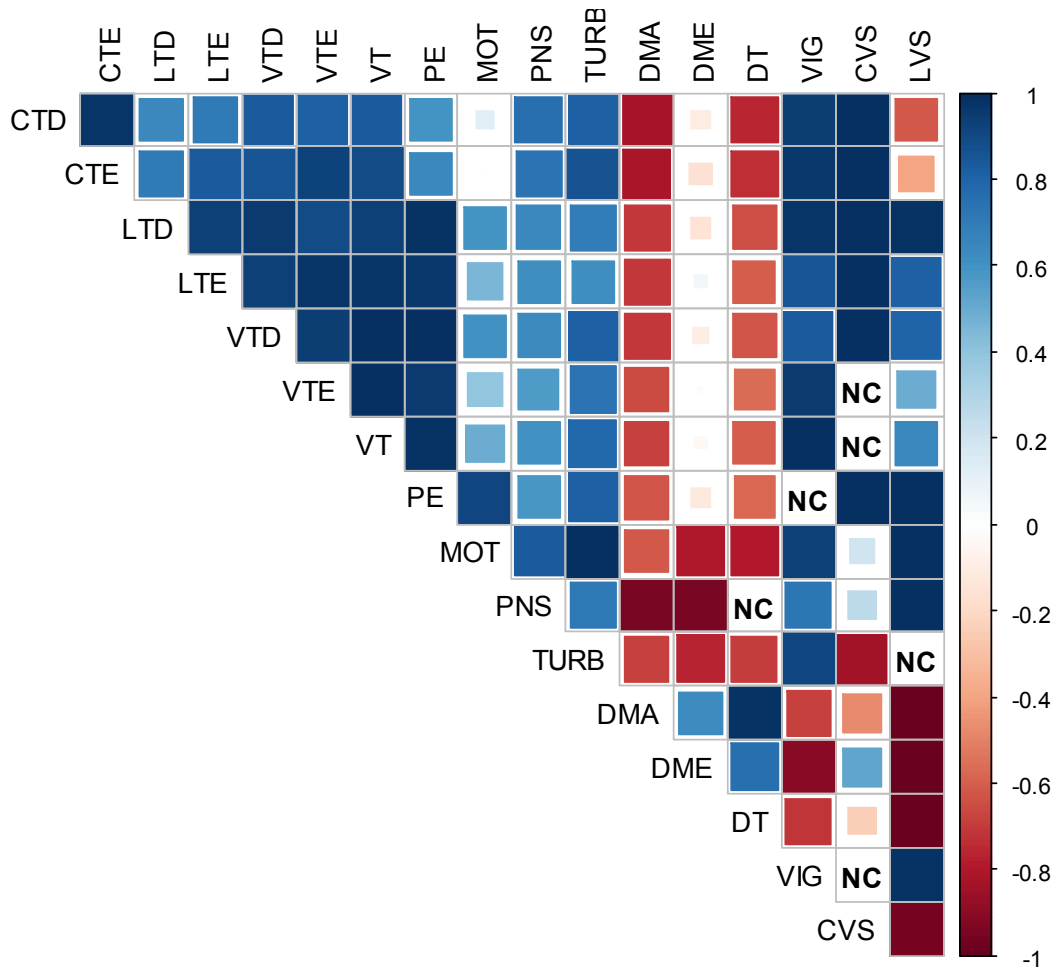


Figura 1: Estimativas de correlações genéticas. CTD: comprimento do testículo direito; CTE: comprimento do testículo esquerdo; LTD: largura do testículo direito; LTE: largura do testículo esquerdo; VTD: volume do testículo direito; VTE: volume testículo esquerdo; VT: volume testicular total; PE: perímetro escrotal; MOT: motilidade espermática, PNS: porcentagem de espermatozoides normais; TURB: turbilhonamento; DMA: defeitos espermáticos maiores; DME: defeitos espermáticos menores; DT: defeitos espermáticos totais; VIG: vigor espermático; CVS: comprimento da vesícula seminal; LVS: largura da vesícula seminal; NC: não convergiu.

## 5. DISCUSSÃO

## 5.1 Herdabilidades

Características biométricas podem auxiliar na previsão da puberdade dos animais (LOPES et al., 2016). Dentre essas características, o perímetro escrotal é a mais utilizada em avaliações genéticas, apresentando estimativas de herdabilidades de 0,18 a 0,81. A mensuração desta característica nas populações é de suma importância, como pode ser observado em diversos estudos (BOLIGON et al., 2010; CORBET et al., 2013; SOARES et al., 2017; SILVA et al., 2018), pois apresenta alta correlação genética com características de desempenho e precocidade sexual de machos e fêmeas (SIQUEIRA; GUIMARÃES; PINHO, 2013).

O comprimento de ambos os testículos, apresentaram estimativas de herdabilidade alta, 0,48 para o testículo direito e 0,41 para o testículo esquerdo, conforme observado na tabela 2, corroborando com SILVEIRA et al. (2012), que verificaram estimativas de herdabilidade alta para as duas características. As herdabilidades estimadas das larguras testiculares também foram altas, 0,40 para largura do testículo direito e 0,38 para o testículo esquerdo, sendo esses valores maiores do que os valores obtidos por SILVEIRA et al. (2012), 0,31 e 0,28 respectivamente.

Para volume testicular, a herdabilidade estimada também foi alta, conforme as outras características biométricas, o que era esperado uma vez que ela é obtida a partir do comprimento e largura testicular. As herdabilidades estimadas para volume do testículo direito, esquerdo e total foram semelhantes. Esses resultados, são semelhantes aos de BOLIGON et al. (2010), que obtiveram estimativas de herdabilidade de 0,39 para volume testicular para animais da raça Nelore aos 18 meses.

A motilidade espermática, característica física do sêmen usada para medição da fertilidade em machos, apresentou herdabilidade 0,07, sendo esse valor considerado de baixa magnitude, indicando que a característica sofre grande influência dos fatores ambientais, resultados semelhantes foram reportados em diversos estudos (DIAS et al., 2008; BOLIGON et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2011). O turbilhonamento e vigor espermático, apresentaram estimativas de herdabilidade baixa (0,07 e 0,05), o que corrobora com os resultados obtidos pelos mesmos autores (DIAS et al., 2008; BOLIGON et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2011).

Segundo, (SIQUEIRA; GUIMARÃES; PINHO, 2013) as características morfológicas e físicas do sêmen apresentam em geral, estimativas de herdabilidades menores em comparação com as características biométricas do testículo, pois sofrem maior variação ambiental. Isso também é observado no presente estudo, em que a maioria das características físicas e morfológicas do sêmen apresentaram baixas herdabilidades estimadas, sendo que apenas defeitos maiores, totais e PNS apresentaram herdabilidades de alta magnitude.

Com relação a porcentagem de espermatozoides normais, a estimativa de herdabilidade encontrada foi alta (0,36), o que difere aos resultados obtidos por BERRY et al. (2014), com uso de dados de animais da raça Holandesa (0,13). CORBET et al (2013), observaram estimativas de herdabilidades de 0,12 para animais Brahman e 0,27 para um composto tropical aos 24 meses. A herdabilidade é um parâmetro populacional, sendo específica para cada população avaliada uma vez que a variância genética aditiva depende das frequências alélicas e a variância ambiental é variável entre populações. Assim, essa diferença entre os resultados pode ser explicado pelo fato de se tratar de diferentes populações.

Em relação às características morfológicas do sêmen (defeitos espermáticos maiores, menores e totais), houve variação das estimativas de herdabilidade, de 0,17 para defeitos espermáticos menores à 0,49 para defeitos espermáticos maiores, valores bem divergentes dos resultados obtidos por SIQUEIRA et al. (2011), que observaram 0,03 para defeitos espermáticos maiores, 0,02 para defeitos espermáticos menores e 0,01 para defeitos espermáticos totais. Essa divergência pode ser explicada pelas diferenças genéticas e ambientais dos animais analisados.

As vesículas seminais são de grande importância para a fertilidade do animal, pois de acordo com JUYENA & STELLETTA (2012) ela é responsável pela produção das secreções presentes no ejaculado, fornecendo aos espermatozoides um ambiente nutritivo e protetor no momento em que entra em contato com os órgãos reprodutivos da fêmea, sendo crucial para a fecundação e manutenção da motilidade espermática. A estimativa de herdabilidade observada para essa característica foi próxima de zero para comprimento (0,02) e para largura (0,01), o que pode ser explicado possivelmente o método de coleta dos dados, que é realizada por estimativas por meio de palpação retal.

## 5.2 Correlações genéticas

As correlações genéticas estimadas entre as características biométricas do testículo foram favoráveis e altas (figura 1). Já as estimativas de correlação genética entre o comprimento dos testículos com a largura foram moderadas e favoráveis. SILVEIRA et al. (2012) obtiveram correlações semelhantes, evidenciando que os mesmos genes podem controlar o crescimento testicular, tanto em comprimento, quanto em largura.

As correlações genéticas estimadas entre perímetro escrotal e comprimento do testículo direito e esquerdo foram menores quando comparadas as estimativas de correlação genética do perímetro com as larguras de ambos os testículos. Essa alta estimativa de correlação genética com a largura, pode ser explicado pelo fato do perímetro escrotal levar em consideração a largura do escroto. As medidas de volume do testículo também apresentaram alta correlação com perímetro escrotal, o que é explicado pelo fato do perímetro ser utilizado para o cálculo do volume testicular. Assim a inclusão apenas do perímetro escrotal como critério de seleção seria uma estratégia interessante uma vez que a herdabilidade é alta e levaria a uma resposta correlacionada favorável para comprimento e principalmente largura do testículo. Além disso, o perímetro é uma característica mais fácil de medir em comparação com as demais o que resulta em menor tempo de manejo do o animal para a obtenção dos dados.

Quando se observa na figura 1 as correlações entre as características biométricas dos testículos com as características físicas e morfológicas do sêmen, verifica-se estimativas de correlações genéticas favoráveis de alta e baixa magnitudes. O perímetro escrotal, característica reprodutiva mais utilizada nos programas de melhoramento para seleção de machos e fêmeas, apresentou estimativas de correlação genética alta e favorável com motilidade e turbilhonamento. Essa alta estimativa de correlação genética evidencia que a seleção que vem sendo realizada para PE tem efeitos positivos na motilidade e turbilhonamento por meio da resposta correlacionada à seleção.

Já a estimativa de correlação genética do perímetro escrotal com PNS foi moderada, porém favorável. Esse resultado foi superior ao de CORBET et al. (2013), que ao trabalhar com touros da raça Brahman verificaram correlação de 0,32 entre

essas características. Os mesmos autores analisando as estimativas de correlação genética de PNS com motilidade espermática e turbilhonamento, observaram estimativas de correlações genéticas de 0,29 e 0,22, sendo bem menores que as observadas nesse trabalho (0,83 e 0,71).

Em relação às estimativas de correlações genéticas do perímetro escrotal com os defeitos espermáticos maiores, menores e totais, houve variação na magnitude, conforme observado na figura 1, porém elas foram sempre favoráveis, ou seja, a seleção para o aumento do perímetro escrotal acarreta como resposta indireta a diminuição nos defeitos espermáticos. SILVA et al. (2011) encontraram resultados divergentes do presente estudo, sendo que as estimativas de correlações genéticas do perímetro escrotal com os defeitos espermáticos foram -0,16 para defeitos maiores, -0,23 para defeitos menores e 0,24 para defeitos totais. Essa divergência entre as correlações com defeitos espermáticos totais entre os estudos pode estar relacionado a idade em que os animais foram submetidos a avaliação em cada trabalho, os efeitos genéticos e ambientais e estrutura de cada população avaliada.

Apesar de BAILEY et al. (1996) afirmarem que características biométricas do testículo como comprimento, largura e volume são medidas mais representativas da produção e qualidade espermática quando comparado ao perímetro escrotal, no presente estudo foi observado que as correlações entre comprimento, largura e volume testicular com motilidade espermática, defeitos espermáticos, turbilhonamento, PNS e vigor espermático foram semelhantes com as correlações dessas características com perímetro escrotal. Assim, os resultados mostram que perímetro escrotal é uma medida representativa para qualidade espermática, além disso, a sua mensuração é mais fácil quando comparada a comprimento e largura dos testículos e a alta herdabilidade sugere que perímetro escrotal deveria ser escolhido como critério de seleção para fertilidade do macho.

Entre as características físicas e morfológicas do sêmen, também houve variação das estimativas correlações genéticas. Como mostra a figura 1, motilidade espermática apresentou alta estimativa de correlação genética com PNS, turbilhonamento e vigor espermáticos, evidenciando que essas características podem ser controladas pelos mesmos genes. A correlação genética estimada entre motilidade

espermática e defeitos espermáticos maiores, defeitos menores e defeitos totais foi negativa e moderada - alta, porém sempre favorável.

As estimativas de correlação genética foram de moderada a alta entre as características de defeitos espermáticos, como pode ser observado na figura 1. Esses resultados são diferentes dos resultados obtidos por SILVA et al (2011), em que as estimativas de correlação genética para defeitos espermáticos maiores e menores foi baixa (0,40) e entre estes defeitos com defeitos totais foram 0,55 e 0,99 respectivamente.

As correlações genéticas estimadas entre as características biométricas do testículo e as características físicas e morfológicas do sêmen com o tamanho da vesícula seminal (comprimento e largura) apresentaram grande variação. É interessante notar que a largura dos testículos e perímetro escrotal apresentaram alta correlação genética estimada com a vesícula. Na literatura é escassa a estimação desses parâmetros para vesícula seminal.

## **6. CONCLUSÃO**

As características biométricas do testículo apresentaram valores altos de estimativas de herdabilidade, em comparação, as características físicas e morfológicas do sêmen, as quais apresentaram herdabilidades estimadas bem variadas indo de baixas a altas. O perímetro escrotal apresentou estimativas de correlações genéticas altas e favoráveis com todas as características físicas e morfológicas do sêmen e apresentou alta estimativa de herdabilidade, portanto a sua utilização como característica de referência para fertilidade do macho é bastante acertada, por provocar mudanças favoráveis nas características de qualidade do sêmen além de ser uma característica de fácil mensuração e baixo custo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, R. P.; CELEGHINI, E. C. C.; ALONSO, M. A.; CARVALHO, H. F.; OLIVEIRA, L. Z.; NASCIMENTO, J.; SILVA, D. F.; AFFONSO, F. J.; LEMES, K. M.; JAIMES, J. D. Métodos de avaliação da morfologia e função espermática: momento atual e desafios futuros. **Rev. bras. reprod. anim**, v. 35, n. 2, p. 145–151, 2011.

ATTIA, S.; KATILA, T.; ANDERSSON, M. The Effect of Sperm Morphology and Sire Fertility on Calving Rate of Finnish Ayrshire AI Bulls. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 51, n. 1, p. 54–58, 13 dez. 2015.

BAILEY, T. L.; HUDSON, R. S.; POWE, T. A.; RIDDELL, M. G.; WOLFE, D. F.; CARSON, R. L. Caliper and ultrasonographic measurements of bovine testicles and a mathematical formula for determining testicular volume and weight in vivo. **Theriogenology**, v. 49, n. 3, p. 581–594, 1998.

BAILEY, T. L.; MONKE, D.; HUDSON, R. S.; WOLFE, D. F.; CARSON, R. L.; RIDDELL, M. G. Testicular shape and its relationship to sperm production in mature Holstein bulls. **Theriogenology**, v. 46, n. 5, p. 881–887, 1996.

BARTH, A. D.; OMINSKI, K. H. The relationship between scrotal circumference at weaning and at one year of age in beef bulls. **The Canadian Veterinary Journal**, v. 41, n. 7, p. 541–546, jul. 2000.

BERGMANN, J. A. G. **Melhoramento genético da eficiência reprodutiva em bovinos de corte**. Congresso Brasileiro de Reprodução Animal. Belo Horizonte: 1993.

BERGMANN, J. A. G.; ZAMBORLINI, L.C.; PROCÓPIO, C.S.O.; ANDRADE, V.J.; VALE FILHO, V. R. **Estimativas de parâmetros genéticos do perímetro escrotal e do peso corporal em animais da raça Nelore**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 48, p. 69–78, 1996.

BERRY, D. P.; WALL, E.; PRYCE, J. E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. **Animal**, v.8, n.1, p. 105–121, 2014.

BLOM E. Ultrastructure of some characteristic sperm defects and a proposal for a

- new classification of the bull spermiogram. **Nord Vet Med**, v. 53, p. 383–391, 1973
- BOLIGON, A. A.; RORATO, P. R. N.; DE ALBUQUERQUE, L. G. Correlações genéticas entre medidas de perímetro escrotal e características produtivas e reprodutivas de fêmeas da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 3, p. 565–571, 2007.
- 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 Nelore cattle1. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 4, p. 1215–1219, 2010.
- BUZANSKAS, M. E.; PIRES, P. S.; CHUD, T. C. S.; BERNARDES, P. A.; ROLA, L. D.; SAVEGNAGO, R. P.; LÔBO, R. B.; MUNARI, D. P. Parameter estimates for reproductive and carcass traits in Nelore beef cattle. **Theriogenology**, v. 92, p. 204–209, 2017.
- CARDOSO, F. F.; TEMPELMAN, R. J. Linear reaction norm models for genetic merit prediction of Angus cattle under genotype by environment interaction. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 7, p. 2130–2141, 2012.
- COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL (CBRA). Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal. Belo Horizonte: CBRA, v. 3a ed, 104p, 2013
- CORBET, N. J.; BURNS, B. M.; JOHNSTON, D. J.; WOLCOTT, M. L.; CORBET, D. H.; VENUS, B. K.; LI, Y.; MCGOWAN, M. R.; HOLROYD, R. G. Male traits and herd reproductive capability in tropical beef cattle. 2. Genetic parameters of bull traits. **Animal Production Science**, v. 53, n. 2, p. 101–113, 2013.
- COSTA, E. V. **Modelos bayesianos multicaracterísticos para dados censurados na avaliação genética de características reprodutivas em bovinos nelore**. Universidade Federal de Viçosa, 2017.
- DIAS, J. C.; ANDRADE, V. J.; MATIAS, J. A. M.; EMERICK, L. L. VALE FILHO, V. R. Correlações genéticas e fenotípicas entre características reprodutivas e produtivas de touros da raça Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p. 53-59, 2008.

DRUET, T.; FRITZ, S.; SELLEM, E.; BASSO, B.; GÉRARD, O.; SALAS-CORTES, L.; HUMBLLOT, P.; DRUART, X.; EGGEN, A. Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 126, n. 4, p. 269–277, 15 jul. 2009.

FIELDS, M. J.; BURNS, W. C.; WARNICK, A. C. Age , season and breed effects on testicular volume and semen traits in young beef bulls. **Journal of Animal Science**. v. 48, n. 46. 1979.

GROSSI, D. A.; FRIZZAS, O. G.; PAZ, C. C.P.; BEZERRA, L. A.F.; LÔBO, R. B.; OLIVEIRA, J. A.; MUNARI, D. P. Genetic associations between accumulated productivity, and reproductive and growth traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 117, n. 2–3, p. 139–146, 2008.

GROSSI, D. A.; VENTURINI, G. C. ; PAZ, C. C.P.; BEZERRA, L. A.F.; LÔBO, R. B.; OLIVEIRA, J. A.; MUNARI, D. P. Genetic associations between age at first calving and heifer body weight and scrotal circumference in Nelore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**. v. 126, p. 387–393, 2009.

HAFEZ, E. S. E. Reproduction in farm animals. Philadelphia: Lea & Febiger, 1993.

JANUSKAUSKAS, A.; JOHANNISSON, A.; RODRIGUEZ-MARTINEZ, H. Assessment of sperm quality through fluorometry and sperm chromatin structure assay in relation to field fertility of frozen-thawed semen from Swedish AI bulls. **Theriogenology**, v. 55, n. 4, p. 947–961, 2001.

JUYENA, N. S.; STELLETTA, C. Seminal Plasma : An Essential Attribute to Spermatozoa. **Journal of Andrology**. v. 33, n. 4, p. 536–551, 2012.

LOPES, F.; KOETZ JUNIOR, C.; FERREIRA, M. B.; MENEGASSI, S. R. O.; GUIDONI, P. B.; CORREA, L. S. Avaliação da Maturidade Sexual e Classificação Andrológica por Pontos ( CAP ) de Touros Jovens da Raça Nelore , Criados no Noroeste do Estado do Paraná. **Uniciências**, v. 20, n. 2, p. 108–112, 2016.

MAGNABOSCO, C. U. LOPES, F. B.; ROSA, G. J. M.; SAINZ, R. D.. Bayesian estimates of genetic parameters for reproductive traits in Nellore cows raised on pasture in the tropics. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 29, p. 119–129, 2016.

MISZTAL, I.; TSURUTA, S.; STRABEL, T.; AUVRAY, B.; DRUET T.; LEE, D.H. BLUPf90 and related programs (BGF90). 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, France. p. 2001–2002, 2002.

MOTA, R. R.; GUIMARÃES, S. E.F.; FORTES, M. R.S.; HAYES, B.; SILVA, F.F.; VERARDO, L. L.; KELLY, M. J.; CAMPOS, C.F.; GUIMARÃES, J. D.; WENCESLAU, R.R.; PENITENTE-FILHO, J.M.; GARCIA, J.F.; MOORE, S. Genome-wide association study and annotating candidate gene networks affecting age at first calving in Nelore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 134, n. 6, p. 484–492, 9 out. 2017.

PIRES, B. C.; THOLON, P.; BUZANSKAS, M. E.; SBARDELLA, A. P.; ROSA, J. O.; SILVA, L. O. C.; TORRES JÚNIOR, R. A. A.; MUNARI, D. P.; ALENCAR, M. M. Genetic analyses on bodyweight, reproductive, and carcass traits in composite beef cattle. **Animal Production Science**, v. 57, n. 3, p. 415–421, 2017.

RAIDAN, F. S. S.; TINEO, J. S. A.; MORAES, M. M.; ESCARCE, T. C.; ARAÚJO, A. E. M.; GOMES, M. M. C.; VENTURA, H. T.; TORAL, F. L. B. Associations among growth , scrotal circumference , and visual score of beef cattle in performance tests on pasture or in feedlots. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.46 p. 309-316, 2017.

SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1, p. 1–7, 2012.

SARREIRO, L. C.; BERGMANN, J.A.G.; QUIRINO, C.R.; PINEDA, N.R.; FERREIRA, V.C.P.; SILVA, M.A. Herdabilidade e correlação genética entre perímetro escrotal, libido e características seminais de touros Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 54, n. 6, 2002.

SILVA, B. C. A.; ELER, J. P.; SANTANA, M. L.; MATTOS, E. C.; MENEZES, I. R.; FERRAZ, J. B.S. Genetic association between mature weight and early growth and heifer pregnancy traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 211, n. August 2017, p. 61–65, 2018.

SILVA, M. R.; PEDROSA, V. B.; SILVA, J. C.B.; ELER, J. P.; GUIMARÃES, J. D.; ALBUQUERQUE, L. G. Testicular traits as selection criteria for young Nelore bulls. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 7, p. 2061–2067, 2011.

SILVEIRA, T. S.; SIQUEIRA, J. B.; SARMENTE, L. R.; ELER, J. P.; TORRES, R. A.; GUIMARÃES, S. E. F; MIRANDA NETO, T.; DOMINGOS, J.D. Estimativas de herdabilidades e correlações genéticas entre características reprodutivas em touros da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.64, n.6, p.1427-1435, 2012.

SIQUEIRA, J. B.; GUIMARÃES, J. D.; PINHO, R. O. Relação entre perímetro escrotal e características produtivas e reprodutivas em bovinos de corte: uma revisão. **Rev Bras Reprod Anim. Supl.** Belo Horizonte, v. 37, n. 1, p. 3–13, 2013.

SIQUEIRA, J. B.; OBA, E.; PINHO, R. O.; QUINTINO, H. P.; ELER, J. P.; MIRANDA NETO, T.; GUIMARÃES, S. E.F.; GUIMARÃES, J. D. Heritability Estimate and Genetic Correlations of Reproductive Features in Nelore Bulls, Offspring of Super Precocious, Precocious and Normal Cows Under Extensive Farming Conditions. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 47, n. 2, p. 313–318, 26 jul. 2011.

SOARES, A. C. C.; GUIMARÃES, S. E.F.; KELLY, M. J.; FORTES, M. R.S.; SILVA, F. F.; VERARDO, L. L.; MOTA, R. R.; MOORE, S. Multiple-trait genomewide mapping and gene network analysis for scrotal circumference growth curves in Brahman cattle. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 8, p. 3331–3345, 2017.

TEIXEIRA, B. B. M.; MACNEIL, M. D.; COSTA, R. F.; DIONELLO, N. J. L.; YOKOO, M. J. CARDOSO, F. F. Genetic parameters and trends for traits of the Hereford and Braford breeds in Brazil. **Livestock Science**, v. 208, p. 60–66, 2018.

UNANIAN, M. M.; SILVA, A. E. D. F; MCMANUS, C.; CARDOSO, E. P. Características Biométricas Testiculares para Avaliação de Touros Zebuínos da Raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n. 1, p. 136–144, 2000.

## 8. TABELAS SUPLEMENTARES

Tabela suplementar 1. Estimativas de variância genética (diagonal) e covariâncias genéticas aditivas (acima da diagonal).

	CTD	CTE	LTD	LTE	VTD	VTE	VT	PE	MOT	PNS	TURB	DMA	DME	DT	VIG	CVS	LVS
CTD	<b>0,43</b>	0,41	0,14	0,15	76,27	74,90	151,27	0,57	0,23	5,82	0,18	-6,83	-0,19	-6,25	0,09	0,19	-0,03
CTE		<b>0,42</b>	0,15	0,17	75,15	80,70	155,17	0,57	-0,02	5,43	0,19	-6,52	-0,27	-5,82	0,09	0,21	-0,01
LTD			<b>0,11</b>	0,10	44,88	40,61	85,18	0,57	0,59	2,19	0,07	-2,61	-0,13	-2,32	0,03	0,15	0,02
LTE				<b>0,11</b>	41,61	45,88	86,21	0,51	0,48	2,14	0,06	-2,89	0,04	-2,29	0,03	0,15	0,02
VTD					<b>18469,00</b>	17433,00	35899,00	225,30	242,85	781,39	34,14	-1036,70	-34,53	-921,20	16,38	59,84	6,44
VTE						<b>18491,00</b>	35898,00	210,92	165,67	867,32	32,01	-1006,50	3,17	-832,91	15,63	NC	4,48
VT							<b>71809,00</b>	433,68	404,23	1645,90	65,89	-2031,10	-31,68	-1750,60	32,67	NC	11,15
PE								<b>2,93</b>	4,79	9,37	0,41	-10,37	-0,52	-9,86	NC	0,24	0,08
MOT									<b>9,33</b>	19,59	0,75	-17,21	-6,05	-19,78	0,25	0,09	0,06
PNS										<b>75,15</b>	1,55	-87,66	-15,65	NC	0,64	0,37	0,72
TURB											<b>0,07</b>	-1,75	-0,46	-1,62	0,03	-0,04	NC
DMA												<b>88,05</b>	10,21	71,62	-0,70	-0,76	-0,66
DME													<b>6,93</b>	14,65	-0,25	0,31	-0,29
DT														<b>83,65</b>	-0,67	-0,38	-0,75
VIG															<b>0,01</b>	NC	0,00
CVS																<b>0,03</b>	-0,01
LVS																	<b>0,00</b>

CTD: comprimento do testículo direito; CTE: comprimento do testículo esquerdo; LTD: largura do testículo direito; LTE: largura do testículo esquerdo; VTD: volume do testículo direito; VTE: volume testículo esquerdo; VT: volume testicular total; PE: perímetro escrotal; MOT: motilidade progressiva, PNS: porcentagem de espermatozoides normais; TURB: turbilhonamento; DMA: defeitos maiores; DME: defeitos menores; DT: defeitos totais; VIG: vigor espermático; CVS: comprimento da vesícula seminal; LVS: largura da vesícula seminal; NC: não convergiu.

Tabela suplementar 2. Estimativas de variância residual (diagonal) e covariâncias residuais (acima da diagonal).

	CTD	CTE	LTD	LTE	VTD	VTE	VT	PE	MOT	PNS	TURB	DMA	DME	DT	VIG	CVS	LVS
CTD	<b>0,46</b>	0,46	0,13	0,12	87,32	84,36	171,61	0,90	0,42	-2,49	-0,12	2,90	0,44	2,73	-0,05	0,08	0,07
CTE		<b>0,50</b>	0,12	0,14	85,99	100,02	186,57	0,99	0,66	-1,75	-0,15	2,12	0,59	1,96	-0,04	0,09	0,07
LTD			<b>0,16</b>	0,14	69,09	64,61	133,93	0,64	-0,09	-0,64	-0,02	1,07	-0,03	0,71	-0,01	-0,01	0,01
LTE				<b>0,18</b>	64,36	73,18	138,55	0,71	0,14	-0,44	-0,01	1,10	-0,16	0,52	-0,01	-0,01	0,01
VTD					<b>34068,00</b>	31828,00	65896,00	310,21	-35,80	-279,05	-18,74	418,72	4,60	305,31	-6,90	-9,10	11,01
VTE						<b>35992,00</b>	67820,00	328,59	72,68	-157,14	-17,16	328,61	-18,87	179,28	-4,40	NC	12,48
VT							<b>133720,00</b>	641,10	32,54	-451,13	-36,12	754,33	-13,36	499,47	-12,26	NC	23,05
PE								<b>3,28</b>	-1,30	-1,74	-0,17	2,84	-0,10	1,89	NC	0,26	0,07
MOT									<b>122,30</b>	25,374	4,59	-23,03	0,14	-25,54	3,26	0,82	0,01
PNS										<b>124,95</b>	2,42	-87,71	-0,10	NC	1,49	-0,05	-0,74
TURB											<b>0,89</b>	-1,33	-0,59	-2,42	0,25	2,42	NC
DMA												<b>89,26</b>	-9,44	104,68	-1,04	-0,07	0,53
DME													<b>35,48</b>	26,03	-0,22	0,17	0,37
DT														<b>126,27</b>	-1,49	0,04	0,76
VIG															<b>0,22</b>	NC	-0,01
CVS																<b>1,56</b>	0,24
LVS																	<b>0,12</b>

CTD: comprimento do testículo direito; CTE: comprimento do testículo esquerdo; LTD: largura do testículo direito; LTE: largura do testículo esquerdo; VTD: volume do testículo direito; VTE: volume testículo esquerdo; VT: volume testicular total; PE: perímetro escrotal; MOT: motilidade progressiva, PNS: porcentagem de espermatozoides normais; TURB: turbilhonamento; DMA: defeitos maiores; DME: defeitos menores; DT: defeitos totais; VIG: vigor espermático; CVS: comprimento da vesícula seminal; LVS: largura da vesícula seminal; NC: não convergiu.

Tabela Suplementar 3. Estimativas de correlações genéticas.

	CTE	LTD	LTE	VTD	VTE	VT	PE	MOT	PNS	TURB	DMA	DME	DT	VIG	CVS	LVS
CTD	0,97 (0,12)	0,64 (0,23)	0,70 (0,31)	0,83 (0,19)	0,82 (0,18)	0,83 (0,18)	0,59 (0,23)	0,12 (0,81)	0,75 (0,19)	0,82 (0,95)	-0,83 (0,15)	-0,11 (0,68)	-0,76 (0,19)	0,94 (1,34)	0,99 (0,30)	-0,62 (1,14)
CTE		0,70 (0,23)	0,83 (1,58)	0,85 (0,27)	0,92 (0,37)	0,89 (0,16)	0,64 (0,35)	-0,01 (0,84)	0,73 (0,24)	0,86 (0,77)	-0,81 (0,17)	-0,16 (1,35)	-0,74 (0,21)	0,96 (1,05)	0,99 (1,35)	-0,40 (1,15)
LTD			0,93 (0,18)	0,95 (0,15)	0,89 (0,18)	0,93 (0,18)	0,98 (0,06)	0,59 (0,96)	0,64 (0,26)	0,69 (1,04)	-0,71 (0,28)	-0,15 (0,64)	-0,65 (0,29)	0,97 (1,08)	0,99 (0,27)	0,98 (0,56)
LTE				0,93 (0,23)	0,97 (0,18)	0,97 (0,19)	0,96 (0,17)	0,45 (1,82)	0,61 (0,26)	0,61 (0,82)	-0,71 (0,21)	0,05 (0,73)	-0,61 (0,25)	0,85 (1,32)	0,99 (0,25)	0,82 (1,20)
VTD					0,94 (0,20)	0,99 (0,14)	0,99 (0,15)	0,60 (1,74)	0,63 (0,29)	0,82 (0,90)	-0,71 (0,29)	-0,10 (0,73)	-0,63 (0,32)	0,83 (0,08)	0,99 (0,33)	0,80 (1,04)
VTE						0,99 (0,15)	0,95 (0,14)	0,39 (0,98)	0,57 (0,31)	0,73 (1,09)	-0,66 (0,29)	0,01 (0,81)	-0,57 (0,59)	0,95 (1,24)	NC	0,49 (1,06)
VT							0,98 (0,14)	0,49 (0,90)	0,60 (0,30)	0,78 (1,01)	-0,69 (0,26)	-0,04 (1,43)	-0,61 (0,31)	0,99 (0,43)	NC	0,64 (1,74)
PE								0,91 (1,09)	0,58 (0,26)	0,82 (0,86)	-0,63 (0,23)	-0,12 (0,47)	-0,58 (0,23)	NC	0,99 (0,77)	0,99 (1,39)
MOT									0,83 (1,25)	0,99 (0,81)	-0,62 (1,10)	-0,80 (1,65)	-0,79 (0,91)	0,93 (4,55)	0,19 (3,36)	0,99 (0,02)
PNS										0,71 (1,03)	-0,95 (0,19)	-0,95 (1,00)	NC	0,72 (1,09)	0,26 (1,27)	0,99 (0,002)
TURB											-0,68 (1,18)	-0,77 (1,89)	-0,70 (2,90)	0,91 (1,57)	-0,84 (2,76)	NC
DMA												0,62 (1,39)	0,98 (0,29)	-0,68 (0,94)	-0,48 (1,45)	-0,99 (0,002)
DME													0,75 (2,33)	-0,90 (1,74)	0,52 (3,42)	-0,99 (0,24)
DT														-0,72 (1,0)	-0,25 (2,30)	-0,99 (0,002)
VIG															NC	0,98 (1,19)
CVS																-0,96 (1,08)

CTD: comprimento do testículo direito; CTE: comprimento do testículo esquerdo; LTD: largura do testículo direito; LTE: largura do testículo esquerdo; VTD: volume do testículo direito; VTE: volume testículo esquerdo; VT: volume testicular total; PE: perímetro escrotal; MOT: motilidade progressiva, PNS: porcentagem de espermatozoides normais; TURB: turbilhonamento; DMA: defeitos maiores; DME: defeitos menores; DT: defeitos totais; VIG: vigor espermático; CVS: comprimento da vesícula seminal; LVS: largura da vesícula seminal; NC: não convergiu.

