

COMPARAÇÃO DA ULTRASSONOGRAFIA TESTICULAR E DOPPLER DURANTE O DESENVOLVIMENTO SEXUAL DE TOUROS DA RAÇA CARACU E NELORE

Victor Guidi **Zardo**¹; Marcelo Sant'Ana **Borges**²; Marina de Oliveira **Silva**³, Leticia Padovani da **Silva**⁴, Laura Fernanda Sechirolli **Silva**⁵, Maria Eugênia Zerlotti **Mercadante**⁶, Fabio Morato **Monteiro**⁷

Nº 24712

RESUMO – O objetivo do estudo foi avaliar e comparar as características reprodutivas avaliadas por meio de ultrassonografia durante o desenvolvimento sexual de touros jovens das raças Caracu (*Bos taurus*) e Nelore (*Bos indicus*). Para isso, foram utilizados 41 touros Caracu e 44 touros Nelore, com idade inicial de $14 \pm 0,7$ meses e final $24 \pm 0,8$ meses de idade. Foram realizadas 6 avaliações com intervalo de 45 a 60 dias. Em cada avaliação foram realizados exames ultrassonográficos em modo B nos testículos, doppler colorido e espectral para avaliar anatomia e fluxo sanguíneo da região do cone vascular. Os touros da raça Caracu apresentaram maiores valores, quando comparado com touros Nelore, nas variáveis de diâmetro da artéria testicular ($0,27 \pm 0,002$ cm vs. $0,23 \pm 0,002$ cm, respectivamente; $P < ,0001$), velocidade do pico sistólico ($13,83 \pm 0,24$ m/s vs. $12,42 \pm 0,23$ m/s, respectivamente; $P < ,0001$) e velocidade do pico diastólico ($8,57 \pm 0,19$ m/s vs. $6,95 \pm 0,19$ m/s, respectivamente; $P < ,0001$). Por outro lado, os touros Nelore apresentaram maiores valores que touros Caracu para índice de resistência vascular ($0,46 \pm 0,03$ vs. $0,37 \pm 0,01$, respectivamente; $P < ,0001$) e índice de pulsatilidade ($0,70 \pm 0,02$ vs. $0,51 \pm 0,03$, respectivamente). O menor diâmetro arterial, possivelmente, resultou em menor velocidade de fluxo sanguíneo e prolonga o tempo para a troca de calor por contracorrente com as veias circundantes, eventos importantes para a termorregulação. Em conclusão, as diferenças anatômicas da artéria testicular, bem como do fluxo sanguíneo na região do cone vascular indicam melhor capacidade termorregulatória testicular em touros jovens da raça Nelore em relação aos animais da raça Caracu.

Palavras-chaves: Avaliação reprodutiva, avaliação ultrassonográfica, fluxo sanguíneo, precocidade sexual, parênquima testicular.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Medicina Veterinária, PUC Minas - Poços de Caldas - MG; victorguidi2009@hotmail.com

2 Colaborador, Bolsista Capes: Doutorado em Ciências Veterinárias, UNESP - FCAV, Jaboticabal-SP.

3 Colaborador, Bolsista Capes: Doutorado em Ciências Veterinárias, UNESP - FCAV, Jaboticabal-SP.

4 Colaborador, Bolsista Capes: Doutorado em Ciências Veterinárias, UNESP - FCAV, Jaboticabal-SP.

5 Colaborador, Bolsista Capes: Mestrado em Ciências Veterinárias, UNESP - FCAV, Jaboticabal-SP.

6 Colaborador, Pesquisadora: Instituto de Zootecnia – Centro Avançado de Pesquisa e Desenvolvimento de bovinos de corte, Sertãozinho-SP.

7 Orientador: Pesquisadora: Instituto de Zootecnia – Centro Avançado de Pesquisa e Desenvolvimento de bovinos de corte, Sertãozinho-SP. fabio.monteiro@sp.gov.br

ABSTRACT – *The aim of this study was to evaluate and compare the reproductive characteristics assessed by ultrasonography during the sexual development of young bulls of the Caracu (*Bos taurus*) and Nelore (*Bos indicus*) breeds. For this purpose, 41 Caracu and 44 Nelore bulls were used, with an initial age of 14 ± 0.7 months and a final age of 24 ± 0.8 months. Six evaluations were performed at intervals of 45–60 days. In each evaluation, B-mode ultrasound examinations were performed on the testicles, color, and spectral Doppler to evaluate the anatomy and blood flow in the vascular cone region. Caracu bulls presented higher values, when compared with Nelore bulls, in the variables of testicular artery diameter (0.27 ± 0.002 cm vs. 0.23 ± 0.002 cm, respectively; $P < .0001$), systolic peak velocity (13.83 ± 0.24 m/s vs. 12.42 ± 0.23 m/s, respectively; $P < .0001$) and diastolic peak velocity (8.57 ± 0.19 m/s vs. 6.95 ± 0.19 m/s, respectively; $P < .0001$). On the other hand, Nelore bulls presented higher values than Caracu bulls for vascular resistance index (0.46 ± 0.03 vs. 0.37 ± 0.01 , respectively; $P < .0001$) and pulsatility index (0.70 ± 0.02 vs. 0.51 ± 0.03 , respectively). The smaller arterial diameter possibly resulted in lower blood flow velocity and prolonged time for countercurrent heat exchange with the surrounding veins, which are important events for thermoregulation. In conclusion, the anatomical differences in the testicular artery, as well as blood flow in the vascular cone region, indicate better testicular thermoregulatory capacity in young Nelore bulls than in Caracu bulls.*

Keywords: Reproductive assessment, ultrasound assessment, blood flow, sexual precocity, testicular parenchyma.

1. INTRODUÇÃO

A ultrassonografia testicular é uma avaliação complementar ao exame andrológico, sendo uma técnica rápida e não invasiva que permite avaliar a integridade do parênquima e possíveis patologias testiculares (BARTH *et al.*, 2008; KASTELIC; BRITO, 2012). Na ultrassonografia o tecido testicular hígido se apresenta moderadamente ecogênico e de distribuição homogênea (KASTELIC; BRITO, 2012), entretanto, durante o desenvolvimento sexual de touros, ocorre aumento considerável da ecogenicidade e de maneira heterogênea, isso acontece devido ao aumento da celularidade relacionado ao início da produção espermática (ABDEL-RAZEK; ALI, 2005; BRITO *et al.*, 2012).

Novas técnicas ultrassonográficas foram desenvolvidas e podem auxiliar na avaliação da capacidade reprodutiva do touro. O modo doppler permite aferir o fluxo sanguíneo de determinadas regiões de interesse, possibilitando avaliar parâmetros relacionados com o aporte sanguíneo da região escrotal, o que pode ser uma ferramenta de análise objetiva da função testicular de touros (FERNANDES *et al.*, 2022; GLORIA *et al.*, 2018).

A avaliação do fluxo sanguíneo com o modo doppler se dá a partir de alguns parâmetros: velocidade do pico sistólico (VPS), velocidade diastólica final (VDF), índice de resistividade (IR) e índice de pulsatilidade (IP); sendo que o IR e IP são calculados a partir de equações utilizando as VPS e VDF (MIDDLETON; THORNE; MELSON, 1989; WOOD et al., 2010).

Esses parâmetros permitem a avaliação do fluxo sanguíneo em diversas espécies (CAMELA et al., 2017; FELICIANO; VICENTE; SILVA, 2012; GINTHER, 2014; PINGGERA et al., 2008). Em estudos voltados a reprodução de touros bovinos essa técnica tem sido utilizada para análise vascular do cordão espermático, avaliar a capacidade de perfusão do tecido testicular e os reflexos da vascularização sobre a produção e qualidade espermática (FERNANDES et al., 2022; GLORIA et al., 2018).

Estudos observaram distinções em relação aos parâmetros vasculares ultrassonográficos do trato reprodutivos entre touros de diferentes raças bovinas, principalmente devido a diferenças na conformação anatômica entre *Bos indicus* e *Bos taurus*, sendo que, animais *Bos indicus* possuem maior comprimento da artéria testicular e, conseqüentemente, maior quantidade de enovelamento (JUNIOR et al., 2018; RODRIGUES et al., 2020; VIANA; BORELLI, 1991).

Os índices vasculares foram associados a variações sazonais, regulando a nutrição sanguínea do tecido testicular (STRINA et al., 2016), e são considerados bons indicativos para a termorregulação testicular, pois estão relacionados à vasoconstrição e vasodilatação da artéria supratesticular dependendo do período do ano (LLAMAS-LUCEÑO et al., 2020).

Diante disso, justifica-se o estudo com o objetivo de comparar a ultrassonografia testicular e a ultrassonografia Doppler do plexo pampiniforme entre as raças Nelore e Caracu. A raça zebuína, como é sabidamente adaptada ao clima tropical, e o exemplar taurino, que pode ser considerado resistente a esse clima, servem de base para essa comparação. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar os parâmetros ultrassonográficos testiculares e da região do cone vascular durante o desenvolvimento sexual de touros das raças Caracu e Nelore.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto experimental foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) do Instituto de Zootecnia do Estado de São Paulo, que está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal adotados pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) (Protocolo nº 343-2022).

2.1. Animais

Foram utilizados um total de 85 touros, sendo que 41 eram da raça Caracu (*Bos taurus*) e 44 da raça Nelore (*Bos indicus*) pertencentes aos rebanhos do Centro Avançado de Pesquisa de Bovinos de Corte-Instituto de Zootecnia, Sertãozinho-SP. No início das avaliações os animais da

raça Caracu tinham em média de $14,1 \pm 0,7$ meses e peso inicial 392 ± 37 kg, já os animais da raça Nelore iniciaram com idade média de $13,9 \pm 0,7$ meses e peso inicial de 388 ± 35 kg. O intervalo entre as avaliações foi de 45 a 60 dias, totalizando 6 avaliações.

Durante o período experimental, os animais foram mantidos em piquetes coletivos com pastagem de capim braquiária (*Brachiaria brizantha*) com livre acesso à água e sal proteinado.

2.2. Ultrassonografia testicular

As ultrassonografias testiculares foram realizadas com o auxílio do aparelho de ultrassom modelo Z5 Vet (Mindray, Shenzhen, China) acoplado ao transdutor linear de 7,5Mhz, realizando duas varreduras por testículo, uma em plano longitudinal e outra em plano transversal. As imagens foram salvas em formato bitmap e analisadas pelo software Image Pro Plus (Media Cybernetics Inc., San Diego, CA, USA), com valores numéricos de cinza de 0 (preto absoluto) e 255 (branco absoluto) (GIFFIN et al., 2009). Nas análises das imagens pelo software, realizaram 6 círculos do mesmo tamanho nas imagens longitudinais, onde 3 ficaram acima e 3 abaixo do mediastino e 4 círculos iguais nas imagens transversais, onde 2 dos círculos ficaram posicionados nas diagonais superiores e 2 nas diagonais inferiores do mediastino. A Ecogenicidade foi obtida a partir da avaliação da intensidade de pixels dos círculos realizados e a Heterogeneidade pela média do desvio padrão dos valores de intensidade de pixels nos círculos.

2.3. Ultrassonografia doppler

Foram realizadas avaliações com Doppler colorido na região do cone vascular de ambos os lados (direito e esquerdo) para analisar o diâmetro das artérias testiculares. Para isso foi utilizada a função caliper do aparelho ultrassonográfico e mensurado a distância entre as bordas do vaso.

Para avaliação do fluxo sanguíneo, o indicador foi posicionado no centro da luz do vaso de forma com que cobrisse 2/3 do seu diâmetro, em um ângulo de insonação $<60^\circ$, de acordo com metodologia de Rodrigues et al., 2020. A função do doppler Espectral foi utilizada para analisar os índices vasculares em no mínimo 3 ondas, observando os parâmetros de velocidade do pico sistólico (PS), velocidade diastólica final (ED), assim como os índices de resistência vascular e de pulsatilidade (FELICIANO; VICENTE; SILVA, 2012; WOOD et al., 2010).

2.4. Análise estatística

Para a análise estatística, a média dos testículos e artérias testiculares de ambos os lados foi utilizada. Os resultados foram submetidos à análise de variância considerando medidas repetidas com auxílio do programa “Statistical Analysis System” (SAS®, 9.4 version), foi utilizado o procedimento GLIMMIX. Foi ajustado o seguinte modelo estatístico: $y = \mu + \text{idade} + \text{avaliação} + \text{raça} + \text{avaliação} \times \text{raça} + \varepsilon$, em que, y: variável resposta; μ : média geral; idade: dias de idade do indivíduo na avaliação; avaliação: efeito das avaliações nos parâmetros ($i = 1, \dots, 6$); raça: raça do animal (Caracu e Nelore). As médias foram ajustadas pelo método dos quadrados mínimos (“LSMEANS”) e

foram comparadas, quando necessário, por meio da probabilidade da 216 diferença (“PDIFF”). A significância estatística foi declarada quando $P < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observada diferença entre as raças para o diâmetro da artéria testicular ($P < 0,0001$) sendo que touros jovens Caracu apresentaram maiores valores em todas as avaliações em relação aos touros jovens Nelore (tabela 1). O diâmetro da artéria reflete diretamente no volume sanguíneo que percorre o vaso sanguíneo, isso pode causar efeitos na perfusão vascular nos tecidos alvos das ramificações dessa artéria, ocasionando alterações na nutrição nesses tecidos (LANGILLE; O’DONNELL, 1986). O tecido testicular opera com leve condição de hipóxia e baixa pressão arterial, essa condição é fisiológica e necessária para uma melhor espermatogênese (KASTELIC; RIZZOTO; THUNDATHIL, 2018). Também foi observado aumento progressivo do diâmetro da artéria testicular dentro das raças ao longo das avaliações ($P < 0,05$; tabela 2), demonstrando o desenvolvimento corporal dos animais ao longo do tempo.

Tabela 1. Velocidade do pico sistólico (PS), velocidade diastólica final (ED), índice de resistência vascular (IR) e índice de pulsatilidade (IP). Letras maiúsculas sobrescritas representam diferença significativa entre as raças ($P < 0,05$).

| Variáveis | Caracu | Nelore | P - Valor |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------|
| Diâmetro | $0,27 \pm 0,002^A$ | $0,23 \pm 0,002^B$ | $< .0001$ |
| PS | $13,83 \pm 0,24^A$ | $12,42 \pm 0,23^B$ | $< .0001$ |
| ED | $8,57 \pm 0,19^A$ | $6,95 \pm 0,19^B$ | $< .0001$ |
| PI | $0,51 \pm 0,03^B$ | $0,70 \pm 0,026^A$ | $< .0001$ |
| RI | $0,37 \pm 0,01^B$ | $0,46 \pm 0,01^A$ | $< .0001$ |
| Ecogenicidade | $64,80 \pm 1,66^B$ | $75,53 \pm 1,24^A$ | $< .0001$ |
| Heterogeneidade | $10,44 \pm 0,20^B$ | $11,52 \pm 0,15^A$ | $< .0001$ |

Brito et al. (2004) trabalhando com touros taurinos e zebuínos observaram aumento do cone vascular ao longo do desenvolvimento dos animais, também observaram que touros sexualmente tardios apresentaram menor diâmetro do cone vascular durante o desenvolvimento sexual quando comparados com animais mais precoces.

Para uma produção espermática adequada, a temperatura testicular deve ser de 2°C a 6°C abaixo da temperatura corpórea dos touros, sendo que elevadas temperaturas interferem na espermatogênese. A temperatura testicular é controlada por diversos fatores, incluindo o fluxo sanguíneo no plexo pampiniforme, onde a artéria testicular é envolvida por veias, apresentando o

mecanismo de troca de calor por contra contracorrente. Esse mecanismo influencia o resfriamento das gônadas e na diminuição da pressão do sangue arterial (KASTELIC, 2014).

Ao avaliar as variáveis PS e ED, foram observadas diferenças entre as raças, com a raça Caracu apresentando médias superiores em relação a raça Nelore (tabela 1). Por outro lado, as variáveis IP e IR apresentaram médias superiores nos touros Nelore em comparação aos touros Caracu. Esses resultados são consistentes com as diferenças observadas no diâmetro da artéria testicular. Uma vez que os touros Caracu, o maior diâmetro proporcionou menor resistência vascular e maior velocidade do fluxo sanguíneo. Entretanto, o menor diâmetro da artéria testicular dos touros Nelore pode estar associado a maior resistência vascular e, conseqüentemente, menor velocidade do fluxo sanguíneo. Essa combinação pode influenciar a capacidade termorregulatória dos animais zebuínos, já que um menor fluxo sanguíneo resulta em um tempo mais prolongado para a troca de calor com as veias circundantes à artéria.

Tabela 2. Velocidade do pico sistólico (PS), velocidade diastólica final (ED), índice de resistência vascular (IR) e índice de pulsatilidade (IP). Letras maiúsculas sobrescritas representam diferença significativa entre as raças. Letras minúsculas sobrescritas representam diferença significativa do rebanho entre as idades ($P < 0,05$).

| | Idade (meses) | | | | | |
|------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| Caracu | | | | | | |
| Diâmetro | 0,25 ± 0,004 ^{Ab} | 0,25 ± 0,006 ^{Ab} | 0,26 ± 0,004 ^{Ab} | 0,25 ± 0,005 ^{Ab} | 0,31 ± 0,005 ^{Aa} | 0,30 ± 0,008 ^{Aa} |
| PS | 12,57 ± 0,29 ^{Ad} | 13,20 ± 0,47 ^{AcD} | 13,85 ± 0,37 ^{Ab} | 13,56 ± 0,40 ^{Abc} | 14,66 ± 0,40 ^{ab} | 15,13 ± 0,54 ^{Aa} |
| ED | 7,32 ± 0,29 ^{Ac} | 7,54 ± 0,42 ^{Abc} | 8,37 ± 0,32 ^{Aab} | 9,09 ± 0,37 ^{Aa} | 9,56 ± 0,38 ^{Aa} | 9,56 ± 0,61 ^{Aa} |
| PI | 0,61 ± 0,05 ^{Ba} | 0,60 ± 0,04 ^{Ba} | 0,52 ± 0,03 ^{Bab} | 0,40 ± 0,04 ^{Bc} | 0,47 ± 0,04 ^{Bbc} | 0,44 ± 0,06 ^{Bbc} |
| RI | 0,41 ± 0,02 ^{Ba} | 0,43 ± 0,02 ^{Ba} | 0,39 ± 0,02 ^{Bab} | 0,32 ± 0,02 ^{Bc} | 0,35 ± 0,03 ^{Bbc} | 0,33 ± 0,04 ^{Bbc} |
| Ecogenicidade | 61,39 ± 1,96 | 73,89 ± 2,00 | 71,93 ± 2,09 | 58,50 ± 2,18 | 58,00 ± 2,27 | 65,05 ± 3,71 |
| Heterogeneidade | 9,85 ± 0,26 | 11,77 ± 0,27 | 11,23 ± 0,29 | 10,12 ± 0,30 | 9,48 ± 0,32 | 10,19 ± 0,56 |
| Nelore | | | | | | |
| Diâmetro | 0,21 ± 0,004 ^{Bc} | 0,22 ± 0,005 ^{Bc} | 0,23 ± 0,005 ^{Bbc} | 0,23 ± 0,005 ^{Bb} | 0,25 ± 0,005 ^{Ba} | 0,26 ± 0,009 ^{Ba} |
| PS | 9,39 ± 0,28 ^{Bd} | 11,33 ± 0,37 ^{Bc} | 12,06 ± 0,36 ^{Bbc} | 12,24 ± 0,40 ^{Bb} | 14,79 ± 0,39 ^a | 14,72 ± 0,59 ^{Ba} |
| ED | 4,49 ± 0,27 ^{Bc} | 6,10 ± 6,10 ^{Bb} | 6,51 ± 0,32 ^{Bb} | 6,89 ± 0,37 ^{Bb} | 8,29 ± 0,38 ^{Ba} | 9,40 ± 0,69 ^{Ba} |
| PI | 0,94 ± 0,05 ^{Aa} | 0,71 ± 0,03 ^{Ab} | 0,70 ± 0,03 ^{Ab} | 0,72 ± 0,04 ^{Ab} | 0,63 ± 0,04 ^{Ab} | 0,47 ± 0,07 ^{Ac} |
| RI | 0,54 ± 0,02 ^{Aa} | 0,47 ± 0,02 ^{Ab} | 0,47 ± 0,02 ^{Ab} | 0,46 ± 0,02 ^{Ab} | 0,45 ± 0,02 ^{Ab} | 0,37 ± 0,05 ^{Ab} |

| | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ecogenicidade | 72,64 ± 1,43 | 84,04 ± 1,40 | 82,98 ± 1,50 | 72,75 ± 1,60 | 68,44 ± 1,69 | 72,32 ± 3,34 |
| Heterogeneidade | 11,68 ± 0,19 | 12,43 ± 0,19 | 12,27 ± 0,21 | 10,94 ± 0,22 | 10,50 ± 0,24 | 11,33 ± 0,51 |

Para os resultados de ecogenicidade e heterogeneidade, foram observadas diferenças entre as raças, sendo que os touros Caracu apresentaram menores valores quando comparados com touros Nelore. Brito et al. (2002, 2004) e Freneau et al. (2006) observaram que há diferença no desenvolvimento sexual entre touros *Bos taurus* e *Bos indicus*, sendo que os touros *Bos indicus* entram na puberdade com média de 15 meses, já *Bos taurus* com 13 meses de idade. Essa diferença entre as raças pode indicar variações na maturidade sexual. O aumento da ecogenicidade e ecotextura até o período da puberdade pode estar relacionado ao crescimento do diâmetro dos túbulos seminíferos, alterações nas células de Sertoli e aumento das atividades celulares. Após a puberdade, esses parâmetros podem diminuir em animais sexualmente maduros, provavelmente, devido ao aumento de fluídos testiculares (EVANS *et al.*, 1996). Assim, as imagens ultrassonográficas analisadas para definir os padrões de ecogenicidade e ecotextura do parênquima testicular, auxiliam no acompanhamento do desenvolvimento sexual dos touros (BRITO *et al.*, 2012; CHANDOLIA *et al.*, 1997; EVANS *et al.*, 1996).

4. CONCLUSÃO

Os dados apresentados no presente estudo sugerem diferenças anatômicas na artéria testicular e variações nas características do fluxo sanguíneo na porção do cone vascular entre touros das raças Caracu e Nelore. Essas características estão relacionadas aos mecanismos de termorregulação, indicando melhor capacidade de termorregulação nos touros Nelore em comparação aos animais Caracu.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

6. REFERÊNCIAS

ABDEL-RAZEK, A. K.; ALI, A. Developmental changes of bull (*Bos taurus*) genitalia as evaluated by caliper and ultrasonography. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 40, n. 1, p. 23–27, 2005.

BARTH, A. D.; ALISIO, L.; AVILÉS, M.; ARTEAGA, A. A.; CAMPBELL, J. R.; HENDRICK, S. H. Fibrotic lesions in the testis of bulls and relationship to semen quality. **Animal Reproduction Science**, v. 106, n. 3–4, p. 274–288, 2008.

BRITO, L. F. C.; BARTH, A. D.; WILDE, R. E.; KASTELIC, J. P. Testicular ultrasonogram pixel intensity during sexual development and its relationship with semen quality, sperm production, and quantitative testicular histology in beef bulls. **Theriogenology**, v. 78, n. 1, p. 69–76, 2012.

BRITO, L. F. C.; SILVA, A. E. D. F.; BARBOSA, R. T.; KASTELIC, J. P. Testicular thermoregulation in *Bos indicus*, crossbred and *Bos taurus* bulls: Relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. **Theriogenology**, v. 61, n. 2–3, p. 511–528, 2004.

BRITO, L. F. C.; SILVA, A. E. D. F.; RODRIGUES, L. H.; VIEIRA, F. V.; DERAGON, L. A. G.; KASTELIC, J. P. Effect of age and genetic group on characteristics of the scrotum, testes and testicular vascular cones, and on sperm production and semen quality in AI bulls in Brazil. **Theriogenology**, v. 58, n. 6, p. 1175–1186, 2002.

CAMELA, E. S. C.; NOCITI, R. P.; SANTOS, V. J. C.; MACENTE, B. I.; MACIEL, G. S.; FELICIANO, M. A. R.; VICENTE, W. R. R.; GILL, I.; BARTLEWSKI, P. M.; OLIVEIRA, M. E. F. Ultrasonographic characteristics of accessory sex glands and spectral Doppler indices of the internal iliac arteries in peri- and post-pubertal Dorper rams raised in a subtropical climate. **Animal Reproduction Science**, v. 184, p. 29–35, 2017.

CHANDOLIA, R. K.; HONARAMOOZ, A.; OMEKE, B. C.; PIERSON, R.; BEARD, A. P.; RAWLINGS, N. C. Assessment of development of the testes and accessory glands by ultrasonography in bull calves and associated endocrine changes. **Theriogenology**, v. 48, n. 1, p. 119–132, 1997.

EVANS, A. C. O.; PIERSON, R. A.; GARCIA, A.; MCDUGALL, L. M.; HRUDKA, F.; RAWLINGS, N. C. Changes in circulating hormone concentrations, testes histology and testes ultrasonography during sexual maturation in beef bulls. **Theriogenology**, v. 46, n. 2, p. 345–357, 1996.

FELICIANO, M. A. R.; VICENTE, W. R. R.; SILVA, M. A. M. Conventional and Doppler ultrasound for the differentiation of benign and malignant canine mammary tumours. **Journal of Small Animal Practice**, v. 53, n. 6, p. 332–337, 2012.

FERNANDES, L. G.; BORGES, M. S. A.; DE OLIVEIRA SILVA, M.; RODRIGUES, N. N.; VICENTINI, R. R.; CRESPILO, A. M.; MERCADANTE, M. E. Z.; MONTEIRO, F. M. Use of auxiliary techniques for assessing the reproductive capacity of natural service Nelore bulls. **Animal Reproduction Science**, v. 247, 2022.

FRENEAU, G. E.; FILHO, V. R. V.; MARQUES, A. P.; MARIA, W. S. Puberdade em touros Nelore criados em pasto no Brasil: características corporais, testiculares e seminais e de índice de capacidade andrológica por pontos [Puberty in Nelore bulls raised at pasture in Brazil: body, testicular and seminal characteristics and breeding soundness evaluation]. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 58, n. 6, p. 1107–1115, 2006.

GIFFIN, J. L.; FRANKS, S. E.; RODRIGUEZ-SOSA, J. R.; HAHNEL, A.; BARTLEWSKI, P. M. A Study of Morphological and Haemodynamic Determinants of Testicular Echotexture Characteristics in the Ram. **Experimental Biology and Medicine**, v. 234, n. 7, p. 794–801, 2009.

GINTHER, O. J. How ultrasound technologies have expanded and revolutionized research in reproduction in large animals. **Theriogenology**, v. 81, n. 1, p. 112–125, 2014.

GLORIA, A.; CARLUCCIO, A.; WEGHER, L.; ROBBE, D.; VALORZ, C.; CONTRI, A. Pulse wave Doppler ultrasound of testicular arteries and their relationship with semen characteristics in healthy bulls. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 9, n. 1, p. 1–7, 2018.

JUNIOR, F. A. B.; JUNIOR, C. K.; FÁVARO, P. da C.; PEREIRA, G. R.; MOROTTI, F.; MENEGASSI, S. R. O.; BARCELLOS, J. O. J.; SENEDA, M. M. Effect of breed on testicular blood flow dynamics in bulls. **Theriogenology**, v. 118, p. 16–21, 15 set. 2018.

KASTELIC, J. P. Understanding and evaluating bovine testes. **Theriogenology**, v. 81, n. 1, p. 18–23, 2014.

KASTELIC, J. P.; BRITO, L. F. C. Ultrasonography for Monitoring Reproductive Function in the Bull. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 47, n. SUPPL.3, p. 45–51, 2012.



KASTELIC, J. P.; RIZZOTO, G.; THUNDATHIL, J. Review: Testicular vascular cone development and its association with scrotal thermoregulation, semen quality and sperm production in bulls. **Animal**, v. 12, n. s1, p. s133–s141, 2018.

LANGILLE, B. L.; O'DONNELL, F. Reductions in Arterial Diameter Produced by Chronic Decreases in Blood Flow Are Endothelium-Dependent. **Science**, v. 231, n. 4736, p. 405–407, 1986.

LLAMAS-LUCEÑO, N.; HOSTENS, M.; MULLAART, E.; BROEKHUIJSE, M.; LONERGAN, P.; VAN SOOM, A. High temperature-humidity index compromises sperm quality and fertility of Holstein bulls in temperate climates. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 10, p. 9502–9514, 2020.

MIDDLETON, W. D.; THORNE, D. A.; MELSON, G. L. Color Doppler ultrasound of the normal testis. **American Journal of Roentgenology**, v. 152, n. 2, p. 293–297, 1989.

PINGGERA, G.; MITTERBERGER, M.; BARTSCH, G.; STRASSER, H.; GRADL, J.; AIGNER, F.; PALLWEIN, L.; FRAUSCHER, F. Assessment of the intratesticular resistive index by colour Doppler ultrasonography measurements as a predictor of spermatogenesis. **BJU International**, v. 101, n. 6, p. 722–726, 2008.

RODRIGUES, N. N.; ROSSI, G. F.; VRISMAN, D. P.; TAIRA, A. R.; SOUZA, L. L.; ZORZETTO, M. F.; BASTOS, N. M.; DE PAZ, C. C. P.; DE LIMA, V. F. M. H.; MONTEIRO, F. M.; FRANCO OLIVEIRA, M. E. Ultrasonographic characteristics of the testes, epididymis and accessory sex glands and arterial spectral indices in peri- and post-pubertal Nelore and Caracu bulls. **Animal Reproduction Science**, v. 212, 2020.

STRINA, A.; CORDA, A.; NIEDDU, S.; SOLINAS, G.; LILLIU, M.; ZEDDA, M. T.; PAU, S.; LEDDA, S. Annual variations in resistive index (RI) of testicular artery, volume measurements and testosterone levels in bucks. **Comparative Clinical Pathology**, v. 25, n. 2, p. 409–413, 2016.

VIANA, W. G.; BORELLI, V. Contribuição ao estudo do funículo espermático em bovinos da raça nelore. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci**, v. 28, n. 1, p. 11–17, 1991.

WOOD, M. M.; ROMINE, L. E.; LEE, Y. K.; RICHMAN, K. M.; O'BOYLE, M. K.; PAZ, D. A.; CHU, P. K.; PRETORIUS, D. H. Spectral Doppler Signature Waveforms in Ultrasonography: A Review of Normal and Abnormal Waveforms. **Ultrasound Quarterly**, v. 26, n. 2, p. 83–99, 2010.