

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

ESTUDO DAS ARTÉRIAS DIGITAIS PALMARES E PLANTARES DE
EQUINOS E MUARES POR ULTRASSONOGRAFIA MODO-B, DOPPLER E
HISTOGRAMA EM ESCALA DE CINZA

JÉSSICA LEITE FOGAÇA

Botucatu – SP

Junho - 2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

JÉSSICA LEITE FOGAÇA

ESTUDO DAS ARTÉRIAS DIGITAIS PALMARES E PLANTARES DE
EQUINOS E MUARES POR ULTRASSONOGRAFIA MODO-B, DOPPLER E
HISTOGRAMA EM ESCALA DE CINZA

Tese de doutorado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Biotecnologia Animal da Faculdade de
Medicina Veterinária e Zootecnia, da
Universidade Estadual Paulista,
Campus de Botucatu, para obtenção do
Título de Doutor.

Orientador: Profa. Dra. Vânia Maria de Vasconcelos Machado

Botucatu – SP
Junho- 2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Fogaça, Jéssica Leite.

Estudo das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares por ultrassonografia modo-B, Doppler espectral e histograma em escala de cinza / Jéssica Leite Fogaça. - Botucatu, 2021

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Orientador: Vânia Maria de Vasconcelos Machado
Capes: 50501038

1. Equídeo. 2. Muares. 3. Diagnóstico por imagem.
4. Vascularização. 5. Ultrassonografia Doppler.

Palavras-chave: Diagnóstico por imagem; Equídeos; Vascularização.

JÉSSICA LEITE FOGAÇA

ESTUDO DAS ARTÉRIAS DIGITAIS PALMARES E PLANTARES DE EQUINOS E MUARES POR ULTRASSONOGRRAFIA MODO-B, DOPPLER E HISTOGRAMA EM ESCALA DE CINZA

Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, para obtenção do título de doutora em Biotecnologia animal.

Orientador: Profa. Dra. Vânia Maria Vasconcelos Machado

(Titulares)

Profa. Dra. Vânia Maria Vasconcelos Machado
Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal.
FMVZ – UNESP – Botucatu

Profa. Dra. Eunice Oba
Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal.
FMVZ – UNESP – Botucatu

Prof. Dr. José Nicolau Próspero Puoli Filho
Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva
FMVZ – UNESP – Botucatu

Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Departamento de Dermatologia e Radioterapia
FMB/Unesp – Botucatu

Prof. Dra. Ariane Dantas
Etec Dona Sebastiana de Barros – São Manuel

Botucatu, 18 de junho de 2021

Comissão examinadora (Suplentes)

Prof. Dr. Simone Biagio Chiacchio
Departamento de Clínica Veterinária
FMVZ/Unesp – Botucatu

Profa. Dra. Camila Contin Diniz de A. Francia
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional
IBB/Unesp - Botucatu

Profa. Dra. Luciana Carandina da Silva Almeida
Centro Universitário Sudoeste Paulista – Campus
Avaré – SP.

Botucatu, 18 de junho de 2021

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha mãe Zélia
Leite Fogaça (In memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou e deu forças na busca dos meus sonhos e em segundo lugar, a minha mãe Zélia Leite Fogaça (In memoriam), que deixou seus ensinamentos e exemplos para nunca desistir de buscar os sonhos.

Agradeço a minha família, especialmente o meu marido Michel de Campos Vettorato, que me ajudou em todos os momentos de preocupação e acima de tudo pelo carinho, compreensão.

Agradeço aos meus amigos da FMVZ/Unesp de Botucatu, por todo carinho e apoio durante o meu doutorado. Agradeço especialmente os meus amigos que colaboram com o desenvolvimento deste projeto: Maria Cristina Reis Castiglioni, Michel de Campos Vettorato, Renan Rodrigues Modesto e Gabriel Barbosa.

Agradeço especialmente a Professora Doutora Vânia Maria Vasconcelos Machado, por me orientar em cada passo desse trabalho, pela dedicação, paciência e todo esforço.

Agradeço aos Professores Doutores José Nicolau Próspero Puoli Filho e André Luis Filadelpho, por terem colaborado para a realização deste trabalho e por toda confiança na minha vida acadêmica.

Agradeço ao Professor Doutor Marco Antônio Rodrigues Fernandes, pelo o apoio na realização do meu doutorado e por incentivar a seguir em frente deste a época da Graduação.

Agradeço imensamente a participação do professor Rogério Antônio de Oliveira por ter disponibilizado do seu valioso tempo para o desenvolvimento da análise estatística do manuscrito 4 (considerado o manuscrito principal da tese, onde contém todas as análises estatísticas complementares), e por toda paciência e dedicação.

Agradeço a Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu (FMVZ - Botucatu), por toda influência na minha vida acadêmica e futura vida profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, meus sinceros agradecimentos.

Sumário

	Página
LISTA DE ABREVIACÕES.....	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
Capítulo 1	
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos gerais	5
1.2 Objetivos específicos	6
1.3 Justificativa	6
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Rebanho Equídeo	9
2.2. Anatomia dos membros torácicos e pélvicos	10
2.2.1 Osteologia	10
2.2.2 Tecido tegumentar (estojo córneo)	13
2.2.3 Vascularização arterial	14
2.3 Enfermidades do fluxo sanguíneo nos membros torácicos e pélvicos	17
2.4 Princípios físicos da ultrassonografia Modo-B e Doppler Espectral... ..	18
2.5 Avaliação das artérias digitais por ultrassonografia Modo-B e Doppler Espectral	22
2.6 Histograma em escala de cinza	24
REFERÊNCIAS	28
Capítulo 2	
Artigo Científico 1	38
Abstract.....	39
1. Introduction	40
2. Materials And Methods	41
2.1 Sample population.....	41
2.2 Images acquisition.....	42
2.3 Statistical analysis	43
3. Results.....	43
4. Discussion.....	57
5. Conclusion	60
References.....	61
Capítulo 3	
Artigo Científico 2	68
Resumo	69
Abstract.....	69
Introdução	70
Materiais e métodos.....	71
Resultados	73
Discussão	78
Conclusão	79
Referências.....	80

Capítulo 4

Artigo Científico 3	84
Abstract.....	85
Introduction	86
Materials and methods.....	87
Results.....	88
Discussion	94
Conclusion	97
References.....	98

Capítulo 5

Artigo Científico 4	110
Resumo	110
Abstract.....	111
Introdução	111
Materiais e métodos.....	112
Resultados	113
Discussão	114
Conclusão	115
Referências.....	116

LISTA DE ABREVIações

Modo-B	Modo Bidimensional ou Convencional
EIM	Espessura da Túnica-Íntima e Média
IR	índice de Resistividade
IP	Índice de Pulsatilidade
VS	Velocidade Sistólica
VD	Velocidade Diastólica
VM	Velocidade Média
HEC	Histograma em Escala de Cinza
FP	Falange Proximal
FM	Falange Média
FD	Falange Distal
SD	Sesamóide Distal
CC	Cartilagem Colateral
TFDP	Tendão Flexor Digital Profundo
m/s	Metros por Segundos
Color	Colorido
ROI	Área de Interesse
Mean	Média
StdDev	Desvio Padrão
Kg	Quilogramas
MHz	Megahertz
MTD	Membro Torácico Direito
MTE	Membro Torácico Esquerdo
MPE	Membro Pélvico Esquerdo
MPD	Membro Pélvico Direito
DAP	Doença Arterial Periférica

LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo 1	
Figura 1	Vista dorsal à esquerda e vista palmar à direita. Falange proximal (FP), falange média (FM), falange distal (FD) e sesamóide distal (SD) e cartilagem colateral (CC) 12
Figura 2	Osteologia do membro torácico à esquerda (escápula (A), articulação escapuloumeral (B), úmero (C), articulação úmero-rádio-ulnar (D), rádio e ulna (E), carpo (F), metacarpo (G), falanges (H). Osteologia do membro pélvico à direita (pelve (A), articulação coxofemoral (B), fêmur (C), patela (D), articulação fêmuro-tíbio-patelar (E), tíbia (F), tarso (G), metatarso (H), falanges (I)..... 13
Figura 3	Corte transversal do casco do equino 14
Figura 4	Irrigação sanguínea (arterial) do membro torácico de um equino. .. 15
Figura 5	Irrigação sanguínea (arterial) do membro pélvico de um equino..... 16
Figura 6	Ilustração de ondas emitidas e recebidas (ecos) pelo transdutor do equipamento de ultrassom. O rim (estacionário) reflete a onda com a mesma frequência que a emitida, Modo-B (A). Objeto (hemácias) em movimento em direção ao transdutor - onda refletida com maior frequência que a emitida, efeito Doppler (B). Objeto (hemácias) em direção contrária ao transdutor – onda com menor frequência que a emitida, efeito Doppler (C)..... 19
Figura 7	Imagem Doppler espectral. Nota-se o traçado acima da linha da base, ou seja, fluxo em direção ao transdutor (A). Traçado abaixo da linha da base, ou seja, fluxo distanciando do transdutor (B)..... 21
Figura 8	Equações realizadas para calcular os índices de resistividade (IR) e pulsatilidade (IP)..... 22
Figura 9	HEC realizado na parede superior (superficial) da artéria carótida de uma fêmea equina..... 26
Capítulo 2	
Figure 1	Position of the transducer to obtain images in the planes: transverse (A - horse) and longitudinal (C - mule). B-mode ultrasound image of the digital artery in the planes: transverse (B) and longitudinal (D).....65
Figure 2	Position of the transducer in the longitudinal plane to perform spectral Doppler ultrasonography (A - horse). Post-processing of images with the contour of the waves to obtain the values of RI and PI (B), and pSV, fDV and MV (C)..... 66

Capítulo 3

Figura 1	HEC da parede superficial da artéria digital (A) e da parede profunda (B).....	72
----------	--	----

Capítulo 4

Figure 1	B-mode and spectral Doppler ultrasound in the digital artery.	108
----------	--	-----

Capítulo 5

Figura 1	(A) Mensurações do metacarpo, (B) boleto, (C) quartela, (D) comprimento do carpo acessório ao solo e (E) olecrano ao solo e (F) circunferência do casco.....	119
----------	--	-----

Figura 2	(A) Mensurações do metatarso, (B) boleto, (C) quartela, (D) comprimento do calcâneo ao solo e (E) circunferência do casco.....	119
----------	--	-----

Figura 3	(A) Posicionamento do transdutor para a realização do exame da artéria digital plantar medial. (B) Ultrassonografia Modo-B no plano transversal e (C) longitudinal. (D e E) Ultrassonografia Doppler espectral.....	120
----------	---	-----

Figura 4	Imagem Modo-B plano longitudinal da artéria digital palmar lateral de um equino. Nota-se o total de pixels selecionados (<i>Count</i>), o qual nesse estudo variou de 300 a 500 na EIM (A) superficial e (B) profunda. Nota-se a média da intensidade de brilho (<i>Mean</i>) dos pixels selecionados, onde zero (0) representa uma tonalidade totalmente escura (hipoecóico/hipoecogênico), e 255 uma tonalidade totalmente brilhante (hiperecóico/hiperecogênico) e o grau de variação da intensidade de brilho (<i>StdDev</i>), onde mais próximo de zero (0), mais homogêneo, e quanto maior seu valor, mais heterogêneo. Observa-se o valor mais brilhante (<i>Max</i>) e o valor mais escuro (<i>Min</i>) que apareceram na amostra. Nota-se também o valor de intensidade de brilho mais frequente na amostra (<i>Mode</i>), seguido da quantidade de pixels a representa na imagem (valor em parêntese).....	120
----------	--	-----

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2	Página
Tabela 1	Mean, median, standard deviation, Q1, Q3 and confidence interval of the variables in B-Mode ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the thoracic limbs, for comparison between horses and mules..... 44
Tabela 2	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the variables in B-Mode ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the pelvic limbs, for comparison between horses and mules. 45
Tabela 3	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the variables of spectral Doppler ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the thoracic limbs, for comparison between horses and mules..... 46
Tabela 4	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the variables of the spectral Doppler ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the pelvic limbs, for comparison between horses and mules..... 47
Tabela 5	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs. 48
Tabela 6	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs. 49
Tabela 7	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs..... 51
Tabela 8	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs..... 52
Tabela 9	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs. 53
Tabela 10	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between right and left side of pelvic and

	thoracic limbs.	54
Tabela 11	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between right and left side of pelvic and thoracic limbs.	55
Tabela 12	Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between right and left side of pelvic and thoracic limbs.	56
Capítulo 3		
Tabela 1	Média, mediana, desvio padrão, Q1 e Q3 das variáveis do HEC (Mean e StdDev) nas paredes (EIM superficial e profunda) das artérias digitais palmares, seguido da comparação entre equinos e muares.	74
Tabela 2	Média, mediana, desvio padrão, Q1 e Q3 das variáveis do HEC (Mean e StdDev), seguido para comparação entre a parede profunda com a superficial dos membros torácicos dos equinos e muares.	76
Tabela 3	Média, mediana, desvio padrão, Q1 e Q3 das variáveis do HEC (Mean e StdDev), seguido da comparação entre a parede profunda com a superficial dos membros pélvicos dos equinos e muares.	77
Capítulo 4		
Table 1	Sperman correlation test between B-mode variables (longitudinal diameter, transverse diameter, longitudinal wall and transverse wall) of the thoracic and pelvic limbs with age and body weight of the horses.	104
Table 2	Sperman correlation test between B-mode variables (longitudinal diameter, transverse diameter, longitudinal wall and transverse wall) of the thoracic and pelvic limbs with age and body weight of the mules.	105
Table 3	Sperman correlation test between the spectral Doppler ultrasound variables of the palmar and plantar digital arteries (RI, PI, pSV, fDV and MV), with age and body weight in the limbs of horses.	106
Table 4	Spearman correlation test between the variables of Doppler ultrasonography (RI, PI, pSV, fDV and MV), with age and body.	107
Capítulo 5		
Tabela 1	Média, mediana, desvio padrão dos perímetros e comprimento dos membros torácicos e pélvicos dos muares e equinos.	121

Tabela 2	Média, mediana, desvio padrão dos perímetros e comprimentos dos membros locomotores dos muares e equinos conforme os gêneros.	122
Tabela 3	Média, mediana e desvio padrão das variáveis da ultrassonografia modo-B em cada membro dos equinos e muares, seguido do p-valor para comparação dos grupos (muares e equinos; fêmeas e machos, torácicos e pélvicos, direito e esquerdo, lateral e medial).	123
Tabela 4	Média, mediana e desvio padrão das variáveis da ultrassonografia Doppler espectral em cada membro dos equinos e muares, seguido do p-valor para comparação dos grupos (muares e equinos; fêmeas e machos, torácicos e pélvicos, direito e esquerdo, lateral e medial).	125
Tabela 5	Média, mediana e desvio padrão das variáveis do HEC em cada membro dos equinos e muares, seguido do p-valor para comparação dos grupos (Muares e equinos; fêmeas e machos, torácicos e pélvicos, direito e esquerdo, lateral e medial).	127
Tabela 6	Correlação linear da idade e peso corpóreo com as variáveis da ultrassonografia Modo-B das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares, conforme o lado direito e esquerdo.....	129
Tabela 7	Correlação linear da idade e peso corpóreo com as variáveis da ultrassonografia Doppler espectral das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares, conforme o lado direito e esquerdo.	129
Tabela 8	Correlação linear da idade e peso corpóreo com as variáveis do HEC das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares, conforme o lado direito e esquerdo.	130

FOGAÇA, J. L. **Estudo das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares por ultrassonografia modo-B, Doppler espectral e histograma em escala de cinza.** Botucatu, ano 2021. p. 130. Tese de Doutorado Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar os perímetros dos membros torácicos e pélvicos de 10 equinos e 10 muares, e fazer avaliação da caracterização das artérias digitais palmares e plantares desses animais por ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e Histograma em Escala de Cinza (HEC), além de verificar a influência da idade e do peso corpóreo. Os parâmetros avaliados foram os perímetros do carpo e tarso, metacarpo (II, III e IV) e metatarso (II, III e IV), articulação do boleto, quartela, comprimento do carpo acessório ao solo, comprimento do olecrano (condilho) ao solo, comprimento do calcâneo ao solo e circunferência do casco, de todos os membros locomotores. Os parâmetros avaliados pela ultrassonografia Modo-B foram os diâmetros (longitudinal e transversal) e a espessura da túnica-intima e média (EIM) e com a ultrassonografia Doppler espectral o IR, IP, pVS, fVD e VM. Também foi avaliado a ecogenicidade (*Mean*) e a ecotextura (*StdDev*) pelo HEC. Os muares apresentaram os perímetros dos membros locomotores mais elevados que os equinos, no entanto, a circunferência do casco foi maior para os equinos. Houve diferença entre equinos e muares nas variáveis da ultrassonografia Doppler espectral (pVS, fVD e VM) e no HEC (*Mode*). Foi observado diferença entre o lado direito e esquerdo dos membros locomotores pelas variáveis do Modo-B e Doppler espectral. Verificou-se diferença entre a face lateral e medial pela ultrassonografia Doppler espectral e o HEC. Houve correlação da idade dos equinos com as variáveis da ultrassonografia Doppler espectral, enquanto, o peso corpóreo só apresentou significância com as variáveis do HEC. Em relação aos muares não houve correlação com as variáveis da ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e HEC com idade e peso corpóreo. Concluiu-se que a ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e HEC são eficientes para avaliação das artérias digitais dos equinos e muares, realçando as diferenças encontradas entre os animais, lados dos membros e a face lateral e medial.

Palavras chaves: Equídeos, Diagnóstico por imagem, Vascularização.

FOGAÇA, J. L. **Study of digital palmar and plantar arteries of equine and mules by B-mode, Doppler ultrasonography and grayscale histogram.** Botucatu, ano 2021. p. 130. Thesis (Doctorate). School of Veterinary Medicine and Animal Science, Botucatu Campus, State University of São Paulo.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the perimeters of the thoracic and pelvic limbs of 10 horses and 10 mules, and to evaluate the characterization of the palmar and plantar digital arteries of these animals by Mode-B ultrasonography, spectral Doppler and Gray Scale Histogram (HEC).), in addition to verifying the influence of age and body weight. The parameters evaluated were the perimeters of the carpus and tarsus, metacarpal (II, III and IV) and metatarsal (II, III and IV), fetlock articulation, pastern, length of carpal accessory to the ground, length of the olecranon (condilho) to the ground, length from calcaneus to ground and hoof circumference of all locomotor limbs. The parameters evaluated by B-Mode ultrasonography were diameters (longitudinal and transverse) and thickness of the tunica intima and media (IM) and with spectral Doppler ultrasonography, IR, IP, pVS, fVD and VM. Echogenicity (Mean) and echotexture (StdDev) were also evaluated by HEC. Mules had higher locomotor limb perimeters than horses, however, hoof circumference was greater for horses. There was a difference between horses and mules in the spectral Doppler ultrasound variables (pVS, fVD and VM) and in the HEC (Mode). Differences were observed between the right and left sides of the locomotor limbs by the B-Mode and spectral Doppler variables. There was a difference between the lateral and medial surfaces by spectral Doppler ultrasonography and HEC. There was a correlation between the age of the horses and the variables of the spectral Doppler ultrasonography, while the body weight was only significant with the variables of the HEC. In relation to mules, there was no correlation with the variables of Mode-B ultrasonography, spectral Doppler and HEC with age and body weight. It was concluded that B-Mode ultrasonography, spectral Doppler and HEC are efficient for evaluating the digital arteries of horses and mules, highlighting the differences found between animals, limb sides and lateral and medial surfaces.

Keywords: Equidae, Diagnostic imaging, Vascularization.

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

Os equídeos são responsáveis por gera movimentação econômica no Brasil, assim como empregos diretos e indiretos. Os equídeos são todos os solípedes domésticos da família Equidae, onde abrange equinos (cavalos, pôneis), asininos (jumentos) e muares (burros e mulas) (GRINDER *et al.*, 2006; CINTRA, 2011).

Os profissionais que trabalham com equídeos (equinos, asininos e muares), devem aprimorar o conhecimento para evitarem possíveis incompreensões entre as diversas diferenças normais presentes nesses animais (TORRES; JARDIM, 1983). Deste modo, torna-se considerável a realização de estudos das particularidades clínicas, comportamentais e fisiológicas, para assim minimizar erros com esses animais e compreender as diferenças encontradas (MIRANDA; PALHARES, 2017).

Os equídeos na sua evolução apresentaram mudanças em seu aparelho locomotor, principalmente na região distal dos membros, onde existe uma grande necessidade do conhecimento anatômico que compõem essa região (TORRES; JARDIM, 1983). Alguns trabalhos tem avaliado as proporções corporais dos equinos e de outros animais, a partir de índices que evidenciem relações entre as medidas de comprimento e perímetro (circunferência) dos membros locomotores (CABRAL *et al.* 2004; MOREIRA, 2016), sendo isso, importante para caracterização morfométrica e dos índices corporais, para avaliação das raças, suas características, qualidades e defeitos (CINTRA, 2011).

Muitas afecções em equinos resultam em alterações no fluxo sanguíneo periférico, e observa-se, escassez de estudos na avaliação das artérias digitais palmares e plantares pela ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral, principalmente para determinar um valor padrão para as variáveis avaliadas pela ultrassonografia Doppler espectral em membros distais de equinos hípidos (COCHARD *et al.*, 2000; MENZIES-GOW *et al.*, 2007).

A ultrassonografia Modo-B fornece informações sobre a arquitetura dos vasos avaliados, podendo desta forma mensurar os diâmetros e a espessura da túnica-íntima e média (EIM), enquanto, a ultrassonografia Doppler espectral permite uma avaliação da velocidade do fluxo sanguíneo, por meio, das ondas espectrais (HOFFMANN *et al.*, 1999; MENZIES-GOW *et al.*, 2007). Essas

técnicas conseguem detectar alterações nas artérias digitais palmares e plantares em equinos hígidos ou com doenças inflamatórias (WONGAUMNUAYKUL *et al.*, 2006).

Em equinos acredita-se que as artérias digitais podem apresentar alguma variabilidade quando comparados os membros direito e esquerdo (COCHARD *et al.*, 2000; MÜLLER *et al.*, 2017), semelhante aos seres humanos (SAYER; FATHERREE 1945). Estudos com seres humanos e animais, descrevem que a diferença de sexo (CIPONE *et al.*, 1997; DENARIE *et al.*, 2000; KERJZA *et al.* 2007; JURASIC *et al.* 2007), idade (DENARIE *et al.* 2000; JURASIC *et al.* 2007; COLL *et al.* 2013) e o peso corpóreo (KREJZA *et al.* 2006; KANEGUSUKU *et al.* 2020) podem influenciar nos exames de ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral em diferentes vasos. No entanto, não foram encontrados na literatura consultada, estudos que englobam as artérias digitais evidenciando possíveis diferenças.

A ferramenta do histograma em escala de cinza (HEC) tem sido aplicada para avaliação da ecogenicidade e da ecotextura de diversos órgãos, revelando notável aplicabilidade clínica (LEE *et al.*, 2006; LEE *et al.*, 2006; MENDONÇA, 2014). Esta ferramenta vem sendo utilizada na medicina humana e uma de suas aplicações, se dá para avaliação das paredes de vasos que possuem placas ateroscleróticas, entre elas, as artérias carótidas (ANDERSSON *et al.*, 2009, SARMENTO *et al.*, 2014), a aorta (PICANO *et al.*, 1986), femoral (MARKS *et al.*, 2008) entre outras.

As placas ateroscleróticas não são frequentes em animais quando comparada com seres humanos (RIBEIRO; SHINTAKU, 2004, AGUIAR *et al.*, 2014). Embora já existam relatos em cães (HESS *et al.*, 2003) e em equinos (AGUIAR *et al.*, 2014). Segundo Colles & Hickman (1977), observaram que a doença do navicular é acompanhada de alterações vasculares e sugeriram que essa enfermidade seja causada por arteriosclerose e trombose das principais artérias que são responsáveis por suprir o fluxo sanguíneo do osso sesamóide distal.

A realização do Histograma em Escala de Cinza (HEC) permite avaliação de possíveis alterações que não são perceptíveis sem a ajuda desta ferramenta (ANDERSSON *et al.*, 2009, SARMENTO *et al.*, 2014). Na medicina veterinária alguns estudos com HEC já foram realizadas nas paredes das artérias carótidas

comuns (FOGAÇA *et al.*, 2019b) e em outras regiões (CASTIGLIONI *et al.*, 2018; PRATA, 2018). No entanto, o estudo dessa ferramenta, para avaliação das paredes das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares hígidos não foram encontrados na literatura consultada. Diante do exposto, ressalta-se a relevância da realização de estudos abordando o HEC nas artérias digitais palmares e plantares em equinos e muares hígidos.

1.1 Objetivos gerais

1.1.1 Avaliar e comparar as artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares, por meio, da ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral. Da mesma forma, comparar as artérias plantares com as artérias palmares em cada grupo de animais (equinos e muares), além de verificar as diferenças das artérias digitais nos membros contralaterais (direito e esquerdo).

1.1.2 Comparar a ecogenicidade e ecotextura das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial, de equinos e muares, por HEC. Ainda mais, verificar as diferenças entre a túnica-intima e média (EIM) superficial e profunda das artérias avaliadas.

1.1.3 Verificar a influência da idade e do peso corpóreo nas variáveis da ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral em cada membro locomotor nas amostras de equinos e muares.

1.1.4 Avaliar os perímetros dos membros torácicos e pélvicos de equinos e muares, e fazer avaliação da caracterização das artérias digitais palmares e plantares desses animais por ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e HEC, evidenciando as diferenças entre equinos e muares, machos e fêmeas, lado direito e esquerdo, face lateral e medial, além de verificar a influência da idade e do peso corpóreo no lado direito (membro torácico e pélvico) e lado esquerdo (membro torácico e pélvico) de cada amostra (equinos e muares).

1.2 Objetivos específicos

1.1.1 Avaliar o diâmetro e a espessura da túnica-intima e média (EIM) das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial, dos equinos e muares pela ultrassonografia Modo-B.

1.1.2 Estudar o índice de resistividade (IR), índice de pulsatilidade (IP), pico da velocidade sistólica (pVS), velocidade diastólica final (fVD) e velocidade média (VM) das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial, dos equinos e muares pela ultrassonografia Doppler espectral.

1.1.3 Realizar o HEC na parede superficial e profunda das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial, por imagens da ultrassonografia Modo-B no plano longitudinal, tanto em equinos quanto nos muares.

1.3 Justificativa

Os muares vem despertando interesse econômico e com isso necessitam de subsídios de trabalhos científicos para que contribuam para o conhecimento básico afim de elucidar as enfermidades, destacando-se aqui as do aparelho locomotor. Sabendo que esses animais são utilizados essencialmente para a monitoria seja em trabalho em fazendas ou em competições de marcha, os mesmos não podem ser tratados como equinos, uma vez que são resultantes do cruzamento entre equinos e asininos (ANDERSON, 1939; CAMAC, 1997; ARAÚJO, 2010; SALLES *et al.*, 2013). Sendo assim, os estudos (clínicos, comportamentais, fisiológicas, diagnósticas, entre outras) comparando esses animais são necessários, pois podem evidenciar as diferenças normais encontradas.

A ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral são ferramentas que podem avaliar os membros locomotores de equinos e muares, pelo fato de ser segura, indolor ao paciente, de baixo custo, de fácil realização (YANIK, 2002; CARVALHO, 2009). A ultrassonografia Modo-B fornece informações detalhada da EIM e do diâmetro do vaso, já, a ultrassonografia Doppler fornece informações do padrões hemodinâmicos e do índice de resistividade (IR), por

meio, das ondas espectrais (HOFFMANN *et al.*, 1999). Tais ferramentas podem fornecer informações anatofisiológicas dos vasos analisados em questão.

A ultrassonografia Modo-B e Doppler Espectral são eficazes na avaliação das artérias digitais palmares e plantares de equinos hípidos ou com alterações (WONGAUMNUAYKUL *et al.*, 2006). Sendo estas ferramentas utilizadas nos estudos para comparar a variabilidade entre os membros locomotores (COCHARD *et al.*, 2000; MÜLLER *et al.*, 2017), principalmente pelo fato dos membros torácicos dos equídeos receberem cerca de 60% do peso corpóreo, resultando em um índice maior de enfermidades quando comparado aos membros pélvicos (GETTY, 1986; LATORRE *et al.*, 2001). Desse modo, torna-se relevante as pesquisas que avaliem e comparem as principais estruturas presentes nos membros torácicos e pélvicos, como por exemplo as artérias digitais, as quais já são alvos de estudos em equinos (HUNT *et al.*, 1994; COCHARD *et al.*, 2000).

Estudos com seres humanos e animais, descrevem que a diferença de sexo (CIPONE *et al.*, 1997; DENARIE *et al.*, 2000; KERJZA *et al.* 2007; JURASIC *et al.* 2007), idade (DENARIE *et al.* 2000; JURASIC *et al.* 2007; COLL *et al.* 2013) e o peso corpóreo (KREJZA *et al.* 2006; KANEGUSUKU *et al.* 2020) podem influenciar nos exames de ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral em diferentes vasos. No entanto, não foram encontrados na literatura consultada, estudos que englobam as artérias digitais evidenciando possíveis diferenças.

Quanto as pesquisas envolvendo muares, estas não foram encontradas na literatura consultada, realçando assim, a necessidade da sua avaliação e comparação entre equinos e muares, pois os muares não devem ser tratados como equinos, uma vez que são resultantes do cruzamento entre equinos e asininos, apresentando diferenças anatomofisiológicas.

O exame ultrassonográfico pode apresentar divergência na interpretação dos seus achados, tornando-se necessário a utilização de técnicas que permitem avaliar e quantificar a ecotextura e ecogenicidade da região de interesse (LEE *et al.*, 2006). O HEC é uma ferramenta que permite esta quantificação em imagens ultrassonográficas e em seres humanos, este já vem sendo aplicado em estudos clínicos das paredes das artérias. Ao que se refere a medicina veterinária, a prática do HEC já vem sendo alvo de pesquisas em animais hípidos

(CASTIGLIONI *et al.*, 2018; PRATA, 2018; FOGAÇA *et al.*, 2019b) e na elaboração de possíveis protocolos experimentais (MAEDA *et al.*, 1998).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rebanho Equídeo

Os equídeos são responsáveis por gera movimentação econômica no Brasil, assim como gerar empregos diretos e indiretos. Os equídeos são todos os solípedes domésticos da família Equidae, onde abrange equinos (cavalos, pôneis), asininos (jumentos) e muares (burros e mulas) (GRINDER *et al.*, 2006; CINTRA, 2011).

Os muares não são considerados equinos, pois são resultantes do cruzamento entre equinos e asininos. Normalmente o cruzamento mais utilizado é a égua (*Equus caballus*) com o jumento (*Equus asinus*), obtendo a mula e o burro (muares). Existem casos menos frequente, em que é realizado o cruzamento com garanhão (*Equus caballus*) e a jumenta (*Equus asinus*), produzindo híbridos denominados bardoto ou bardota. O bardoto é considerado inferior ao luar, uma vez que muares possuem maior porte, beleza zootécnica, boa adaptabilidade, resistência física, o que resulta em maior valor econômico (ANDERSON, 1939; ARAÚJO, 2010; SALLES *et al.*, 2013).

Os muares apresentam características intermediárias entre o equino e o asinino, com predominância fenotípica de características asininas, entre elas, destacam-se a morfologia dos cascos (encastelados e pequenos (MIRANDA; PALHARES, 2017). Os muares recebem predominância fenotípica dos asininos em relação a resistência a ecto e endoparasitas, rusticidade e adaptabilidade ao tempo, o que tornam mais resistentes ao trabalho prolongado (TORRES; JARDIM, 1983; ARAÚJO, 2010). Acredita-se que esse cruzamento era realizado desde a antiguidade, no intuito de obter uma raça com características desejáveis ao serviço de tração, lazer ou esporte, pois esses animais possuem maior longevidade, boa adaptabilidade ao trabalho rural, não exigindo tantos cuidados com a alimentação, diferente dos equinos (SALLES *et al.*, 2013).

Os muares são animais bastante amigáveis e calmos, possuindo como característica comum a inteligência. Esses animais são robustos (muscular) e possuem alta resistência esquelética (CHIRGWIN; ROOVER; DIJKMAN, 2000). Os muares de grande porte possuem a capacidade de crescer mais que um

cavalo e pesar mais quando comparado com um cavalo do mesmo tamanho (TRAVIS, 1990).

Em 1810 na região de Minas Gerais iniciou a criação de jumentos Pêga especializados para a produção de muares de sela. Posteriormente, em 1939 iniciou Associação Brasileira dos Criadores de Jumentos da Raça Brasileira, visando a união das raças nacionais de asininos, destinados à produção de muares para serviços de sela e rural. Os muares com fenótipo da raça Pêga são em sua maioria marchadores e apresentam padrão racial aprovado pelo Ministério da Agricultura em 1949, o que torna esses animais mais valiosos economicamente (ARAÚJO, 2010).

Os muares originados de Jumento Pêga são considerados a maioria dos híbridos no Brasil. No entanto, existe os muares originados de Jumentos Nordestinos, que são considerados animais de menor porte e características zootécnicas inferiores. Na região nordeste do país, os asininos mantêm sua maior importância em relação aos muares nas atividades de carga, tração e sela (ARAÚJO, 2010).

Em relação aos equinos, estima-se que existem cerca de 570 raças locais de equinos no mundo e que 23% encontra-se em risco de extinção (RISCHKOWSKY; PILLING, 2007). Segundo Vieira *et al.* (2016), o Brasil corresponde ao maior produtor de equinos da América Latina e em comparação mundial fica em 3 lugar, possuindo um somatório, incluindo muares e asininos, de aproximadamente de 8 milhões de cabeças, gerando anualmente aproximadamente 7,3 bilhões de reais na economia.

2.2. Anatomia dos membros torácicos e pélvicos

2.2.1 Osteologia

Os membros torácicos dos equinos são paralelos quando visualizados de frente (PILLINER *et al.*, 2002) e consistem nos seguintes ossos: escápula, úmero, rádio, ulna, ossos do carpo e metacarpo, falanges (proximal, média e distal), sesamóides proximal e distal (navicular) (BUDRAS *et al.*, 2009).

O ombro no equídeo é considerado uma articulação entre o úmero e a escápula (articulação escápulo-úmeral), sendo que o úmero é um osso

resistente e sua angulação permite a absorção do choque do membro ao solo (PILLINER *et al.*, 2002).

Os ossos rádio e ulna são fundidos, já o carpo consiste em sete a oito pequenos ossos que são posicionados em duas fileiras (PILLINER *et al.*, 2002; BUDRAS *et al.*, 2009). A fileira proximal, os ossos são denominados de radial, intermédio e ulnar (medial a lateral). A fileira distal são numerados de 1 a 4 (medial a lateral). No entanto, o osso acessório do carpo projeta-se caudalmente do lado lateral do carpo (FRANDSON *et al.*, 2005).

Nos equídeos existem três ossos metacarpais, sendo que o 3º osso metacárpico é o mais longo e responsável por suportar o peso corpóreo do animal. A capacidade de transporte do peso do cavalo é indicada pela quantidade de “osso” que o animal possui, ou seja, pela circunferência do osso abaixo do carpo (DENOIX, 1994; PILLINER *et al.*, 2002).

O boleto é a articulação do osso metacarpo longo (III metacarpo) com dois ossos sesamóide proximais (articulação metacarpofalangeana), os quais estão localizados na parte palmar do boleto (DENOIX, 1994; PILLINER *et al.*, 2002).

A extremidade distal dos membros dos equídeos possuem como principais estruturas ósseas a primeira, segunda e terceira falanges (ou falange proximal, média e distal respectivamente), além do osso sesamóide distal, também denominado como osso navicular pelo seu aspecto (Figura 1) (POLLITT, 1992).

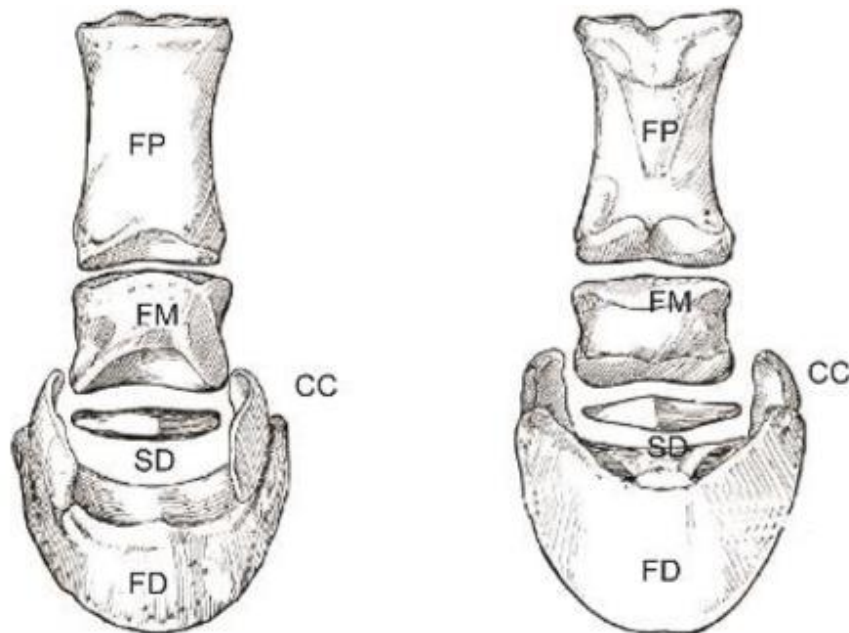


Figura 1- Vista dorsal à esquerda e vista palmar à direita. Falange proximal (FP), falange média (FM), falange distal (FD) e sesamóide distal (SD) e cartilagem colateral (CC). Fonte: Modificado de KAINER, MCCRACKEN, 1998 por NASCIMENTO, 2015.

A pelve consiste em um círculo de ossos, onde os membros pélvicos se articulam com a coluna vertebral (articulação sacroilíaca). A metade de cada pelve (hemipelve) é formada por um conjunto de três ossos, que são fundidos para formar o osso coxal ou osso pélvico. Os três ossos que entram na formação de cada osso coxal são: ílio, ísquio e o púbis, sendo que o conjunto destes ossos participam na formação do acetábulo da articulação do quadril (articulação coxofemoral) (PILLINER *et al.*, 2002; BUDRAS *et al.*, 2009).

O fêmur estende-se da articulação coxofemoral até a articulação fêmuro tíbio patelar. O tarso é composto por um conjunto de pequenos ossos distribuídos em fileiras, se assemelhando com os ossos do carpo distribuídos no membro torácico. A fileira proximal consiste em dois grandes ossos, o tálus e o calcâneo. A fileira central possui apenas um osso, denominado de osso central do tarso. No entanto, os ossos da fileira distal estão numerados de 1 a 4 (medial a lateral), sendo que o 1 e o 2 são fundidos. Com relação ao metatarso e a extremidade distal (falanges: proximal, média e distal) estes são similares ao membro torácico (Figura 2) (PILLINER *et al.*, 2002; FRANDSON *et al.*, 2005; BUDRAS *et al.*, 2009).

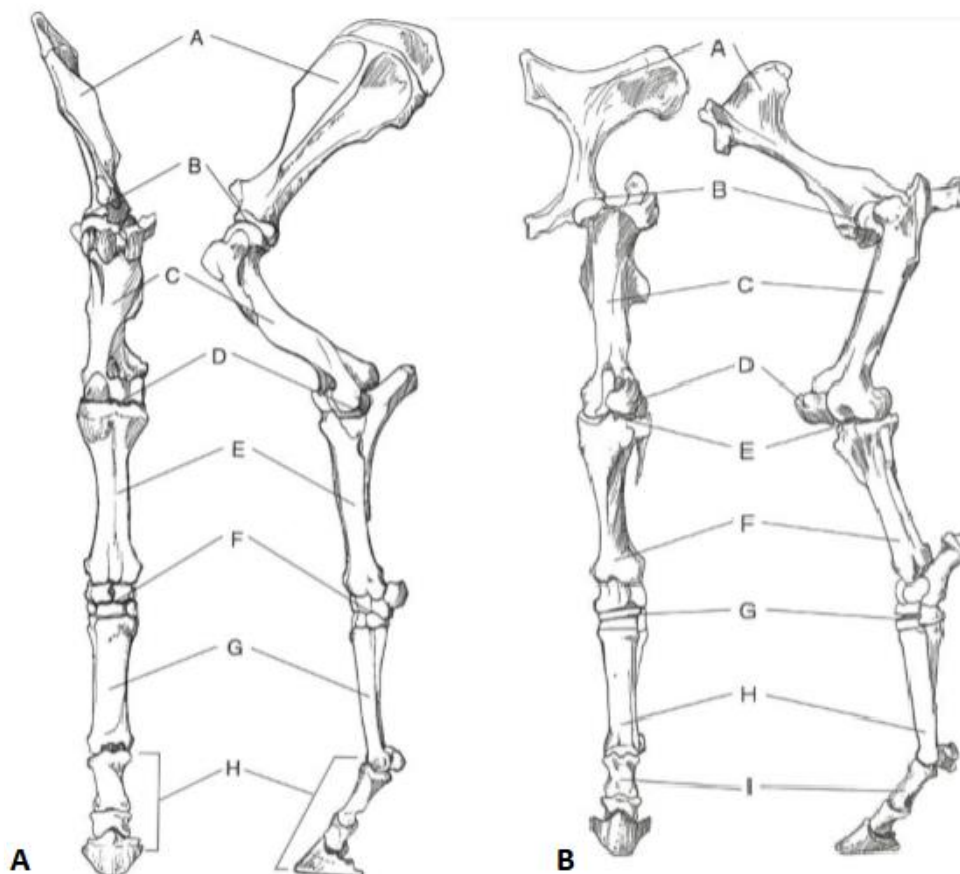


Figura 2 - Osteologia do membro torácico à esquerda (escápula (A), articulação escapuloumeral (B), úmero (C), articulação úmero-rádio-ulnar (D), rádio e ulna (E), carpo (F), metacarpo (G), falanges (H)). Osteologia do membro pélvico à direita (pelve (A), articulação coxofemoral (B), fêmur (C), patela (D), articulação fêmuro-tíbio-patelar (E), tíbia (F), tarso (G), metatarso (H), falanges (I)). Fonte: FRANDSON *et al.*, 2005.

2.2.2 Tecido tegumentar (estajo córneo)

Os equídeos possuem como característica o dígito envolto em casco queratinizado, sendo esses, considerados leves e muito resistentes na extremidade distal dos membros (POLLITT, 2004). O casco é uma estrutura que permite dissipar a energia do impacto ao solo, suportar o peso corpóreo do animal, tração e a proteção de estruturas internas, reduzindo deste modo, as injúrias no aparelho locomotor (POLLITT, 1992; BUDRAS *et al.*, 2009).

O casco é composto por três camadas denominadas de: externa, média e interna. A camada externa é considerada mais fina e de células queratinizadas deixando a parede do casco com aparência lisa e brilhante (BUDRAS *et al.*, 2009). A camada média é mais espessa e se caracteriza pela sua forma tubular

e resistência durante o período da locomoção (POLLITT, 2004). A camada interna possui o tecido conjuntivo denso e colagenoso, altamente vascularizado e inervado, denominado cório coronário (derme), que recobre a falange distal e está fortemente interligado com as lâminas epidérmicas (Figura 3) (STASHAK, 2006).

A sola é considerada a superfície inferior do casco, tendo como característica o seu formato côncavo (PARKS, 2003; RIBEIRO, 2013). Já a ranilha é uma cunha elástica macia e espessa, com o vértice voltado cranialmente e base localizada entre os talões. A ranilha possui a capacidade de atuar como um amortecedor do impacto do dígito e auxiliar na irrigação sanguínea para o interior (STASHAK, 2003; BUDRAS *et al.*, 2009).

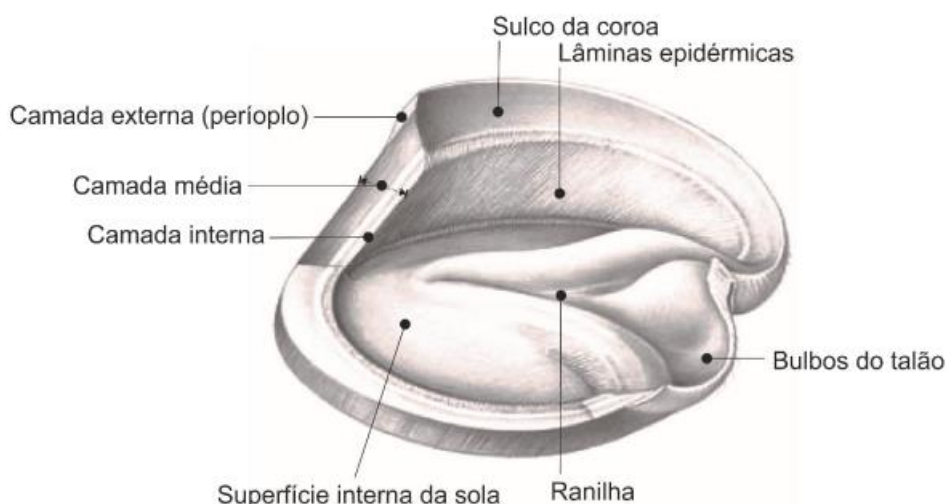


Figura 3 - Corte transversal do casco do equino. Fonte: BUDRAS *et al.*, 2009

2.2.3 Vascularização arterial

A artéria axilar entra no membro torácico e recebe o nome de artéria braquial, e quando esta passa pela região do cotovelo, passa a se chamar de artéria mediana. A maior ramificação terminal da artéria mediana é a artéria digital palmar comum, que se dirige ao metacarpo para o boleto, onde se ramifica em artérias digitais palmares lateral e medial (Figura 4) (FRANDSON *et al.*, 2005).

As artérias digitais palmares lateral e medial são responsáveis pelo suprimento arterial do dígito, as quais são originadas da bifurcação da artéria

digital palmar comum e cruzam abaxial aos ossos sesamóides proximais (POLLITT, 1992; PARKS, 2003).

As artérias digitais palmares lateral e medial, emitem diversos ramos principais e vasos menores formando os plexos, tais como: plexos naviculares proximal e distal, plexo solear (responsável por irrigar o casco e a sola), bem como a artéria circunflexa, por originar as artérias lamelares responsáveis pelo suprimento sanguíneo da derme dorsal (DENOIX, 1994; PARKS, 2003; WAGUESPACK; HANSON, 2010).

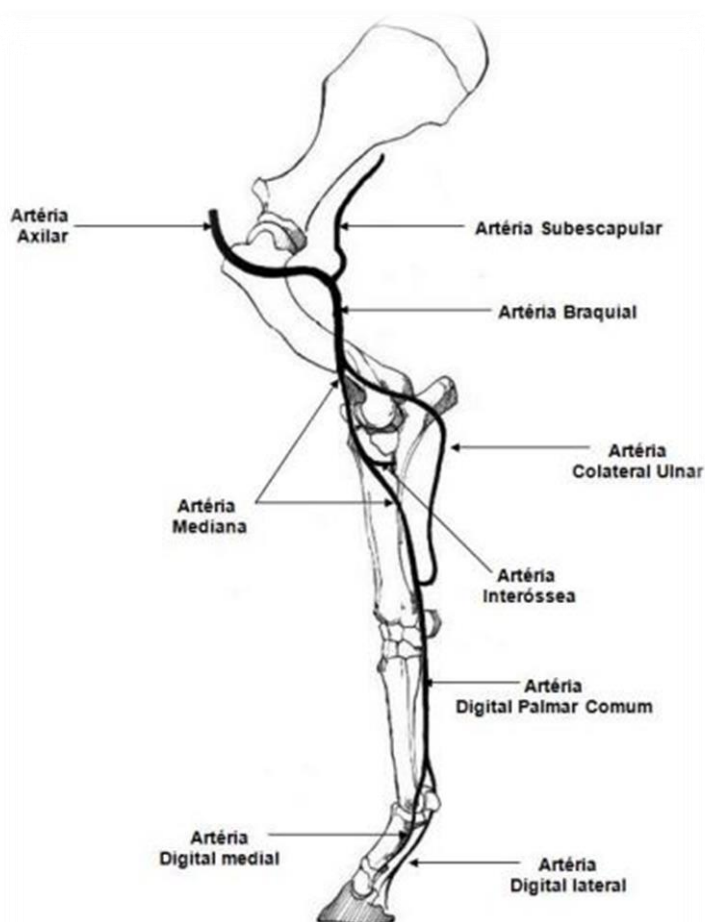


Figura 4 - Irrigação sanguínea (arterial) do membro torácico de um equino.
 Fonte: <<https://docplayer.com.br/amp/11542024-Sistema-cardiovascular-arterias-veias-e-capilares.html>>0>

No membro pélvico, a artéria ilíaca interna e suas ramificações suprem as regiões do quadril, pelve e genitália. Já a artéria ilíaca externa se ramifica para as partes caudoventrais da parede do abdome, região inguinal (prepúcio, escroto

e/ou glândula mamária) e em seguida se direciona aos membros pélvicos como artéria femoral (FRANDSON *et al.*, 2005).

A artéria femoral percorre na face medial do membro (Figura 5) e na região da articulação fêmuro-tíbio-patelar passa a ser denominada como artéria poplítea, que em seguida vai se ramificar em artéria tibial cranial e caudal. A artéria tibial cranial percorre a região do tarso (jarrete), que em seguida recebe o nome de artéria dorsal do pé até a região do III metatarso, onde esta passa a ser denominada como artéria metatarsal III. Na região do boleto a artéria metatarsal III se divide em artérias digitais plantares lateral e medial, as quais, são consideradas vasos de grande necessidade para o suprimento sanguíneo do dígito, devido ao fato de emitir diversos ramos arteriais (FRANDSON *et al.*, 2005).

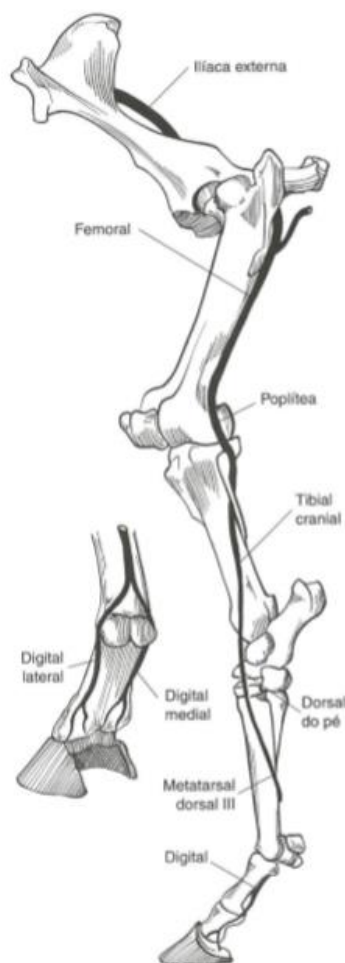


Figura 5 - Irrigação sanguínea (arterial) do membro pélvico de um equino. Fonte: FRANDSON *et al.*, 2005.

2.3 Enfermidades do fluxo sanguíneo nos membros torácicos e pélvicos

A isquemia na extremidade distal de um equino é resultante de uma alteração da perfusão sanguínea, onde é verificado a disfunção estrutural e metabólica das lâminas. Algumas alterações vasculares são caracterizadas por: vasoconstrição, hipoperfusão, abertura de anastomoses arteriovenosas, edema laminar, entre outros, o que resulta muitas vezes em isquemia dos tecidos laminares, necrose das interdigitações laminares e falha mecânica na terceira falange (rotação/afundamento) (STOKES *et al.*, 2004; NASCIMENTO, 2015).

O casco desempenha várias funções, entre elas: suportar o peso do animal, absorver o impacto ao solo e auxiliar na propulsão, como também de atuar como uma bomba hidráulica para o retorno sanguíneo da extremidade do membro (BUTLER, 1985). A vasoconstrição resulta no aumento da resistência vascular e da pressão hidrostática, levando a um extravasamento de líquido para o interstício (STOKES *et al.*, 2004; NASCIMENTO, 2015).

A laminite pode ser classificada como uma falha na fixação entre a terceira falange e a parede interna do casco, se caracterizando como uma das doenças mais grave do dígito equino e causando alterações na anatomia interna do mesmo, podendo levar a perda da função e resultando na rotação ou deslocamento ventral da terceira falange. Normalmente esta enfermidade acomete os membros torácicos, porém, podem se apresentar nos quatro membros (MELO, FERREIRA, 2007).

A laminite apresenta uma sequência de eventos resultando em vários graus de gravidade. Estudos descrevem que a laminite é considerada, uma doença vascular periférica onde ocorre a diminuição na perfusão capilar no interior do dígito, ocorrendo quantidades significativas de desvios arteriovenosos (“*shunting*”) e necrose isquêmica das lâminas, desencadeando a dor (SMITH, 2006; STASHAK, 2006).

A síndrome do osso navicular (sesamóide distal) é considerada enfermidade crônica e progressiva, pois pode afetar todo o aparato podotrocLEAR, resultando na redução do desempenho do animal devido a claudicação e gerando perdas irreversíveis na economia do mercado equestre (PEIXOTO *et al.*, 2010b), além de resultar na degeneração do osso navicular (sesamóide distal) e de estruturas de tecido mole adjacentes (WHITFIELD *et al.*, 2016).

Estudos estão sendo realizados para concretizar a entidade patológica específica responsável por esta alteração. Alguns pesquisadores acreditam que fatores genéticos e de manejo podem estar envolvidos na etiologia desta enfermidade. Já outros, sugerem que a trombose arterial das artérias digitais resultam em uma necrose isquêmica do osso navicular (KNOTTENBELT; PASCOE, 1998).

2.4 Princípios físicos da ultrassonografia Modo-B e Doppler Espectral

A ultrassonografia é uma modalidade de imagem que não utiliza radiação ionizante (SANTOS *et al.*; 2012; SALES *et al.*, 2019). Essa é empregada na medicina veterinária por fornecer informações em tempo real sobre a arquitetura e características ultrassonográficas dos órgãos, permitindo avaliar as condições fisiológicas e patológicas dos tecidos de interesse (YANIK, 2002; SEOANE *et al.*, 2011).

A ultrassonografia ocorre, por meio, de um estímulo elétrico, fazendo com que os cristais piezelétricos localizados no interior do transdutor vibrem emitindo ondas de ultrassom. As mesmas interagem nos tecidos adjacentes do corpo do paciente, conforme a densidade e índice de reflexões teciduais (SANTOS, 2010; SEOANE *et al.*, 2011; NOGA *et al.*, 2016).

As ondas após interagir com os tecidos ao longo de seu caminho de transmissão, algumas são refletidas de volta para o transdutor (sinal eco) e outras continuam a penetrar mais profundamente. As ondas que retornam para o transdutor (sinal eco), possuem informações da frequência e da amplitude da onda sonora, permitindo gerar imagem. As ondas sonoras podem ser descritas em termos da sua frequência (medida em ciclos por segundo ou hertz), amplitude (medida em decibel) e comprimento de onda (medido em milímetro). O equipamento de ultrassom permite determinar a cronometragem exata do tempo de retorno do eco, pois isso possibilita estipular a profundidade da interface que reflete o pulso (SANTOS, 2010; SEOANE *et al.*, 2011; CHAN; PERLAS, 2011).

O ultrassom convencional ou modo bidimensional (Modo B) utiliza apenas as informações sobre amplitude no sinal que se dispersa de volta para gerar a imagem, e de acordo com a força do eco de retorno, a imagem é formada em tons variáveis de cinza. Alvos em movimento rápido, como por exemplo, as

hemácias na corrente sanguínea, produzem ecos de baixa amplitude que não podem ser exibidos, resultando em um padrão anecóico dentro do vaso estudado (HERRING; BJORNTON, 1985; YANIK, 2002).

Quando existe a necessidade de avaliar o vaso sanguíneo de interesse, é necessário recorrer as modalidades do Doppler, devido ao padrão anecóico do Modo-B que não permite detectar a presença de fluxo sanguíneo. Sempre que a onda de alta frequência colidir com uma interface estacionária, o eco refletido possui a mesma frequência ou o mesmo comprimento de onda que foi transmitido, caracterizando o Modo-B (Figura 6 A). Contudo, se a interface refletora estiver em movimento em relação à onda emitida, como por exemplo, as hemácias, há uma mudança na frequência da onda que se dispersa pelo objeto em movimento (Figura 6 B e C). A mudança da frequência é diretamente proporcional à velocidade da interface refletora em relação ao transdutor, resultando no efeito Doppler (YANIL, 2002; NOGA *et al.*, 2016).

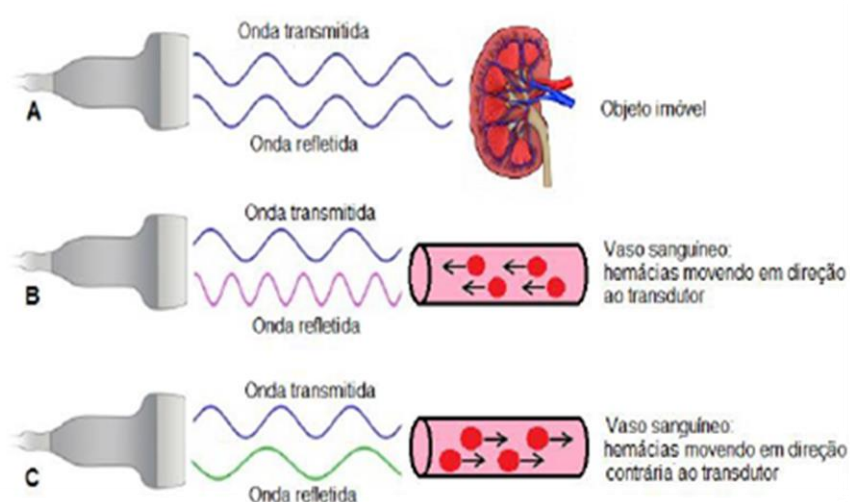


Figura 6 - Ilustração de ondas emitidas e recebidas (ecos) pelo transdutor do equipamento de ultrassom. O rim (estacionário) reflete a onda com a mesma frequência que a emitida, Modo-B (A). Objeto (hemácias) em movimento em direção ao transdutor - onda refletida com maior frequência que a emitida, efeito Doppler (B). Objeto (hemácias) em direção contrária ao transdutor – onda com menor frequência que a emitida, efeito Doppler (C). Fonte: CARVALHO, 2009.

A velocidade das ondas de ultrassom nos tecidos dependem das propriedades dos mesmos, por exemplo, os gases têm a menor velocidade de propagação (ar = 330 m/s); líquidos têm uma velocidade intermediária (1480 m/s) e os sólidos têm uma alta velocidade de propagação (por exemplo, osso = 3.400 m/s) (NOGA *et al.*, 2016). A avaliação ultrassonográfica Modo-B exige os conhecimentos anatômicos, fisiológicos e dos princípios físicos e técnicos do equipamento, permitindo obter um exame de qualidade (PEIXOTO *et al.*, 2010a; PEIXOTO *et al.*, 2010b).

A ultrassonografia Doppler é utilizada na identificação do fluxo e na interpretação da velocidade sanguínea. O efeito Doppler ocorre com a alteração da frequência da onda que retorna para o transdutor (eco) e é baseado conforme os movimentos das hemácias em relação ao transdutor, aproximando ou se distanciando. As ondas de ultrassom que se encontram com os corpos refletoras (hemácias) se aproximando do transdutor, sofrem um aumento da frequência, no entanto, se as hemácias estiverem afastando em relação ao transdutor, a frequência é diminuída (KEALY *et al.*, 2012).

Para realização da ultrassonografia Doppler o ângulo de insonação deve estar o mais próximo de zero para mensurar a velocidade máxima verdadeira. Para conseguir controlar este ângulo de insonação, o feixe incidente deve estar mais paralelo ao fluxo sanguíneo. Conforme este ângulo aumenta em direção a 90° significa que pode ter erros na interpretação da velocidade e aos 90° não ocorrer o efeito Doppler (KEALY *et al.*, 2012).

Existem várias modalidades de Doppler que podem ser associados sozinhos ao Modo-B (sistema Duplex) ou associados com outro modo Doppler e ao Modo-B (sistema Triplex). As modalidades do Doppler são: colorido (Color), amplitude (Power), pulsado (Espectral), entre outros, sendo que, cada um permite uma avaliação hemodinâmica diferente do mesmo vaso estudado (CERRI *et al.*, 1998a; YANIK, 2002; CERRI *et al.*, 1998b).

O Doppler pulsado ou Doppler espectral (*Pulsed Wave Doppler*) é encontrado em quase todos os aparelhos de ultrassom. Essa modalidade permite a avaliação separada de cada vaso, onde dispõem a caracterização do fluxo hemodinâmico pela criação do traçado espectral (OMOTO; KASAI, 1987; YANIK, 2002). Este traçado demonstra as variações de frequências captadas pelo transdutor, onde marca a variação da velocidade calculada (eixo Y) em

relação ao tempo (eixo X ou linha da base) (CARVALHO; CHAMMAS; CERRI, 2008; YANIK, 2002).

Por este traçado é possível determinar o tipo de fluxo sanguíneo e sua direção em relação ao transdutor, ou seja, fluxo em direção ao transdutor fica representado acima da linha da base e o fluxo que se distancia é ilustrado abaixo da linha da base (Figura 7). Os valores de velocidades reais devem ser obtidos com o ângulo do feixe incidente abaixo de 60° em relação ao vaso estudado, pois ângulo acima do recomendado podem promover erro na avaliação da velocidade do fluxo sanguíneo (LANG, 2006; TORP-PEDERSEN; TERSLEV, 2008).

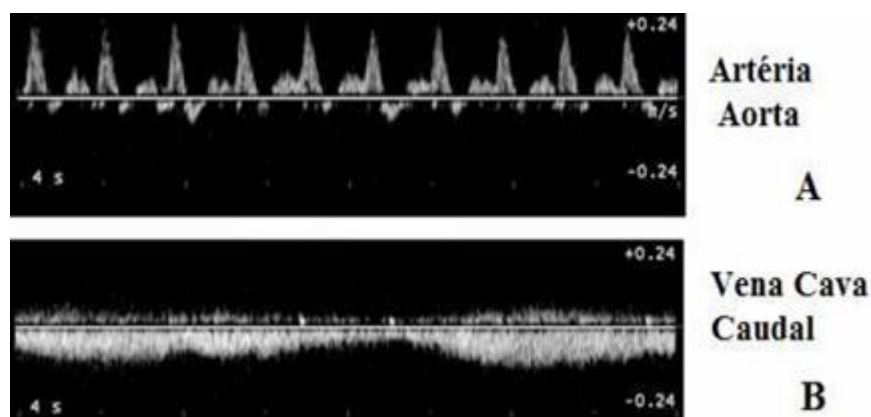


Figura 7 - Imagem Doppler espectral. Nota-se o traçado acima da linha da base, ou seja, fluxo em direção ao transdutor (A). Traçado abaixo da linha da base, ou seja, fluxo distanciando do transdutor (B). Fonte: CASTELLO *et al.*, 2015.

O traçado espectral permite obter diversas informações do vaso estudado, por meio, da interpretação de frequência distribuído ao longo do tempo, sendo que essas informações podem ser qualitativas e quantitativas. As informações qualitativas constituem a presença ou ausência do fluxo sanguíneo, direção e avaliação das ondas espectrais (artéria, veia e turbulenta). A análise quantitativa é realizada pelas variáveis: pico da velocidade sistólica (pVS), velocidade diastólica final (fVD) e velocidade média (VM), bem como a análise da impedância (IP) e do índice de resistividade vascular (IR) associados ao Modo-B (TORP-PEDERSEN; TERSLEV, 2008; YANIK, 2002).

A vantagem de calcular o IR e o IP (Figura 8) é que são independentes do ângulo de insonação e permite avaliação da resistividade da artéria de

interesse, que não são adquiridos somente por mensuração da velocidade absoluta (VEIGA *et al.*, 2011; BRAGATO, 2013).

$$IR = \frac{PSV - EnDV}{PSV} \qquad IP = \frac{PSV - EnDV}{TAMAX}$$

Figura 8 – Equações realizadas para calcular os índices de resistividade (IR) e pulsatilidade (IP). Fonte: BRAGATO, 2013.

2.5 Avaliação das artérias digitais por ultrassonografia Modo-B e Doppler Espectral

A ultrassonografia Modo-B fornece informações detalhada da EIM e do diâmetro do vaso estudo, enquanto, a ultrassonografia Doppler espectral fornece informações do padrões hemodinâmicos e do IR das artérias pelas ondas espectrais (HOFFMANN *et al.*, 1999).

A ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral são ferramentas utilizadas para diagnosticar e detectar as obstruções das artérias digitais de equinos (AGUIAR *et al.*, 2014). A EIM e o diâmetro são variáveis essenciais para diagnosticar estenoses e presença de processos obstrutivos, assim como fornecer informações estruturais e anatômicas (AGUIAR, 2015).

A ultrassonografia Doppler foi aplicada em alguns estudos para quantificação do fluxo sanguíneo das artérias digitais de equinos saudáveis e com doenças inflamatórias associadas as alterações no fluxo arterial, como no caso, a laminite. Esta técnica de imagem deve ser realizada com o animal não sedado para evitar possíveis alterações hemodinâmicas, como também de ser um procedimento de rotina clínica e não ser invasivo para o operador e paciente (HUNT *et al.*, 1994; INGLE-FEHR; BAXTER, 1998, COCHARD *et al.*, 2000).

Para realização dos exames de ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral nas artérias digitais, os equinos devem permanecer em estação, com o peso corpóreo igualmente distribuído nos quatro membros. Também é necess levar em consideração que pode existir diferenças nos valores do IR com as forças exercidas e impostas sobre o membro (HOOD *et al.*, 2001; PIETRA *et al.*, 2004).

A ultrassonografia Doppler é uma técnica sensível para avaliar alterações dos diferentes estados patológicos, fisiológicos e químicas (anestesia e sedação). Os profissionais que operam esta modalidade de imagem devem realizar os exames e o manejo dos animais de forma padronizada, com o intuito de inibir a variabilidade de medição. No entanto, pode existir variações biológica devido a função cardiovascular (GUDMUNDSSON *et al.*, 1990; MENZIES-GOW; MARR, 2007). Este procedimento também é considerado de boa produtividade e com índice de variabilidade mínimo tanto de forma individual como comparativa entre os operadores (MENZIES-GOW; MARR, 2007).

Aguirre *et al* (2013), avaliaram as artérias digitais palmares equinos distribuídos em 3 grupos (1º equinos saudáveis; 2º equinos predispostos a laminite e 3º equinos com sinais evidentes de laminite) por ultrassonografia Modo-B e Doppler Espectral. Foi possível observar um aumento do IR nas artérias digitais palmares nos grupos 2 e 3, como também de verificar um aumento no diâmetro das artérias no grupo 3 em relação ao grupo 2. O aumento dos diâmetros das artérias segundo os autores, pode estar relacionado à fisiopatologia do processo da resposta inflamatória sistêmica e à vasodilatação produzida devido à estenose distal.

Em outro estudo realizado por Wongaumnaykul *et al.* (2006), com três grupos de equinos (grupo 1: animais com pododermatite séptica; grupo 2: animais com laminite e grupo 3: animais do grupo controle). Concluíram que o grupo controle, não apresentou diferença significativa dos índices resistivos (IR) em relação ao grupo de pododermatite séptica, mas esses índices foram significativamente menores no grupo de laminite. Após o tratamento (animais pododermatite séptica e laminite), as velocidades do fluxo sanguíneo e o volume do fluxo diminuíram significativamente, e o IR e os diâmetros não apresentaram alterações.

Segundo os Schulthess e Smith (1998) e Wongaumnaykul *et al.* (2006), o IR pode ser afetado por vários fatores, por exemplo, a complacência da parede dos vasos, pressão arterial e como efeito a longo prazo da mudança da geometria do casco. Sendo assim, o IR, parece menos adequado para monitorar a progressão de doença. Porém, em casos de estenose, ocorre o aumento do IR, elevando a pVS e VM (NEUERBURG-HEUSLER *et al.*, 1995). No entanto,

se o IR apresentar valores baixos em região de estenose, provavelmente é devido aos novos capilares criados (ZWIEBEL; PELLERITO, 2005).

2.6 Histograma em escala de cinza

O exame ultrassonográfico pode apresentar divergência na interpretação dos seus achados, tornando-se necessário a utilização de técnicas que permitem avaliar e quantificar a ecotextura e ecogenicidade da região de interesse (LEE *et al.*, 2006).

A “ecogenicidade” refere-se a capacidade de diferentes estruturas em refletir as ondas de ultrassom, gerando ecos. Os órgãos e os tecidos são visualizados em vários tons de cinza (intensidade de brilho), que são relativamente constantes de animal para animal. Alguns estados de doenças pode alterar a ecogenicidade normal dos tecidos (FARROW, 1992). Devido a isso, a impressão visual podem se tornar insuficiente para determinar a ecogenicidade exata dos tecidos avaliados, e por isso, foram criadas técnicas que permitem quantificar a ecogenicidade e ecotextura da região avaliada, permitindo assim minimizar possíveis erros de interpretação (MAEDA *et al.*, 1998; LEE *et al.*, 2006).

O termo “aneicóico” é utilizado quando ocorre a ausência de ecos, quando as ondas de ultrassom atravessam os líquidos sem gerar eco, sendo representada com um padrão negro da estrutura estudada. Já o “hipoecóico” representa imagens com poucos ecos (intensidade de brilho). O termo “hiperecóico” refere-se a alta reflexão das ondas de ultrassom e aparece como uma imagem brilhante, por exemplo, nos casos de ossos e gases (BARR, 1990; FARROW, 1992).

Os ecos de retorno são convertidos em várias intensidades de brilho, na forma de uma escala em cinza e na ultrassonografia Modo-B, a imagem de retorno é continuamente atualizada pelo equipamento, para fornecer uma imagem bidimensional (2D) em tempo real, ainda mais da atualização contínua das imagens permitindo estudar a fisiologia e os movimentos das estruturas de interesse, fornecendo informações complementares (PEIXOTO *et al.*, 2010a).

O HEC é uma ferramenta disponível em alguns softwares e permite avaliar a quantidade e a distribuição da frequência em tonalidades de cinza (intensidade

de brilho) de uma determinada região estudada. Esse procedimento é eficiente e permite a obtenção de valores fidedignos à realidade (LEE *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2015a) e estudos envolvendo esta técnica vem sendo realizados em seres humanos (SANTOS-FILHO *et al.*, 2010) e em animais (FOGAÇA *et al.*, 2019b; CASTIGLIONI *et al.*, 2018; PRATA, 2018).

Para realização do HEC é necessário a delimitação de uma área de interesse (ROI) e posteriormente será obtido uma representação gráfica com a quantidade de pixels presentes no ROI (QUEIROZ; GOMES, 2006). A representação gráfica possui o eixo horizontal (ilustra a escala com 256 tons de cinza) e a vertical (porcentagens do número de pixels em cada escala de cinza (grau de luminosidade) (SANTOS-FILHO *et al.*, 2010).

Alguns equipamentos de ultrassom já possuem o HEC, porém, sua aplicação está ainda limitada ao meio científico. Devido a isso, pesquisas vem sendo elaboradas para a padronização de valores, para a aplicação da rotina clínica em humanos e em animais, e na elaboração de protocolos experimentais (MAEDA *et al.*, 1998; SILVA *et al.*, 2015a).

Alguns estudos utilizam o software *Image J* como método de análise do HEC e para avaliação da área de interesse, é realizado uma representação gráfica com as informações de algumas variáveis, tais como: *Count* (total de pixels selecionados na amostra), *Mean* (intensidade de brilho), *StdDev* (grau de variação da intensidade de brilho), *Max* (o valor mais alto de intensidade de brilho encontrado), *Min* (o menor valor de intensidade de brilho), *Mode* (a intensidade de brilho que mais se repete dentro da amostra e o total de pixel corresponde a esta intensidade (Figura 9) (FERREIRA; RASBAND, 2011; FOGAÇA *et al.*, 2019b).

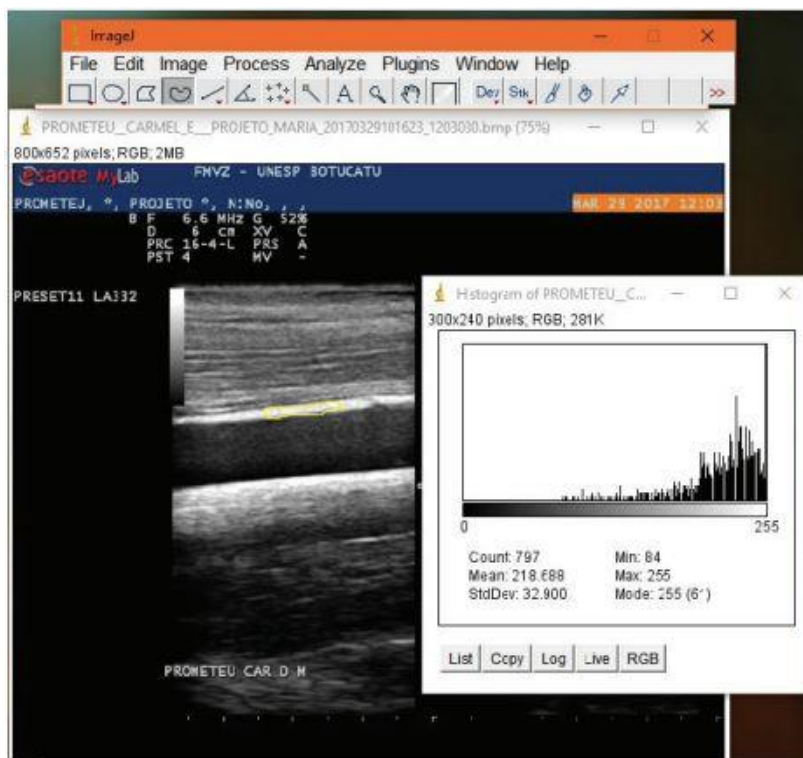


Figura 9 - HEC realizado na parede superior (superficial) da artéria carótida de uma fêmea equina. Fonte: FOGAÇA *et al.*, 2019.

O *Image J* é empregado na análise e processamento de imagens, é um software gratuito baseado no Java de domínio público (RASBAND, 1997; BEARER, 2003; SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012). Tal como o *Image J*, a ferramenta do HEC está disponível em outros softwares, como por exemplo o *Adobe Reader Photoshop* (RASBAND, 1997; SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012). Tanto o *Photoshop* e o *Image J* são citados como estando entre os programas de processamento e análise de imagens mais utilizados (NANES, 2015).

O HEC vem sendo muito aplicado na avaliação de órgãos e tecidos de humanos pela ultrassonografia (KIM *et al.*, 2011; YANG *et al.*, 2012; TSA *et al.*, 2013; KIM *et al.*, 2015; HARRIS-LOVE *et al.*, 2016; SHIN *et al.*, 2016; GOLLIE *et al.*, 2018), como também, esta ferramenta vem sendo utilizada na avaliação das paredes de vasos que possuem placas ateroscleróticas, entre elas, as artérias carótidas (ANDERSSON *et al.*, 2009, SARMENTO *et al.*, 2014), aorta (PICANO *et al.*, 1986), femoral (MARKS *et al.*, 2008) entre outras.

Em medicina veterinária, em grandes animais, alguns estudos envolvendo esta ferramenta já foram realizados, como por exemplo, nas paredes das artérias carótidas comuns (FOGAÇA *et al.*, 2018) e na avaliação de órgãos e tecidos

(MOSTAFA *et al.*, 2015; CASTIGLIONI *et al.*, 2018; PRATA, 2018). Também esse ferramenta vem sendo utilizada em pequenos animais para avaliação dos órgãos e tecidos, ainda mais de neoplasias (MORITA *et al.*, 1998; DROST *et al.*, 2000; LEE *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. **Avaliação ultrassonográfica da artéria carótida comum em equinos da raça quarto de milha**. 2015. 77f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Animal). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária de Botucatu, 2015.

AGUIAR, A. et al. **Ateroma em artéria carótida comum de equino detectado através de exame ultrassonográfico – relato de caso**. IV Simpósio International de Diagnóstico por Imagem Veterinário - Belo Horizonte – 2014.

AGUIRRE, C. N. et al. Usefulness of Doppler ultrasonography to assess digital vascular dynamics in horses with systemic inflammatory response syndrome or laminitis. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 243, n. 12, p. 1756-1761, 2013.

ANDERSON, W.S. Fertile Mare Mules. **Journal of Heredity**, v. 30, n. 12, p. 62-65, 1939.

ANDERSSON, J. et al. Echogenicity of the carotid intima–media complex is related to cardiovascular risk factors, dyslipidemia, oxidative stress and inflammation: The Prospective Investigation of the Vasculature in Uppsala Seniors (PIVUS) study. **Atherosclerosis**, v. 204, n. 2, p. 612-618, 2009.

ARAÚJO, N. A. **Origem histórica do jumento doméstico: suas raças**. Patos de Minas, Ed. Grafipress, 1ª Ed., 2010. 311p.

BARR, F. **Principles of diagnostic ultrasound: diagnostic ultrasound in the dog and cat**. Editora Blackwell Scientific Publications, London, 1990. p.1-20.

BEARER, E. L. Overview of image analysis, image importing, and image processing using freeware. **Current Protocols In Molecular Biology**, v. 63, n. 1, p. 14-15, 2003.

BUDRAS, K. D. et al. **Anatomy of the Horse: An Illustrated Text**. 5th Ed. Germany: Schluetersche, 2009. 208p.

BUTLER, K. D. The prevention of lameness by physiologically sound horseshoeing. In: **Annual convention of the american association equine practitioners**, 31, 1985, Toronto. Proceedings Toronto: AAEP, 1985. p. 465-475.

CABRAL, G. C. et al. Avaliação morfométrica de eqüinos da raça Mangalarga Marchador: índices de conformação e proporções corporais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1798-1805, 2004.

CAMAC R. **Introduction and origins of the donkey**. In: SVENDSEN, E.D. The professional handbook of the donkey. 3ª Ed. Londres: White Books, 1997. p. 9-18.

CARVALHO, C. F. CHAMMAS, M. C, CERRI, G. C. Princípios físicos do Doppler em ultrassonografia. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 872 – 879, 2008.

CARVALHO, C. F. **Ultrassonografia Doppler em pequenos animais**. São Paulo: Roca, 2009. 274p.

CASTELLO, C. M. et al. Ultrassonografia Doppler Colorido e Doppler Espectral para o estudo de pequenos fluxos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**. v. 11, n. 22, p. 2691 - 2713, 2015.

CASTIGLIONI, M. C. R. et al. Quantitative Ultrasound of Kidneys, Liver, and Spleen: a Comparison Between Mules and Horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 70, p. 71-75, 2018.

CERRI, G.G. et al. **Avaliação dúplex do fígado, sistema portal e vasos viscerais**. In:_____. Doppler. São Paulo: Sarvier, 1998. cap.6, p.120-121 a.

CERRI, G.G. et al. **Doppler**. São Paulo: Sarvier, 1998. 271p b.

COLL, B. et al. The role of carotid ultrasound in assessing carotid atherosclerosis in individuals at low-to-intermediate cardiovascular risk. **Revista Española de Cardiología (English Edition)**, v. 66, n. 12, p. 929-934, 2013.

CHAN, V.; PERLAS, A. Basics of ultrasound imaging. In: **Atlas of ultrasound-guided procedures in interventional pain management**. Springer, New York, NY, 2011. p. 13-19.

CHIRGWIN; J. C. ROOVER, P. DIJKMAN, J. T. **El burro como animal de trabajo**. Editora: Estudio FAO Producción y Sanidad Animal, 2000. 149p.

CINTRA, A. G. C. **O cavalo: característica, manejo e alimentação**. São Paulo: Roca, 2011. 384p.

CIPONE, M. et al. Pulsed wave-doppler ultrasonographic evaluation of the common carotid artery in the resting horse: physiologic data. **Veterinary Radiology & Ultrasound**. v. 38, n. 3, p. 200-206, 1997.

COCHARD, T.; TOAL, R. L.; SAXTON, A. M. Doppler ultrasonographic features of thoracic limb arteries in clinically normal horses. **American Journal of Veterinary Research**, v. 61, n. 2, p.183 – 190, 2000.

COLLES, C.M.; HICKMAN, J. The arterial supply of the navicular bone and its variations in navicular disease. **Equine. Vet. J.**, v.9, n.3, p.150-154, 1977.

DENARIE, N. et al. Distribution of ultrasonographically-assessed dimensions of common carotid arteries in healthy adults of both sexes. **Atherosclerosis**, v. 148, n. 2, p. 297-302, 2000.

DENOIX, J-M. Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs (manus and pes). **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**, v. 10, n. 2, p. 273-322, 1994.

DROST, W. T. et al. Quantification of hepatic and renal cortical echogenicity in clinically normal cats. **American Journal of Veterinary Research**, v. 61, n. 9, p. 1016-1020, 2000.

FARROW C. S. Ultra talk: beninners guide to the language of ultrasound. **Veterinary Radiology & Ultrasound**. Releigh, v. 33, n. 1, p. 33-31, 1992.

FERREIRA, T.; RASBAND, W. S. **ImageJ User Guide – IJ 146** imagejnihgov/ij/docs/guide. 2011.

FOGAÇA, J. L. **Estudo comparativo de ultrassonografia modo-B, Doppler e histograma em escala de cinza na avaliação das artérias carótidas comuns em equinos e muare.** 136f. Dissertação. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Estadual Paulista, 2018.

FOGAÇA, J. L. et al. B-mode and Doppler ultrasonography in the assessment of the common carotid arteries of equines and mules and the relation with body mass, age and neck circumference. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 75-84, 2019a.

FOGAÇA, J. L. et al. Grayscale histogram analysis to study the echogenicity and echotexture of the walls of the common carotid arteries of horses and mules. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 221-229, 2019b.

FRANDSON R.D; WILKE W.L.; FAILS A.D. **Anatomia e fisiologia dos animais de fazenda.** 6ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. 454p.

GETTY, R. Equine osteology: the digit of the manus. In: GETTY R Sisson and Grossman's the anatomy of the domestic animals. Philadelphia: W.B. Saunders, 1986. p.291-296.

GOLLIE, J. M. et al. Chronic kidney disease: considerations for monitoring skeletal muscle health and prescribing resistance exercise. **Clinical Kidney Journal**, v. 11, n. 6, p. 822-831, 2018.

GRINDER, M. I.; KRAUSMAN, P. R.; HOFFMANN, R. S. Equus asinus. **Mammalian Species**, v. 794, p.1-9, 2006.

GUDMUNDSSON, S. et al. Recording of blood flow velocity waveforms in the uteroplacental and umbilical circulation: reproducibility study and comparison of pulsed and continuous wave Doppler ultrasonography. **Journal of Clinical Ultrasound**, v. 18, n. 2, p. 97-101, 1990.

HARRIS-LOVE, M. O. et al. Ultrasound estimates of muscle quality in older adults: reliability and comparison of Photoshop and ImageJ for the grayscale analysis of muscle echogenicity. **PeerJ**, v. 4, p. e1721, 2016.

HERRING, D. S. BJORNTON, G. Physics, facts, and artifacts of diagnostic ultrasound. **Clínicas of North America: Small Animal Practive.** v. 15, n. 6, p. 1107 - 1122, 1985.

HESS, R. S. et al. Association between diabetes mellitus, hypothyroidism or hyperadrenocorticism, and atherosclerosis in dogs. **Journal Veterinary International Medicine**. v. 17, n. 4, p. 489 – 494, 2003.

HOFFMAN, K. L. et al. Sonographic observations of the peripheral vasculature of the equine thoracic limb. **Anatomia, Histologia, Embryologia**. n. 28, p. 281-289, 1999.

HOOD, D. M. et al. Evaluation of hoof wall surface temperature as an index of digital vascular perfusion during the prodromal and acute phases of carbohydrate-induced laminitis in horses. **American Journal of Veterinary Research**, v. 62, n. 7, p. 1167-1172, 2001.

HUNT, R. J. et al. E. Effects of acetylpromazine, xylazine, and vertical load on digital arterial blood flow in horses. **American Journal of Veterinary Research**, v. 55, n. 3, p. 375-378, 1994.

INGLE-FEHR, J. E.; BAXTER, G. M. Evaluation of digital and laminar blood flow in horses given a low dose of endotoxin. **American Journal of Veterinary Research**, v. 59, n. 2, p. 192-196, 1998.

JURASIC, M-J. et al. How to monitor vascular aging with an ultrasound. **Journal of the neurological sciences**, v. 257, n. 1-2, p. 139-142, 2007.

KANEGUSUKU, H. et al. Impact of obesity on walking capacity and cardiovascular parameters in patients with peripheral artery disease: A cross-sectional study. **Journal of Vascular Nursing**, v. 38, n. 2, p. 66-71, 2020.

KEALY, J. K.; MCALLISTER, H.; GRAHAM, L. **Radiologia e ultrassonografia do cão e gato**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 594p.

KIM, S. et al. Application of texture analysis in the differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules: comparison with gray-scale ultrasound and elastography. **American Journal of Roentgenology**, v. 205, n. 3, p. W343-W351, 2015.

KIM, U. S. et al. Quantitative analysis of optic disc color. **Korean Journal of Ophthalmology**, v. 25, n. 3, p. 174-177, 2011.

KREJZA, J. et al. Carotid artery diameter in men and women and the relation to body and neck size. **Stroke**, v. 37, n. 4, p. 1103-1105, 2006.

KNOTTENBELT, D. C.; PASCOE, R. R. **Afecções e Distúrbios do Cavalo**. São Paulo: Manole, 1998. 500p.

LANG, J. In: MANNION, P. **Diagnostic Ultrasound in Small Animal Practice**. Editora: Blackwell Science, Estados Unidos da América, 2006. p. 216-226.

LATORRE, R. et al. Teaching anatomy of the distal equine thoracic limb with plastinated slices. **J. Int. Soc. Plastination**, v. 16, p. 23-30, 2001.

LEE, C. H. et al. Usefulness of standard deviation on the histogram of ultrasound as a quantitative value for hepatic parenchymal echo texture; preliminary study. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 32, n. 12, p. 1817-1826, 2006.

LEE, K. et al. Comparison of ultrasound histogram in liver, kidney and spleen in Beagle dogs. **Journal of Veterinary Clinics**, v. 22, n. 3, p. 186-189, 2005.

MAEDA, K.; UTSU, M.; KIHAIL, P. E. Quantification of sonographic echogenicity with grey-level histogram width: a clinical tissue characterization. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 24, n. 2, p. 225-234, 1998.

MARKS, N. A. et al. Gray-scale median of the atherosclerotic plaque can predict success of lumen re-entry during subintimal femoral-popliteal angioplasty. **Journal of vascular surgery**, v. 47, n. 1, p. 109-116, 2008.

MELO, U. P.D.; FERREIRA, C. Novos enfoques na fisiopatologia e tratamento da laminite eqüina. In: **XXXIV Semana Capixaba do Médico Veterinário, Guarapari. Anais da XXXIV Semana Capixaba do Médico Veterinário**. Vitória: CRMV- ES, 2007.

MENDONÇA, J. A. O histograma de imagens coloridas permite melhor visualização de danos ecotexturais pelo ultrassom. **Brasileira Reumatologia**. v. 57, n. 1, p. 88 – 91, 2014.

MENZIES-GOW, N. J.; MARR, C. M. Repeatability of Doppler Ultrasonographic measurement of equine digital blood flow. **Veterinary Radiology Ultrasound**. v. 3, n. 48, p. 281- 285, 2007.

MIRANDA, A. L. S; PALHARES, M. S. Mueres: características, origem e particularidades clínico-laboratoriais. **Revista Científica Medicina Veterinária**, v. 29, p. 1-8, 2017.

MORITA, Y. et al. Endoscopic ultrasonographic findings of the pancreas after pancreatic duct ligation in the dog. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 39, n. 6, p. 557-563, 1998.

Moreira, C. G. **Estudo exploratório sobre biometria e estimativa de peso vivo de jumentos da raça Pêga**. 2016. 54 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP. Universidade São Paulo, São Paulo.

MOSTAFA, M. B.; AL-AKRAA, A. M.; KHALIL, A. H. Ultrasonographic assessment of superficial digital flexor tendon (SDFT) core lesion treated with platelet rich plasma (PRP) in donkeys (*Equus Asinus*). **Benha Veterinary Medical Journal**, v. 29, n. 2, p. 274-282, 2015.

MÜLLER, H. et al. Evaluation of arterial digital blood flow using Doppler ultrasonography in healthy dairy cows. **BMC veterinary research**, v. 13, n. 1, p. 162, 2017.

NASCIMENTO, C. S. **Descrição clínica de 10 casos de laminite e comparação com a bibliografia internacional.** 124f. Dissertação, Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2015.

NEUERBURG-HEUSLER, D.; HENNERICI, M. et al. **Gefa"ssdiagnostik Mit Ultraschall:** Doppler- und farbkodierte Duplexsonographie der grossen Körperarterien und -venen. 2nd ed. Stuttgart, New York Thieme, 1995.

NOGA, M. L.; Vivian, H.Y.; TSUI, B. C. H. Ultrasound Basics. In: **Pediatric Atlas of Ultrasound-and Nerve Stimulation-Guided Regional Anesthesia.** Springer, New York, NY, p. 25-40, 2016.

OLIVEIRA, D. M. N. M; COSTA, F. S.; WISCHRAL, A. BI-RADS classification and gray level histogram of malignant mammary tumors in bitches. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1942-1948, 2018.

OMOTO, R; KASAI, C. Physics and instrumentation of Doppler color flow mapping. **Journal of Cardiovascular Ultrasound and Allied Techniques**, v. 4, n. 6, p. 467 – 483, 1987.

PARKS, A. Form and function of the equine digit. **The Veterinary Clinics: Equine Practice**, v. 19, p. 285-307, 2003.

PEIXOTO, G. C. X. et al. Bases físicas da formação da imagem ultrassonográfica. **Acta Veterinária Brasilica**, v. 4, n. 1, p. 15-24, 2010a.

PEIXOTO, C. I. C. et al. Avaliação radiográfica e ultrassonográfica do aparato podotrocLEAR de cavalos Quarto de Milha diagnosticados com síndrome do navicular. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, p. 651-658, 2010b.

PICANO, E. et al. The use of frequency histograms of ultrasonic backscatter amplitudes for detection of atherosclerosis in vitro. **Circulation**, v. 74, n. 5, p. 1093-1098, 1986.

PIETRA, M. et al. Influence of weight bearing and hoof position on Doppler evaluation of lateral palmar digital arteries in healthy horses. **American Journal of Veterinary Research**. v. 9, n. 65, p. 1211 – 1215, 2004.

PILLINER, S.; ELMHURST, S.; DAVIES, Z. **The horse in motion: The anatomy and physiology of equine Locomotion.** John Wiley & Sons, 2002.

POLLITT, C. C. Clinical anatomy and physiology of the normal equine foot. **Equine Veterinary Education**, v. 4, n. 5, p. 219-224, 1992.

POLLITT, C. C. Anatomy and physiology of the inner hoof wall. **Clinical Techniques in Equine Practice**, v.3, p. 3-21, 2004.

PRATA, L. G. **Estudo doppler e histograma em escala de cinza na avaliação hepática de equinos (Equus caballus) adultos.** Dissertação de mestrado

apresentada no Programa de Biotecnologia Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, 2018.

QUEIROZ J. E. R.; GOMES, H. M. Introdução ao processamento digital de imagens. **Revista RITA**. v. 13, n. 1, p. 11-42, 2006.

RASBAND, W. S. **ImageJ**. Bethesda: US National Institutes of Health, 1997.

RIBEIRO, G. H. C. **Anatomia, Biomecânica e Principais Patologias do Membro Distal de Equinos: Quartela e Casco**. 48f. Seminário (Disciplina Séminarios Aplicados) - Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiás, 2013.

RIBEIRO, K. C. SHINTAKU, R. C. O. A influência dos lipídios da dieta sobre aterosclerose. **ConScientiae Saúde**. v. 3, n. 3, p. 73 – 83, 2004.

RISCHKOWSKY, B.; PILLING, D. The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture. Food & Agriculture Org., 2007. 512p.

SALES, R. O. et al. A importância da ultrassonografia na Medicina Veterinária. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 13, n. 2, p. 156-178, 2019.

SALLES, P. A. et al. Analysis of the population of equidae in semiarid region of Paraíba. **Journal of Biotechnonology and Biodiversity**. v. 4, n. 3, p. 269 - 275, 2013.

SANTOS, M. H. G. **Desenvolvimento de transdutores piezoelétricos de ultrassom para formação das imagens**. 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, 2010.

SANTOS, V. J. C. et al. Ultrassonografia gestacional em cadelas: Revisão de literatura. **Nucleus Animalium**, v.4, n.2, p. 51 – 60, 2012.

SANTOS-FILHO, O. O. et al. Estudo da cicatriz uterina de cesariana avaliada pelo histograma escala-cinza. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 56, n. 1, p. 99-102, 2010.

SARMENTO, P. L. F. A. et al. Relationship between cardiovascular risk factors and the echogenicity and pattern of the carotid intima-media complex in men. **Sao Paulo Medical Journal**, v. 132, n. 2, p. 97-104, 2014.

SAYER A.; FATHERRREE T. J., Congenital hemihyper trophy. U. S. Navy. **Med. Bull**. v. 44, p. 142-147, 1945.

SCHNEIDER, C. A; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.

SCHULTHESS G.V. SMITH H-J. Physics, technique on procedures. In: Pettersson H, Allison D. (eds): **The Encyclopaedia of Medical Imaging**. Oslo, Norway: The Nicer Institute, 1998.

SEOANE, M. P. R. et al. A história da ultrassonografia veterinária em pequenos animais. **Archives of Veterinary Science**. v. 16, n. 1, p. 54 – 61, 2011.

SILVA, E. G. et al. Análise quantitativa da ecogenicidade testicular pela técnica do histograma de ovinos da baixada ocidental maranhense. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 297-303, 2015a.

SMITH, B. P. **Medicina interna de grandes animais**. 3ª Ed. São Paulo - SP: Manole, 2006. 1727p.

STASHAK TS. INFOSURA. In: Stashak TS, ed. Adams' **claudicacion en el caballo**. 5th ed. Buenos Aires: Inter-Medica Co, 2003;685–697.

STASHAK, T. S. **Claudicação em Equinos Segundo Admas**. 5ª. Ed. São Paulo: Roca, 2006. 1112p.

STOKES, A.M.; EADES, S.C.; MOORE, R.M. **Pathophysiology and treatment of acute laminitis**. In: REED, S.M.; BAYLY, W. M.; SELLON, D.C. Equine Internal Medicine, 2ª Ed. Saunders: St. Louis, USA. 2004. p. 522 – 530.

TORP-PEDERSEN, S. T. TERSLEV, L. Setting and artefacts relevant in colour/Power Doppler ultrasound in rheumatology. **Annals of the Rheumatic Diseases**, v. 67, n. 1, p. 143 - 149, 2008.

TORRES, A. D; JARDIM, W. R. **Criação do cavalo e de outros equinos**. Nobel, São Paulo Brasil, 1983. 282p.

TRAVIS, L. **The mule**. J. A. Allen & Co, London, 1990.

TSAI, Yao-Hung et al. Quantification of sonographic echogenicity by the gray-level histogram in patients with supraspinatus tendinopathy. **Journal of Medical Ultrasonics**, v. 41, n. 3, p. 343-349, 2013.

VIEIRA, V. Manejo e nutrição de cavalos atletas. **Revista online InfoEquestre**, 1ª Ed., 2016.

WAGUESPACK, R. et Al. Navicular syndrome in equine patients anatomy, causes, and diagnosis. **Compend Contin Educ Vet**, v. 32, n. 12, p. 1-14, 2010.

WHITFIELD, C. T. et al. Quantitative assessment of two methods of tiludronate administration for the treatment of lameness caused by navicular syndrome in horses. **American journal of veterinary research**, v. 77, n. 2, p. 167-173, 2016.

WONGAUMNUAYKUL, S. et al. Doppler sonographic evaluation of the digital blood flow in horses with laminitis or septic pododermatitis. **Veterinary Radiology Ultrasound**. v. 2, n. 47, p. 199 – 205, 2006.

YANG, X. et al. Ultrasound histogram assessment of parotid gland injury following head-and-neck radiotherapy: a feasibility study. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 38, n. 9, p. 1514-1521, 2012.

YANIK, L. The basics of Doppler ultrasonography. **Veterinary Medicine**, v.3, p.388-400, 2002.

ZWIEBEL, W. J.; PELLERITO, J. S. Basic concepts of Doppler frequency spectrum analysis and ultrasound blood flow imaging. **Introduction to vascular ultrasonography**, v. 5, p. 62-89, 2005.

Capítulo 2

Artigo Científico 1

Confirming submission to Journal of Equine Veterinary Science

Journal of Equine Veterinary Science <em@editorialmanager.com>

Ter, 10/08/2021 22:52

Para: Jéssica Leite Fogaça <jesicaleite@hotmail.com>

This is an automated message.

Study of digital palmar and plantar arteries of equine and mules by B-mode and Doppler ultrasonography

Dear Miss Leite Fogaça,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Journal of Equine Veterinary Science.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/jevs/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Journal of Equine Veterinary Science

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/jevs/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

Study of digital palmar and plantar arteries of equine and mules by B-mode and Doppler ultrasonography

J.L. Fogaça^{1*}, M.C.R. Castiglioni¹, M.C. Vettorato¹, G. M.N. Barbosa¹, G. M.N. Mazzante¹, A. C. A. Alburquerque¹, J.N.P.P. Filho¹, Filadelpho, A.L¹, V.M.V. Machado¹

¹São Paulo State University – School of Veterinary Medicine and Animal Science, Botucatu Campus, Rubião Junior District, Botucatu, São Paulo, Brazil.

Abstract

The present study aimed to evaluate and compare the palmar and plantar digital arteries of 10 horses and 10 mules through B-mode and spectral Doppler ultrasound. Likewise, compare the plantar arteries of the pelvic limbs with the palmar arteries of the thoracic limbs, in addition to verifying the differences of the digital arteries in the contralateral limbs (right and left) in horses and mules using B-mode and spectral Doppler ultrasonography. The evaluated parameters were the diameter and the intima-media thickness (IMT), resistivity index (RI), pulsatility index (PI), peak of systolic velocity (pSV), final diastolic velocity (fDV) and mean velocity (MV) of the lateral and medial palmar and plantar arteries digital in healthy horses and mules. The horses presented higher diameters values, IMT, pSV, fDV and MV in comparison to the mules. The variables IR and IP also presented differences between horses and mules. Horses and mules showed higher values in the variables of B-mode and Doppler ultrasonography in the thoracic limbs. Differences were also detected in the comparison between the limb sides (right and left) in the two modalities. The B-Mode and spectral Doppler ultrasound techniques are viable tools to identify differences in the palmar and plantar digital arteries in healthy horses and mules, as well as highlight the differences between the thoracic and pelvic limbs and their respective sides (right and left).

Keywords: Locomotor limbs, equines, ultrasound, Doppler and B-mode

1. Introduction

The lateral and medial digital palmar arteries originate from the bifurcation of the medial artery and cross abaxially to the proximal sesamoid bones (fetlock region). The lateral and medial digital plantar arteries originate from the bifurcation of the metatarsal artery III and cross abaxially to the proximal sesamoid bones (fetlock region) [1-5].

Many disorders in horses result in changes in peripheral blood flow [6], and the Doppler ultrasonography is a tool coupled with conventional ultrasonography (B-Mode) that allows vascular and hemodynamic evaluation of the vessels to be studied, enabling the diagnosis of diseases [7;8]. In the case of vascular alterations of digital arteries in healthy horses or with inflammatory diseases, such as laminitis and septic pododermatitis, may be detected with the aid of Mode-B and Doppler ultrasonography [9].

B-Mode ultrasonography allows the assessment of the vascular architecture (intima-media thickness (IMT)) while Doppler ultrasonography provides real-time quantitative and qualitative information on the vascular patterns, allowing an assessment of the presence or absence of flow, direction, velocity, and type of blood flow, and hemodynamic patterns [10].

Mules are hybrid animals resulting from the cross between horses and donkeys. The mules have aroused economic interest and therefore, need subsidies for scientific work so that they contribute to the basic knowledge in order to elucidate diseases, especially those of the locomotor system. Those animals are used essentially for work on farms or in gait competition and they may not be treated as equines, since they result from the cross between equines and donkeys [11-14].

As a consequence, the welfare of these animals has increased in recent years and numerous differences have been reported. Such studies were aimed at exposing possible differences and avoiding clinical, diagnostic and treatment errors [14-16]

The horses' thoracic limbs receive 60% of the animal's body weight, resulting in a higher rate of illnesses when compared to the pelvic limbs [17; 18]. For this reason, studies comparing the pelvic and thoracic limbs are required, in addition, the improvement of the knowledge related to the hemodynamics of the blood flow of the and plantars and palmars digital arteries.

In humans, there may be differences in vessels when compared between the right and left sides [19], and in horses this variation may also exist [6] Studies comparing the hemodynamics of blood flow in the palmar and plantar digital arteries of equines and

mules through Mode-B ultrasonography and spectral Doppler were not found in the literature consulted.

In the face of the lack of information about this subject and considering the economic and social importance of these animals and the growing demand for scientific data, the present study aimed to evaluate and compare the palmar and plantar digital arteries of 10 horses and 10 mules through B-mode and spectral Doppler ultrasound. Likewise, compare the plantar arteries of the pelvic limbs with the palmar arteries of the thoracic limbs in each group of animals (horses and mules), in addition to verifying the differences of the digital arteries in the contralateral limbs (right and left) in horses and mules using B-mode and spectral Doppler ultrasonography.

2. Materials And Methods

2.1 Sample population

This research was approved by the Ethics Committee on the Use of Animals (CEUA) of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (FMVZ/UNESP) (Protocol No. 0257/2018).

B-Mode ultrasonography and spectral Doppler were performed on the lateral and medial digital palmar and plantar arteries of 10 healthy horses (5 males and 5 females), with body weight between 336 and 390 kg and ages between 2 and 18 years. The examinations were also performed in the same anatomical regions in 10 mules (5 males and 5 females), with body weight between 347 and 439 kilograms (Kg) and age between 4 and 15 years.

2.2 Images acquisition

Before the ultrasound examinations, the animals underwent trichotomy procedures in the regions of the fetlock, as well as laboratory and physical examinations (heart rate, respiratory rate, gastrointestinal motility and rectal temperature), after which the animals were found to be healthy.

For the B-Mode and spectral Doppler ultrasound examinations, the animals were kept in containment trunks guided with halters and positioned in a quadrupedal position. The animals were not subjected to water or solid fasting, and were not given sedatives in order to avoid hemodynamic changes. The examinations were carried out with the animals in station without much movement of the locomotor limbs, with the body weight equally distributed among the limbs. Isopropyl alcohol at 70% alcohol concentration was applied in the billet region in preparation to the examinations (B-mode and spectral Doppler).

The GE Healthcare Logiq V2 mobile ultrasound device with a high frequency linear transducer (8 to 12 MHz) was used to obtain B-mode images in the transverse and longitudinal plans (**Fig. 1**) to evaluate the diameters and IMT of the lateral and medial palmar and plantar digital artery walls.

For the analysis of blood flow (spectral Doppler), insonation angles inferior to 60 degrees (60°) were used to acquire the velocity as reliably as possible. The cursor for obtaining spectral waves was positioned in the center of the lateral and medial palmar and plantar digital arteries to minimize possible changes in blood flow velocity, as recommended by Menzies-Gow & Marr [20].

Through the spectral waves (spectral Doppler) the following variables were calculated: resistivity index (RI), pulsatility index (PI), peak systolic velocity (pSV), final diastolic velocity (fDV) and mean velocity (VM) of the lateral and medial palmar and plantar digital arteries (**Fig. 2**).

Figure 1. Position of the transducer to obtain images in the planes: transverse (A - horse) and longitudinal (C - mule). B-mode ultrasound image of the digital artery in the planes: transverse (B) and longitudinal (D).

Figure 2. Position of the transducer in the longitudinal plane to perform spectral Doppler ultrasonography (A - horse). Post-processing of images with the contour of the waves to obtain the values of RI and PI (B), and pSV, fDV and MV (C).

2.3 Statistical analysis

Descriptive statistics were obtained for each group and all data were submitted to the normality test. For the statistical analysis, the Mann-Whitney test was applied to compare the two samples. Also, the Mann-Whitney test was applied to compare the measurements obtained in the pelvic and thoracic limbs, and between the contralateral limbs (right and left) in horses and mules using the SPSS V20 software.

All hypothesis tests developed in this work considered a 5% significance, that is, the null hypothesis was rejected when p-value was inferior or equal to 0.05. Therefore, H0: the distributions of the two samples are equal or reject, and H1: conclude that the two samples have significantly different distributions.

3. Results

The lateral palmar digital artery of the right thoracic limb (RTL) showed no significant difference. However, the medial palmar digital artery of the RTL limb presented a difference in the longitudinal wall ($p = 0.045$), with the horses presenting higher values (**Table 1**).

The lateral palmar digital artery of the left thoracic limb (LTL) presented a significant difference in the transverse diameter ($p = 0.046$), with horses presenting higher values. There was a significant difference in the medial palmar digital artery of the LTL in the longitudinal diameter ($p = 0.045$), with the horses presenting higher values (**Table 1**).

Tabela 1 - Mean, median, standard deviation, Q1, Q3 and confidence interval of the variables in B-Mode ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the thoracic limbs, for comparison between horses and mules.

Thoracic limb	Face	B-Mode	Animals	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Right	Lateral	Longitudinal Diameter	Horses	0.527	0.540	0.067	0.450	0.580	0.969
			Mules	0.538	0.540	0.090	0.490	0.580	
		Transverse Diameter	Horses	0.532	0.550	0.049	0.500	0.560	0.190
			Mules	0.520	0.530	0.083	0.460	0.560	
	Longitudinal Wall	Horses	0.113	0.110	0.025	0.100	0.130	0.168	
		Mules	0.103	0.100	0.027	0.080	0.120		
	Transverse Wall	Horses	0.116	0.120	0.028	0.093	0.138	0.380	
		Mules	0.110	0.110	0.032	0.080	0.130		
	Medial	Longitudinal Diameter	Horses	0.545	0.535	0.055	0.503	0.565	0.268
			Mules	0.490	0.520	0.129	0.500	0.530	
		Transverse Diameter	Horses	0.574	0.595	0.079	0.493	0.610	0.299
			Mules	0.550	0.530	0.083	0.500	0.600	
		Longitudinal Wall	Horses	0.119	0.115	0.026	0.100	0.138	0.045*
			Mules	0.098	0.100	0.034	0.088	0.130	
Transverse Wall	Horses	0.114	0.110	0.030	0.093	0.138	0.585		
	Mules	0.109	0.100	0.031	0.090	0.130			
Left	Lateral	Longitudinal Diameter	Horses	0.541	0.520	0.073	0.510	0.555	0.052
			Mules	0.552	0.570	0.052	0.510	0.580	
		Transverse Diameter	Horses	0.610	0.600	0.093	0.545	0.640	0.046*
			Mules	0.531	0.540	0.183	0.500	0.600	
		Longitudinal Wall	Horses	0.120	0.120	0.032	0.110	0.130	0.869
			Mules	0.119	0.120	0.026	0.100	0.140	
	Transverse Wall	Horses	0.142	0.140	0.037	0.110	0.150	0.257	
		Mules	0.126	0.130	0.055	0.090	0.160		
	Medial	Longitudinal Diameter	Horses	0.578	0.570	0.060	0.530	0.610	0.045*
			Mules	0.550	0.540	0.060	0.490	0.560	
		Transverse Diameter	Horses	0.545	0.570	0.161	0.520	0.650	0.656
			Mules	0.567	0.590	0.150	0.510	0.650	
		Longitudinal Wall	Horses	0.120	0.120	0.025	0.100	0.140	0.264
			Mules	0.114	0.100	0.024	0.100	0.130	
Transverse Wall	Horses	0.128	0.130	0.049	0.100	0.150	0.477		
	Mules	0.141	0.130	0.052	0.100	0.185			

* = significant values (in bold)

Table 2 shows a significant difference in the variables longitudinal ($p < 0.0001$) and transverse ($p = 0.004$) diameter, as well as longitudinal ($p < 0.0001$) and transverse ($p = 0.052$) wall in the lateral plantar digital artery of the pelvic limb (RPL), with the mules presenting higher values. However, no significant differences were observed in the medial plantar digital artery of the same limb (RPL).

The lateral digital plantar artery of the left pelvic limb (LPL) presented a significant difference in the longitudinal diameter ($p = 0.01$), with horses presenting higher values. The medial digital plantar artery of the LPL presented a significant difference in the longitudinal ($p = 0.006$) and transverse ($p = 0.043$) variables, with the longitudinal diameter higher in horses while the transversal diameter was higher in the mules (**Table 2**).

Tabela 2 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the variables in B-Mode ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the pelvic limbs, for comparison between horses and mules.

Pelvic limb	Face	B-Mode	Animals	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Right	Lateral	Longitudinal Diameter	Horses	0.445	0.455	0.076	0.395	0.490	< 0.001*
			Mules	0.552	0.550	0.106	0.490	0.630	
		Transverse Diameter	Horses	0.410	0.400	0.066	0.345	0.460	0.004*
			Mules	0.498	0.480	0.114	0.400	0.590	
		Longitudinal Wall	Horses	0.084	0.080	0.023	0.070	0.100	0.001*
			Mules	0.112	0.110	0.032	0.095	0.130	
	Transverse Wall	Horses	0.083	0.090	0.024	0.070	0.100	0.052*	
		Mules	0.101	0.100	0.036	0.070	0.120		
	Medial	Longitudinal Diameter	Horses	0.495	0.500	0.083	0.435	0.535	0.337
			Mules	0.458	0.440	0.118	0.390	0.550	
		Transverse Diameter	Horses	0.411	0.410	0.097	0.320	0.440	0.148
			Mules	0.450	0.430	0.126	0.330	0.590	
		Longitudinal Wall	Horses	0.095	0.090	0.025	0.070	0.115	0.148
			Mules	0.084	0.080	0.026	0.070	0.100	
Transverse Wall		Horses	0.085	0.090	0.026	0.065	0.105	0.225	
		Mules	0.094	0.090	0.026	0.080	0.110		
Left	Lateral	Longitudinal Diameter	Horses	0.428	0.430	0.050	0.395	0.450	0.01*
			Mules	0.384	0.360	0.093	0.320	0.440	
		Transverse Diameter	Horses	0.411	0.390	0.061	0.370	0.455	0.383
			Mules	0.402	0.370	0.066	0.350	0.460	
		Longitudinal Wall	Horses	0.090	0.090	0.032	0.068	0.103	0.907
			Mules	0.088	0.080	0.023	0.070	0.100	
	Transverse Wall	Horses	0.083	0.075	0.027	0.068	0.100	0.93	
		Mules	0.084	0.080	0.029	0.060	0.100		
	Medial	Longitudinal Diameter	Horses	0.444	0.460	0.063	0.408	0.490	0.006*
			Mules	0.401	0.400	0.076	0.350	0.450	
		Transverse Diameter	Horses	0.367	0.355	0.136	0.300	0.475	0.043*
			Mules	0.419	0.420	0.058	0.380	0.440	
		Longitudinal Wall	Horses	0.094	0.090	0.021	0.080	0.110	0.339
			Mules	0.089	0.090	0.022	0.070	0.100	
Transverse Wall		Horses	0.076	0.075	0.035	0.050	0.100	0.082	
		Mules	0.091	0.090	0.028	0.070	0.100		

* = significant values (in bold)

Table 3 shows a significant difference between horses and mules in the lateral palmar digital artery of the right thoracic limb (RTL) in the variables pSV ($p < 0.001$), fDV ($p < 0.001$) and MV ($p < 0.001$), with higher values observed in horses. The medial palmar digital artery of the RTL limb presented a significant difference in the variables RI ($p < 0.001$), PI ($p < 0.001$), pSV ($p < 0.001$), fDV ($p < 0.001$) and MV ($p < 0.001$), with higher values observed in horses.

The lateral palmar digital artery of the left thoracic limb (LTL) presented a significant difference in the variables RI ($p = 0.003$) and PI ($p = 0.029$), with higher values observed in mules. However, for the variables pSV ($p < 0.001$), fDV ($p < 0.001$) and MV ($p < 0.001$), the horses presented higher values. In the medial palmar digital artery of the LTL, there was a significant difference in the variables pSV ($p = 0.005$) and MV ($p = 0.038$), with higher values observed in horses.

Tabela 3 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the variables of spectral Doppler ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the thoracic limbs, for comparison between horses and mules.

Thoracic limb	Face	Doppler	Animals	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value	
Right	Lateral	RI	Horses	0.564	0.570	0.053	0.525	0.600	0.213	
			Mules	0.576	0.580	0.077	0.510	0.640		
		PI	Horses	0.986	0.935	0.189	0.870	1.130	0.329	
			Mules	0.942	0.950	0.210	0.770	1.110		
		pSV	Horses	30.98	26.96	11.95	22.62	34.54	<0.001*	
			Mules	19.76	20.11	4.02	16.66	23.24		
		fDV	Horses	12.15	10.16	6.25	9.20	12.10	<0.001*	
			Mules	8.40	8.37	2.03	6.96	9.61		
		MV	Horses	19.38	16.18	8.76	14.77	20.55	<0.001*	
			Mules	12.63	12.88	2.60	10.14	14.47		
		Medial	RI	Horses	0.597	0.620	0.072	0.570	0.650	<0.001*
				Mules	0.565	0.565	0.071	0.523	0.610	
	PI		Horses	1.037	1.090	0.174	0.965	1.155	<0.001*	
			Mules	0.894	0.880	0.179	0.770	0.985		
	pSV		Horses	30.05	31.65	12.61	16.23	39.80	<0.001*	
			Mules	19.22	18.11	6.41	13.39	22.02		
	fDV	Horses	12.57	12.39	7.21	5.76	15.10	<0.001*		
		Mules	8.16	7.72	2.24	6.68	8.98			
	MV	Horses	18.07	20.01	7.44	9.21	23.27	<0.001*		
		Mules	12.54	12.13	3.41	9.46	15.85			
	Left	Lateral	RI	Horses	0.551	0.565	0.095	0.453	0.648	0.003*
				Mules	0.614	0.600	0.092	0.555	0.670	
			PI	Horses	0.941	0.915	0.218	0.735	1.125	0.029*
				Mules	1.077	0.980	0.328	0.830	1.200	
pSV			Horses	34.12	36.47	10.98	22.25	40.89	<0.001*	
			Mules	15.20	16.35	3.75	11.82	18.48		
fDV			Horses	14.19	12.95	5.81	8.34	19.69	<0.001*	
			Mules	5.80	5.23	2.31	3.57	8.07		
MV			Horses	21.59	22.44	7.29	15.82	26.82	<0.001*	
			Mules	9.18	8.14	2.80	6.83	11.89		
Medial			RI	Horses	0.593	0.600	0.087	0.520	0.660	0.563
				Mules	0.606	0.590	0.097	0.545	0.680	
		PI	Horses	1.082	1.100	0.260	0.920	1.270	0.542	
			Mules	1.100	0.980	0.375	0.840	1.320		
		pSV	Horses	23.26	26.87	12.21	9.29	31.03	0.005*	
			Mules	17.21	16.03	5.09	13.19	22.48		
fDV		Horses	9.25	8.55	6.37	3.24	11.82	0.099		
		Mules	6.52	5.65	2.66	4.38	9.27			
MV		Horses	14.65	14.20	8.86	5.63	18.46	0.038*		
		Mules	10.52	9.30	3.71	7.43	13.51			

RI = resistivity index

PI = pulsatility index

pSV = peak systolic velocity

fDV = final diastolic velocity

MV = mean velocity

* = significant values (in bold)

Table 4 shows a significant difference in the lateral digital plantar artery of the right pelvic limb (RPL) in the variables pSV ($p < 0.001$), fDV ($p = 0.005$) and MV ($p < 0.001$), with horses presenting higher values. In the RPL medial plantar digital artery there was a difference in the variables PI ($p = 0.004$), pSV ($p < 0.001$), fDV ($p = 0.006$) and MV ($p = 0.002$), with higher values observed in horses.

The lateral and medial digital plantar artery of the left pelvic limb (LPL) presented a significant difference in the variables pSV ($p < 0.001$), fDV ($p < 0.001$) and MV ($p < 0.001$), with horses presenting higher values.

Tabela 4 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the variables of the spectral Doppler ultrasonography of the lateral and medial digital arteries of the pelvic limbs, for comparison between horses and mules.

Pelvic limb	Face	Doppler	Animals	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Right	Lateral	RI	Horses	0.613	0.650	0.082	0.540	0.680	0.834
			Mules	0.608	0.600	0.075	0.553	0.680	
		PI	Horses	1.165	1.100	0.312	0.890	1.410	0.308
			Mules	1.098	1.045	0.258	0.890	1.338	
		pSV	Horses	29.15	23.35	14.90	15.35	44.32	<0.001*
			Mules	16.22	16.35	4.13	13.77	17.53	
		fDV	Horses	10.92	8.55	6.80	4.89	16.71	0.005*
			Mules	6.19	5.91	1.82	4.80	7.29	
		MV	Horses	16.87	13.92	9.52	8.32	27.12	<0.001*
			Mules	9.19	8.51	2.74	7.72	10.67	
	Medial	RI	Horses	0.650	0.675	0.088	0.590	0.720	0.07
			Mules	0.626	0.600	0.078	0.560	0.680	
		PI	Horses	1.281	1.355	0.272	1.023	1.510	0.004*
			Mules	1.122	0.990	0.293	0.900	1.310	
		pSV	Horses	30.07	32.64	13.20	16.19	43.23	<0.001*
			Mules	18.53	18.61	4.84	15.04	21.93	
		fDV	Horses	10.04	9.18	5.78	4.45	13.56	0.006*
			Mules	6.69	6.63	2.50	4.63	8.97	
		MV	Horses	16.42	16.04	8.17	8.11	22.33	0.002*
			Mules	10.91	11.14	3.27	8.21	13.61	
Left	Lateral	RI	Horses	0.626	0.640	0.074	0.570	0.680	0.434
			Mules	0.636	0.655	0.094	0.543	0.708	
		PI	Horses	1.163	1.205	0.326	0.980	1.260	0.438
			Mules	1.198	1.230	0.314	0.923	1.438	
		pSV	Horses	33.47	38.72	14.07	20.05	44.11	<0.001*
			Mules	15.78	15.41	4.89	11.39	20.92	
		fDV	Horses	12.45	12.72	6.99	6.55	14.66	<0.001*
			Mules	5.61	5.24	2.55	3.17	7.81	
		MV	Horses	18.91	21.01	9.31	9.80	23.34	<0.001*
			Mules	9.04	8.45	3.22	6.08	11.19	
	Medial	RI	Horses	0.620	0.610	0.075	0.560	0.670	0.369
			Mules	0.646	0.610	0.107	0.560	0.730	
		PI	Horses	1.150	1.090	0.286	0.970	1.210	0.904
			Mules	1.274	1.090	0.492	0.900	1.568	
		pSV	Horses	37.45	24.45	20.10	19.28	55.23	<0.001*
			Mules	17.89	18.09	3.55	14.88	21.15	
		fDV	Horses	13.26	9.61	6.76	7.94	19.64	<0.001*
			Mules	6.19	6.15	2.24	4.58	8.22	
		MV	Horses	21.31	14.58	11.24	11.97	31.96	<0.001*
			Mules	10.06	9.14	2.44	8.62	12.18	

RI = resistivity index

PI = pulsatility index

pSV = peak systolic velocity

fDV = final diastolic velocity

MV = mean velocity

* = significant values (in bold)

Performing the B-mode ultrasonography in horses (**Table 5**) there were significant differences between the pelvic and thoracic limbs in the lateral digital artery in the longitudinal ($p < 0.001$) and transverse ($p < 0.001$) diameters, longitudinal ($p < 0.001$) and transversal ($p < 0.001$) walls, whereby the thoracic limbs showed higher values, in the right and left limbs.

In the medial digital artery, there was a significant difference in the variables longitudinal ($p < 0.001$) and transverse ($p < 0.001$) diameters, longitudinal ($p = 0.006$; $p < 0.001$) and transverse ($p = 0.004$; $p < 0.001$) walls, with the thoracic limbs showing higher values in both limbs.

Tabela 5 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs.

Region	B-mode	Side	Limb	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Lateral	Longitudinal diameter	Right	Pelvic	0.445	0.455	0.076	0.395	0.490	<0.001*
			Thoracic	0.527	0.540	0.067	0.450	0.580	
		Left	Pelvic	0.428	0.430	0.050	0.395	0.450	<0.001*
			Thoracic	0.541	0.520	0.073	0.510	0.555	
	Transversal diameter	Right	Pelvic	0.410	0.400	0.066	0.345	0.460	<0.001*
			Thoracic	0.532	0.550	0.049	0.500	0.560	
		Left	Pelvic	0.411	0.390	0.061	0.370	0.455	<0.001*
			Thoracic	0.610	0.600	0.093	0.545	0.640	
	Longitudinal wall	Right	Pelvic	0.084	0.080	0.023	0.070	0.100	<0.001*
			Thoracic	0.113	0.110	0.025	0.100	0.130	
		Left	Pelvic	0.090	0.090	0.032	0.068	0.103	<0.001*
			Thoracic	0.120	0.120	0.032	0.110	0.130	
Transversal wall	Right	Pelvic	0.083	0.090	0.024	0.070	0.100	<0.001*	
		Thoracic	0.116	0.120	0.028	0.093	0.138		
	Left	Pelvic	0.083	0.075	0.027	0.068	0.100	<0.001*	
		Thoracic	0.142	0.140	0.037	0.110	0.150		
Medial	Longitudinal diameter	Right	Pelvic	0.495	0.500	0.083	0.435	0.535	0.057
			Thoracic	0.545	0.535	0.055	0.503	0.565	
		Left	Pelvic	0.444	0.460	0.063	0.408	0.490	<0.001*
			Thoracic	0.578	0.570	0.060	0.530	0.610	
	Transversal diameter	Right	Pelvic	0.411	0.410	0.097	0.320	0.440	<0.001*
			Thoracic	0.574	0.595	0.079	0.493	0.610	
		Left	Pelvic	0.367	0.355	0.136	0.300	0.475	<0.001*
			Thoracic	0.545	0.570	0.161	0.520	0.650	
	Longitudinal wall	Right	Pelvic	0.095	0.090	0.025	0.070	0.115	0.006*
			Thoracic	0.119	0.115	0.026	0.100	0.138	
		Left	Pelvic	0.094	0.090	0.021	0.080	0.110	<0.001*
			Thoracic	0.120	0.120	0.025	0.100	0.140	
Transversal wall	Right	Pelvic	0.085	0.090	0.026	0.065	0.105	0.004*	
		Thoracic	0.114	0.110	0.030	0.093	0.138		
	Left	Pelvic	0.076	0.075	0.035	0.050	0.100	<0.001*	
		Thoracic	0.128	0.130	0.049	0.100	0.150		

* $P < 0.05$.

Performing B-mode ultrasonography in mules (**Table 6**), the lateral digital artery showed a significant difference between the pelvic and thoracic limbs by means of the variables: longitudinal ($p < 0.001$) and transverse ($p < 0.001$) diameters, longitudinal ($p < 0.001$) and transversal ($p < 0.001$) walls, with the left thoracic limb (LTL) presented higher value when compared to the left pelvic limb (LPL).

The medial digital artery presented difference between the pelvic and thoracic limbs in the longitudinal ($p < 0.001$) and transverse ($p < 0.001$) diameters, longitudinal ($p = 0.007$; $p < 0.001$) and transverse ($p = 0.042$; $p < 0.001$) walls, with the right and left thoracic members presenting higher values.

Tabela 6 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs.

Region	B-mode	Side	Limb	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Lateral	Longitudinal diameter	Right	Pelvic	0.552	0.550	0.106	0.490	0.630	0.552
			Thoracic	0.538	0.540	0.090	0.490	0.580	
		Left	Pelvic	0.384	0.360	0.093	0.320	0.440	<0.001*
			Thoracic	0.552	0.570	0.052	0.510	0.580	
	Transversal diameter	Right	Pelvic	0.498	0.480	0.114	0.400	0.590	0.561
			Thoracic	0.520	0.530	0.083	0.460	0.560	
		Left	Pelvic	0.402	0.370	0.066	0.350	0.460	<0.001*
			Thoracic	0.531	0.540	0.183	0.500	0.600	
	Longitudinal wall	Right	Pelvic	0.112	0.110	0.032	0.095	0.130	0.212
			Thoracic	0.103	0.100	0.027	0.080	0.120	
		Left	Pelvic	0.088	0.080	0.023	0.070	0.100	<0.001*
			Thoracic	0.119	0.120	0.026	0.100	0.140	
Transversal wall	Right	Pelvic	0.101	0.100	0.036	0.070	0.120	0.173	
		Thoracic	0.110	0.110	0.032	0.080	0.130		
	Left	Pelvic	0.084	0.080	0.029	0.060	0.100	<0.001*	
		Thoracic	0.126	0.130	0.055	0.090	0.160		
Medial	Longitudinal diameter	Right	Pelvic	0.458	0.440	0.118	0.390	0.550	0.155
			Thoracic	0.490	0.520	0.129	0.500	0.530	
		Left	Pelvic	0.401	0.400	0.076	0.350	0.450	<0.001*
			Thoracic	0.550	0.540	0.060	0.490	0.560	
	Longitudinal diameter	Right	Pelvic	0.450	0.430	0.126	0.330	0.590	<0.001*
			Thoracic	0.550	0.530	0.083	0.500	0.600	
		Left	Pelvic	0.419	0.420	0.058	0.380	0.440	<0.001*
			Thoracic	0.567	0.590	0.150	0.510	0.650	
	Longitudinal wall	Right	Pelvic	0.084	0.080	0.026	0.070	0.100	0.007*
			Thoracic	0.098	0.100	0.034	0.088	0.130	
		Left	Pelvic	0.089	0.090	0.022	0.070	0.100	<0.001*
			Thoracic	0.114	0.100	0.024	0.100	0.130	
Transversal wall	Right	Pelvic	0.094	0.090	0.026	0.080	0.110	0.042*	
		Thoracic	0.109	0.100	0.031	0.090	0.130		
	Left	Pelvic	0.091	0.090	0.028	0.070	0.100	<0.001*	
		Thoracic	0.141	0.130	0.052	0.100	0.185		

* $P < 0.05$.

Performing spectral Doppler ultrasonography in equines (**Table 7**), the lateral digital artery showed a significant difference between the pelvic and thoracic limbs, in the RI ($p= 0.004$; $p<0.001$), PI ($p= 0.006$; $p<0.001$) and VM ($p= 0.039$; $p= 0.012$) measures, with RI and PI showing higher values for the right and left pelvic limbs, while VM showed higher values for the right and left thoracic limbs.

The medial digital artery showed a significant difference to RI ($p<0.001$) and PI ($p<0.001$) between the right pelvic limb (RPL) and the right thoracic limb (RTL), with RPL showing greater values.

The medial digital artery showed a significant difference to pSV ($p= 0.006$) and VM ($p= 0.010$), between the LPL and the LTL, in which the LTL presented higher values. As for the fDV variable, there was a difference in the pelvic and thoracic limbs to medial digital artery, with the right ($p= 0.015$) and left ($p= 0.002$) thoracic limbs showing higher values.

Tabela 7 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs.

Region	Doppler	Side	Limb	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Lateral	RI	Right	Pelvic	0.613	0.650	0.082	0.540	0.680	0.004*
			Thoracic	0.564	0.570	0.053	0.525	0.600	
		Left	Pelvic	0.626	0.640	0.074	0.570	0.680	<0.001*
			Thoracic	0.551	0.565	0.095	0.453	0.648	
	PI	Right	Pelvic	1.165	1.100	0.312	0.890	1.410	0.006*
			Thoracic	0.986	0.935	0.189	0.870	1.130	
		Left	Pelvic	1.163	1.205	0.326	0.980	1.260	<0.001*
			Thoracic	0.941	0.915	0.218	0.735	1.125	
	pSV	Right	Pelvic	29.15	23.35	14.90	15.35	44.32	0.178
			Thoracic	30.98	26.96	11.95	22.62	34.54	
		Left	Pelvic	33.47	38.72	14.07	20.05	44.11	0.951
			Thoracic	34.12	36.47	10.98	22.25	40.89	
	fDV	Right	Pelvic	10.92	8.55	6.80	4.89	16.71	0.07
			Thoracic	12.15	10.16	6.25	9.20	12.10	
		Left	Pelvic	12.45	12.72	6.99	6.55	14.66	0.059
			Thoracic	14.19	12.95	5.81	8.34	19.69	
	VM	Right	Pelvic	16.87	13.92	9.52	8.32	27.12	0.039*
			Thoracic	19.38	16.18	8.76	14.77	20.55	
		Left	Pelvic	18.91	21.01	9.31	9.80	23.34	0.012*
			Thoracic	21.59	22.44	7.29	15.82	26.82	
Medial	RI	Right	Pelvic	0.650	0.675	0.088	0.590	0.720	<0.001
			Thoracic	0.597	0.620	0.072	0.570	0.650	
		Left	Pelvic	0.620	0.610	0.075	0.560	0.670	0.15
			Thoracic	0.593	0.600	0.087	0.520	0.660	
	PI	Right	Pelvic	1.281	1.355	0.272	1.023	1.510	<0.001*
			Thoracic	1.037	1.090	0.174	0.965	1.155	
		Left	Pelvic	1.150	1.090	0.286	0.970	1.210	0.627
			Thoracic	1.082	1.100	0.260	0.920	1.270	
	pSV	Right	Pelvic	30.07	32.64	13.20	16.19	43.23	0.695
			Thoracic	30.05	31.65	12.61	16.23	39.80	
		Left	Pelvic	23.26	24.45	20.10	19.28	55.23	0.006*
			Thoracic	37.45	26.87	12.21	9.29	31.03	
	fDV	Right	Pelvic	10.04	9.18	5.78	4.45	13.56	0.015*
			Thoracic	12.57	12.39	7.21	5.76	15.10	
		Left	Pelvic	13.26	9.61	6.76	7.94	19.64	0.002*
			Thoracic	9.25	8.55	6.37	3.24	11.82	
	VM	Right	Pelvic	16.42	16.04	8.17	8.11	22.33	0.111
			Thoracic	18.07	20.01	7.44	9.21	23.27	
		Left	Pelvic	14.65	14.20	8.86	5.63	18.46	0.010*
			Thoracic	21.31	14.58	11.24	11.97	31.96	

RI = Resistivity index

PI = Pulsatility index

pSV = Systolic velocity

fDV = Final diastolic velocity

VM = mean velocity

* P<0.05.

There were differences in RI (p= 0.027 right) and PI (p<0.001 right and p= 0.011 left) between the pelvic and thoracic mules' limbs in the lateral digital artery assessed by spectral Doppler ultrasonography (**Table 8**), in which the pelvic limbs showed higher values. Regarding to pSV (p <0.001), fDV (p<0.001) and VM (p <0.001), there were differences between the RPL and RTL, whereby the thoracic limb presenting higher

mean. In the medial digital artery, there were difference in RI ($p < 0.001$; $p = 0.039$) and PI ($p < 0.001$; $p = 0.029$), in which right and left pelvic limbs presented higher means. Related to fDV ($p = 0.003$) and VM ($p = 0.017$) there was a significant difference between the RPL and the RTL, with the thoracic limb showing higher values (**Table 8**).

Tabela 8 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs.

Region	Doppler	Side	Limb	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Lateral	RI	Right	Pelvic	0.608	0.600	0.075	0.553	0.680	0.027*
			Thoracic	0.576	0.580	0.077	0.510	0.640	
		Left	Pelvic	0.636	0.655	0.094	0.543	0.708	0.13
			Thoracic	0.614	0.600	0.092	0.555	0.670	
	PI	Right	Pelvic	1.098	1.045	0.258	0.890	1.338	<0.001*
			Thoracic	0.942	0.950	0.210	0.770	1.110	
		Left	Pelvic	1.198	1.230	0.314	0.923	1.438	0.011*
			Thoracic	1.077	0.980	0.328	0.830	1.200	
	pSV	Right	Pelvic	16.22	16.35	4.13	13.77	17.53	<0.001*
			Thoracic	19.76	20.11	4.02	16.66	23.24	
		Left	Pelvic	15.78	15.41	4.89	11.39	20.92	0.65
			Thoracic	15.20	16.35	3.75	11.82	18.48	
	fDV	Right	Pelvic	6.19	5.91	1.82	4.80	7.29	<0.001*
			Thoracic	8.40	8.37	2.03	6.96	9.61	
		Left	Pelvic	5.61	5.24	2.55	3.17	7.81	0.469
			Thoracic	5.80	5.23	2.31	3.57	8.07	
	VM	Right	Pelvic	9.19	8.51	2.74	7.72	10.67	<0.001*
			Thoracic	12.63	12.88	2.60	10.14	14.47	
Left		Pelvic	9.04	8.45	3.22	6.08	11.19	0.576	
		Thoracic	9.18	8.14	2.80	6.83	11.89		
Medial	RI	Right	Pelvic	0.626	0.600	0.078	0.560	0.680	<0.001*
			Thoracic	0.565	0.565	0.071	0.523	0.610	
		Left	Pelvic	0.646	0.610	0.107	0.560	0.730	0.039*
			Thoracic	0.606	0.590	0.097	0.545	0.680	
	PI	Right	Pelvic	1.122	0.990	0.293	0.900	1.310	<0.001*
			Thoracic	0.894	0.880	0.179	0.770	0.985	
		Left	Pelvic	1.274	1.090	0.492	0.900	1.568	0.029*
			Thoracic	1.100	0.980	0.375	0.840	1.320	
	pSV	Right	Pelvic	18.53	18.61	4.84	15.04	21.93	0.91
			Thoracic	19.22	18.11	6.41	13.39	22.02	
		Left	Pelvic	17.89	18.09	3.55	14.88	21.15	0.188
			Thoracic	17.21	16.03	5.09	13.19	22.48	
	fDV	Right	Pelvic	6.69	6.63	2.50	4.63	8.97	0.003*
			Thoracic	8.16	7.72	2.24	6.68	8.98	
		Left	Pelvic	6.19	6.15	2.24	4.58	8.22	0.494
			Thoracic	6.52	5.65	2.66	4.38	9.27	
	VM	Right	Pelvic	10.91	11.14	3.27	8.21	13.61	0.017*
			Thoracic	12.54	12.13	3.41	9.46	15.85	
Left		Pelvic	10.06	9.14	2.44	8.62	12.18	0.881	
		Thoracic	10.52	9.30	3.71	7.43	13.51		

RI = Resistivity index

PI = Pulsatility index

pSV = Systolic velocity

fDV = Final diastolic velocity

VM = Mean velocity

* $P < 0.05$.

Comparing the right and left thoracic horses' limbs by B-mode ultrasonography, the lateral palmar digital artery showed a significant difference in the transverse diameter ($p < 0.001$) and in the transverse wall ($p = 0.012$) (**Table 9**), with high mean to the left limb, whereas in the medial palmar digital artery of the thoracic limbs, there was a difference only in the longitudinal diameter ($p = 0.046$), with LTL higher mean.

There was no difference between the right and left limbs in the lateral digital plantar artery in the pelvic horses' limbs. However, the medial plantar digital artery showed a significant difference in the longitudinal diameter ($p = 0.010$), with RPL showing higher mean.

Tabela 9 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between the pelvic and thoracic limbs.

Limb	Region	B-mode	Side	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Thoracic	Lateral	Longitudinal diameter	Right	0.527	0.540	0.067	0.450	0.580	0.986
			Left	0.541	0.520	0.073	0.510	0.555	
		Transversal diameter	Right	0.532	0.550	0.049	0.500	0.560	<0.001
			Left	0.610	0.600	0.093	0.545	0.640	
		Longitudinal wall	Right	0.113	0.110	0.025	0.100	0.130	0.355
			Left	0.120	0.120	0.032	0.110	0.130	
		Transversal wall	Right	0.116	0.120	0.028	0.093	0.138	0.012
			Left	0.142	0.140	0.037	0.110	0.150	
	Medial	Longitudinal diameter	Right	0.545	0.535	0.055	0.503	0.565	0.046
			Left	0.578	0.570	0.060	0.530	0.610	
		Transversal diameter	Right	0.574	0.595	0.079	0.493	0.610	0.739
			Left	0.545	0.570	0.161	0.520	0.650	
		Longitudinal wall	Right	0.119	0.115	0.026	0.100	0.138	0.730
			Left	0.120	0.120	0.025	0.100	0.140	
Transversal wall		Right	0.114	0.110	0.030	0.093	0.138	0.122	
		Left	0.128	0.130	0.049	0.100	0.150		
Pelvic	Lateral	Longitudinal diameter	Right	0.445	0.455	0.076	0.395	0.490	0.427
			Left	0.428	0.430	0.050	0.395	0.450	
		Transversal diameter	Right	0.410	0.400	0.066	0.345	0.460	0.894
			Left	0.411	0.390	0.061	0.370	0.455	
		Longitudinal wall	Right	0.084	0.080	0.023	0.070	0.100	0.616
			Left	0.090	0.090	0.032	0.068	0.103	
		Transversal wall	Right	0.083	0.090	0.024	0.070	0.100	0.893
			Left	0.083	0.075	0.027	0.068	0.100	
	Medial	Longitudinal diameter	Right	0.495	0.500	0.083	0.435	0.535	0.010
			Left	0.444	0.460	0.063	0.408	0.490	
		Transversal diameter	Right	0.411	0.410	0.097	0.320	0.440	0.224
			Left	0.367	0.355	0.136	0.300	0.475	
		Longitudinal wall	Right	0.095	0.090	0.025	0.070	0.115	0.980
			Left	0.094	0.090	0.021	0.080	0.110	
Transversal wall		Right	0.085	0.090	0.026	0.065	0.105	0.321	
		Left	0.076	0.075	0.035	0.050	0.100		

* $P < 0.05$.

Comparing mules' contralateral limbs by B-mode ultrasonography (**Table 10**), the lateral palmar digital artery showed significant differences in the transverse diameter ($p =$

0.05), longitudinal wall ($p = 0.026$) and in the transverse wall ($p = 0.049$), in which LTL showed higher value. Whilst the medial palmar digital artery showed a significant difference in the longitudinal diameter ($p = 0.047$) and in the transverse wall ($p = 0.004$), with the LTL presenting higher mean (**Table 10**).

There was a significant difference in longitudinal ($p < 0.001$) and transverse ($p < 0.001$) diameters, longitudinal ($p < 0.001$) and transverse ($p = 0.044$) walls in the lateral digital plantar artery to the pelvic limbs, with RPL showing higher values. The medial plantar digital artery there was a significant difference in diameter longitudinal ($p = 0.034$), with RPL showing higher values (**Table 10**).

Tabela 10 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by B-mode ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between right and left side of pelvic and thoracic limbs.

Limb	Region	B-mode	Side	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Thoracic	Lateral	Longitudinal diameter	Right	0.538	0.540	0.090	0.490	0.580	0.296
			Left	0.552	0.570	0.052	0.510	0.580	
		Transversal diameter	Right	0.520	0.530	0.083	0.460	0.560	0.05*
			Left	0.531	0.540	0.183	0.500	0.600	
		Longitudinal wall	Right	0.103	0.100	0.027	0.080	0.120	0.026*
			Left	0.119	0.120	0.026	0.100	0.140	
		Transversal wall	Right	0.110	0.110	0.032	0.080	0.130	0.049*
			Left	0.126	0.130	0.055	0.090	0.160	
	Medial	Longitudinal diameter	Right	0.490	0.520	0.129	0.500	0.530	0.047*
			Left	0.550	0.540	0.060	0.490	0.560	
		Transversal diameter	Right	0.550	0.530	0.083	0.500	0.600	0.158
			Left	0.567	0.590	0.150	0.510	0.650	
		Longitudinal wall	Right	0.098	0.100	0.034	0.088	0.130	0.062
			Left	0.114	0.100	0.024	0.100	0.130	
		Transversal wall	Right	0.109	0.100	0.031	0.090	0.130	0.004*
			Left	0.141	0.130	0.052	0.100	0.185	
Pelvic	Lateral	Longitudinal diameter	Right	0.552	0.550	0.106	0.490	0.630	<0.001*
			Left	0.384	0.360	0.093	0.320	0.440	
		Transversal diameter	Right	0.498	0.480	0.114	0.400	0.590	<0.001*
			Left	0.402	0.370	0.066	0.350	0.460	
		Longitudinal wall	Right	0.112	0.110	0.032	0.095	0.130	<0.001*
			Left	0.088	0.080	0.023	0.070	0.100	
		Transversal wall	Right	0.101	0.100	0.036	0.070	0.120	0.044*
			Left	0.084	0.080	0.029	0.060	0.100	
	Medial	Longitudinal diameter	Right	0.458	0.440	0.118	0.390	0.550	0.034*
			Left	0.401	0.400	0.076	0.350	0.450	
		Transversal diameter	Right	0.450	0.430	0.126	0.330	0.590	0.407
			Left	0.419	0.420	0.058	0.380	0.440	
		Longitudinal wall	Right	0.084	0.080	0.026	0.070	0.100	0.383
			Left	0.089	0.090	0.022	0.070	0.100	
		Transversal wall	Right	0.094	0.090	0.026	0.080	0.110	0.42
			Left	0.091	0.090	0.028	0.070	0.100	

* $P < 0.05$.

The lateral digital palmar artery showed difference between the right and left, pSV ($p = < 0.002$), fDV ($p = < 0.002$) and VM ($p = < 0.012$), with right showing higher values. The lateral digital plantar artery showed no difference between the right and left pelvic limbs, although the medial digital plantar artery showed a significant difference to RI ($p =$

0.039), PI (p= 0.011), pSV (p= 0.024), fDV (p= 0.04) and VM (p= 0.031), with RPL values were significantly higher in RI and PI, and LPL to pSV, fDV and VM (**Table 11**).

Tabela 11 Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the horses' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between right and left side of pelvic and thoracic limbs.

Limb	Region	Doppler	Side	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value
Thoracic	Lateral	RI	Right	0.564	0.570	0.053	0.525	0.600	0.822
			Left	0.551	0.565	0.095	0.453	0.648	
		PI	Right	0.986	0.935	0.189	0.870	1.130	0.219
			Left	0.941	0.915	0.218	0.735	1.125	
		pSV	Right	30.98	26.96	11.95	22.62	34.54	0.12
			Left	34.12	36.47	10.98	22.25	40.89	
	fDV	Right	12.15	10.16	6.25	9.20	12.10	0.058	
		Left	14.19	12.95	5.81	8.34	19.69		
	VM	Right	19.38	16.18	8.76	14.77	20.55	0.051	
		Left	21.59	22.44	7.29	15.82	26.82		
	Medial	RI	Right	0.597	0.620	0.072	0.570	0.650	0.701
			Left	0.593	0.600	0.087	0.520	0.660	
		PI	Right	1.037	1.090	0.174	0.965	1.155	0.381
			Left	1.082	1.100	0.260	0.920	1.270	
pSV		Right	30.05	31.65	12.61	16.23	39.80	0.002*	
		Left	23.26	26.87	12.21	9.29	31.03		
fDV		Right	12.57	12.39	7.21	5.76	15.10	0.002*	
		Left	9.25	8.55	6.37	3.24	11.82		
VM	Right	18.07	20.01	7.44	9.21	23.27	0.012*		
	Left	14.65	14.20	8.86	5.63	18.46			
Pelvic	Lateral	RI	Right	0.613	0.650	0.082	0.540	0.680	0.588
			Left	0.626	0.640	0.074	0.570	0.680	
		PI	Right	1.165	1.100	0.312	0.890	1.410	0.968
			Left	1.163	1.205	0.326	0.980	1.260	
		pSV	Right	29.15	23.35	14.90	15.35	44.32	0.16
			Left	33.47	38.72	14.07	20.05	44.11	
	fDV	Right	10.92	8.55	6.80	4.89	16.71	0.16	
		Left	12.45	12.72	6.99	6.55	14.66		
	VM	Right	16.87	13.92	9.52	8.32	27.12	0.164	
		Left	18.91	21.01	9.31	9.80	23.34		
	Medial	RI	Right	0.650	0.675	0.088	0.590	0.720	0.039*
			Left	0.620	0.610	0.075	0.560	0.670	
		PI	Right	1.281	1.355	0.272	1.023	1.510	0.011*
			Left	1.150	1.090	0.286	0.970	1.210	
PSV		Right	30.07	32.64	13.20	16.19	43.23	0.024*	
		Left	37.45	24.45	20.10	19.28	55.23		
fDV		Right	10.04	9.18	5.78	4.45	13.56	0.04*	
		Left	13.26	9.61	6.76	7.94	19.64		
VM	Right	16.42	16.04	8.17	8.11	22.33	0.031*		
	Left	21.31	14.58	11.24	11.97	31.96			

RI = Resistivity index

PI = Pulsatility index

SS = Systolic velocity

fDV = Final diastolic velocity

VM = Mean velocity

* P<0.05.

Comparing the mules' contralateral limbs by spectral Doppler ultrasonography (**Table 12**), the lateral palmar digital artery showed significant differences in RI (p = 0.031), PI (p = 0.039), pSV (p = < 0.001), fDV (p = <0.001) and VM (p = <0.001), which

the RI and PI were higher in the LTL, and the pSV, fDV and VM to the RTL. There was a significant difference to RI ($p = 0.022$), PI ($p = <0.001$), fDV ($p <0.001$) and VM ($p = 0.002$) in the medial palmar digital artery, with the LTL showing higher values to RI and PI, and the RTL to fDV and VM. The mules' pelvic limbs did not presented difference between the right and left limbs.

Tabela 12 - Mean, median, standard deviation, Q1 and Q3 of the mules' limbs variables by spectral Doppler ultrasonography, followed by the p-value to compare the digital arteries between right and left side of pelvic and thoracic limbs.

Limb	Region	Doppler	Side	Mean	Median	Standard deviation	Q1	Q3	P-value	
Thoracic	Lateral	RI	Right	0.576	0.580	0.077	0.510	0.640	0.031*	
			Left	0.614	0.600	0.092	0.555	0.670		
		PI	Right	0.942	0.950	0.210	0.770	1.110	0.039*	
			Left	1.077	0.980	0.328	0.830	1.200		
		pSV	Right	19.76	20.11	4.02	16.66	23.24	<0.001*	
			Left	15.20	16.35	3.75	11.82	18.48		
	fDV	Right	8.40	8.37	2.03	6.96	9.61	<0.001*		
		Left	5.80	5.23	2.31	3.57	8.07			
	VM	Right	12.63	12.88	2.60	10.14	14.47	<0.001*		
		Left	9.18	8.14	2.80	6.83	11.89			
	Pelvic	Lateral	RI	Right	0.608	0.600	0.075	0.553	0.680	0.09
				Left	0.636	0.655	0.094	0.543	0.708	
			PI	Right	1.098	1.045	0.258	0.890	1.338	0.121
				Left	1.198	1.230	0.314	0.923	1.438	
pSV			Right	16.22	16.35	4.13	13.77	17.53	0.535	
			Left	15.78	15.41	4.89	11.39	20.92		
fDV		Right	6.19	5.91	1.82	4.80	7.29	0.114		
		Left	5.61	5.24	2.55	3.17	7.81			
VM		Right	9.19	8.51	2.74	7.72	10.67	0.482		
		Left	9.04	8.45	3.22	6.08	11.19			
Medial	RI	Right	0.626	0.600	0.078	0.560	0.680	0.348		
		Left	0.646	0.610	0.107	0.560	0.730			
	PI	Right	1.122	0.990	0.293	0.900	1.310	0.214		
		Left	1.274	1.090	0.492	0.900	1.568			
	pSV	Right	18.53	18.61	4.84	15.04	21.93	0.508		
		Left	17.89	18.09	3.55	14.88	21.15			
	fDV	Right	6.69	6.63	2.50	4.63	8.97	0.221		
		Left	6.19	6.15	2.24	4.58	8.22			
VM	Right	10.91	11.14	3.27	8.21	13.61	0.127			
	Left	10.06	9.14	2.44	8.62	12.18				

RI = Resistivity index

PI = Pulsatility index

pSV = Systolic velocity

fDV = Final diastolic velocity

VM = Mean velocity

* $P < 0.05$.

4. Discussion

According to Torres & Jardim [21], horses have larger hooves than the mules, which suggests that the digital arteries of the thoracic limbs are larger in horses due to the greater blood supply to the site, as confirmed ultrasound examinations B-Mode and spectral Doppler in this study.

We identified that the digital arteries in the pelvic limbs presented higher values in the mules at some moments in the statistics (**Table 2**). According to Turner [22], the hooves of the thoracic limbs in horses have a more rounded shape than the pelvic limbs (hooves similar to a pear), which may have influenced the sizes of the digital palmar arteries (because the blood supply for the site is probably greater), resulting in larger diameters and IMT for horses.

Mules present intermediate characteristics between horses and donkeys, with phenotypic predominance of donkey characteristics, among them, the morphology of the hooves, which are encastellated and small, stand out [16]. It is believed that there were variations in the measurement limbs of horses and mules. Furthermore, blood vessels in bifurcating regions may present variations in diameter [7] and, in addition, when evaluating B-Mode ultrasound, it is required to consider that measurements in the transverse plane may underestimate or overestimate the true values of the artery diameters and IMT [23; 24]. However, obtaining information only through the transverse plane is not totally accurate.

In the Doppler ultrasonography, there were differences between horses and mules in the values of pSV, fDV and MV of the thoracic and pelvic limbs, which were higher in horses. This also explains the fact that the vessel diameters of horses presented higher values in almost all limbs, since the increase in blood flow is related to the diameter of the vessel [9; 25]. In addition, the mules presented a higher mean body weight (378 kg) than the horses (364 kg). According to Kanegusuku et al. [26], human patients with higher body weight tend to have lower blood flow velocity, which may explain the fact that horses had higher values in the pSV, fDV and MV variables.

The variables RI and PI presented variations between horses and mules in this study. According to the literature, the mules are hybrid equines [11-14] and, therefore, present differences in comparison to the anatomophysiological studies of horses [16, 27-29], which may also explain the differences observed in this study. It is also essential to emphasize that the RI variable may be influenced by several factors, such as the

compliance of the vessel wall, blood pressure and long-term effects of changing the hull geometry.

In horses and mules' thoracic limbs are usually more affected by locomotor diseases, however, they may occur in all four limbs [30]. The digital palmar arteries of the thoracic limbs of horses and mules showed higher values of diameter and IMT when compared to those of the pelvic limbs. In spectral Doppler ultrasonography, horses and mules had higher values of pSV, fDV and VM in the thoracic limbs. According to Gargano [25], blood flow is directly related to the increase in arterial diameter, which justifies the fact that horses and mules presented higher values of diameters and IMT (B-mode) for the thoracic limbs. Blood flow and vessel diameters were higher in the thoracic limbs, and naturally, the blood supply to these limbs are greater [31] which may be related to the fact that those limbs support 55% to 60% of the animal's entire body weight, thus the blood flow demand for the digit must be proportional to the weight supported [32]. Additionally, when a vessel undergoes increased resistance (RI), blood flow undergoes a smaller area of constant flow [7, 33, 34], observed in the present study in horses and mules' in pelvic limbs.

In humans, blood vessels may present differences between the right and left limbs [19], also observed in the present study to both horses and mules. The arteries of the upper humans' limbs can vary from 9 to 24% [35]. In animals, this difference can also be observed, and this greater asymmetry is observed in the locomotor members [36].

The horses presented no difference in the lateral palmar digital artery and lateral plantar digital artery between the contralateral limbs by Doppler ultrasonography, similar to observed by Menzies-Gow; Marr [20] and Aguirre et al. [37], who evaluated the lateral palmar digital artery of the both thoracic limbs of horses. However, the horses showed differences between the contralateral limbs in the medial palmar digital artery of the thoracic limbs and medial digital plantar artery of the pelvic members. Whilst in the mules, there were differences only between the thoracic limbs in the lateral and medial palmar digital arteries, in the pelvic limbs were not observed any difference. According to Cochard et al. [6], the comparison of blood flow in the digital palmar arteries of the horses' thoracic limbs using Doppler ultrasonography should not present significant differences between the contralateral limbs, although there may be some variability, different what was observed in the present study.

Only horses showed differences in the medial digital plantar arteries between the pelvic limbs. However, in healthy cattle Müller et al. [38], observed difference between

the right and left pelvic limbs in the lateral and medial digital plantar arteries by spectral Doppler ultrasonography. According to Stashak et al. [39], the animal's weight is not evenly distributed when resting its limb on the ground, supporting more medial lower of the hoof. The differences in changes in hoof pressure, induced by weight changes, may be responsible for the difference in blood flow between the right and left sides of the horses' locomotor limbs [38-40]

Depending on the anatomy, the lateral and medial palmar digital arteries are responsible for the digit's arterial supply, which originate from the bifurcation of the medial palmar artery and the lateral and medial digital plantar arteries originate from the bifurcation of the dorsal metatarsal artery III [1-5].

According to Yanik [7] changes in blood flow, vessel sizes and viscosity in regions of vessel bifurcations can occur, in addition to biological factors may change the blood flow [6; 20] which can justify the differences found between the contralateral in horses and mules' limbs.

The limbs movement during B-mode and spectral Doppler ultrasonography exams is another factor that can influence the digital arteries assessment, which can result in variations in blood flow velocity and the resistivity index (RI) [20]. Hoffmann et al. [41], using spectral Doppler to analyze the animals' lateral palmar digital arteries with weight support (load) and weightlessness (no load), observed variations between 23.6 to 37.8% of the blood flow velocity in the limbs. Wongaumnuaykul et al. [9], evaluated medial palmar digital arteries by spectral Doppler ultrasonography and observed variations in blood flow velocity (8.1 to 19.8%) between the control groups, the group with septic pododermatitis and laminitis. In the present study, ultrasonography examinations (B-mode and Doppler) were performed with body weight equally distributed over the four limbs to avoid hemodynamic changes and the RI, trying to maintain a pattern and minimum animals' mobility.

Despite Mode-B and Doppler ultrasonography are influenced by technical and biological factors, there are studies that describe the use of this tool in diagnosis [6, 20, 42-44] and in the treatments monitoring, such as septic pododermatitis and laminitis in horses [9].

5. Conclusion

Digital arteries had higher diameter and IMT values in horses in almost all limbs (B-Mode ultrasound). As for spectral Doppler, horses presented higher values in the variables pSV, fDV and MV, while RI and PI presented differences between horses and mules.

Horses and mules had the values of diameter, IMT and blood flow superior to the thoracic limbs and differences between the contralateral limbs. The modalities of B-mode and spectral Doppler ultrasonography demonstrated efficacy in the evaluation of the palmar and plantar digital arteries in horses and mules, and may show differences between the thoracic and pelvic limbs and their respective sides, and between animals, emphasizing the importance of performing ultrasonography in healthy animals.

ACKNOWLEDGMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001, our sincere thanks.

Conflict of interest statement. - The authors report no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Pollitt, C. C. Clinical anatomy and physiology of the normal equine foot. *Equine Veterinary Education*, 1992; 4(5), 219-224.
- [2] Denoix JM. Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs (manus and pes). *Vet Clinics of North America: Equine Practice* 1994;10(2):273-322. [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30358-9](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30358-9)
- [3] Kraus BLH, Kirker-Head CA, Kraus KH, Jakowski RM, Steckel RR. Vascular supply of the tendon of the equine deep digital flexor muscle within the digital sheath. *Vet Surgery* 1995;24(2):102-111. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.1995.tb01303.x>
- [4] Parks A. Form and function of the equine digit. *The Vet. Clinics: Equine Practice*. 2003, 19(1):285-307. [https://doi.org/10.1016/s0749-0739\(03\)00018-x](https://doi.org/10.1016/s0749-0739(03)00018-x)
- [5] Burg E, Diepenbroek C, Hoorneman N, Lichtenberg E. Explorative study of the natural balance method of hoof care in horses. AMC – group 272. Wageningen; 2007.
- [6] Cochard T, Toal RL; Saxton AM. Doppler ultrasonographic features of thoracic limb arteries in clinically normal horses. *Am. J. Vet. Research*. 2000, 61(2):183-90. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2000.61.183>
- [7] YANIK, L. The basics of Doppler ultrasonography. *Veterinary Medicine*, v.3, p.388-400, 2002.
- [8] Ginther, O. J., & Utt, M. D. (2004). Doppler ultrasound in equine reproduction: principles, techniques, and potential. *Journal of Equine Veterinary Science*, 24(12), 516-526. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2004.11.005>
- [9] Wongaumnaykul S., Siedler C., Schobesberger H., Stanek C. Doppler sonographic evaluation of the digital blood flow in horses with laminitis or septic pododermatitis. *Vet. Radiol. Ultrasound*. 2006, 2(47):199-205. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2006.00128.x>
- [10] Miele, F. R. Principles of Vascular Ultrasound Physics. In: *Noninvasive Vascular Diagnosis*. Springer, Cham, 2017. p. 33-47.
- [11] Anderson WS. Fertile Mare Mules. *J. Heredity*. 1939, 30(12): 62-5. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a104657>
- [12] Camac R. Introduction and origins of the donkey. In: Svendsen E.D. *The professional handbook of the donkey*. 3rd Ed. Londres: White Books. 1997, p. 9-18.
- [13] Araújo NA. *Origem Histórica do Jumento Doméstico*. Belo Horizonte: Grafipres. 2010, 277p.

- [14] Salles PA., Sousa LO., Barbosa LP., Gomes VVB., de Medeiros G.R., de Sousa CM., Weller M. Analysis of the population of equidae in semiarid region of Paraíba. *J. Biotechnonology and Biodiversity*. 2013, 4(3):269-75. <https://doi.org/10.15653/TPG-150534>
- [15] Mendoza FJ., Toribio RE., Perez-Ecija A. Donkey Internal Medicine—Part II: Cardiovascular, Respiratory, Neurologic, Urinary, Ophthalmic, Dermatology, and Musculoskeletal Disorders. *J. Equine Vet. Science*. 2018, 65(1):86-97. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.02.025>
- [16] Miranda ALS; Palhares MS. Muare: características, origem e particularidades clínico-laboratoriais. *Revista Científica Medicina Veterinária* . 2017, 29(1):1-8. ISSN 1679-7353
- [17] Getty, R. Equine osteology: the digit of the manus. In: GETTY R Sisson and Grossman's the anatomy of the domestic animals. Philadelphia: W.B. Saunders, 1986. p.291-296.
- [18] Latorre R, Vázquez JM, Gil F, Ramirez G, López-Albors O, Orenes M, Martinez-Gonariz F, Arenciba A. Teaching anatomy of the distal equine thoracic limb with plastinated slices. *J Int Soc Plastination* 2001;16(1):23-30.
- [19] Sayer A, Fatherree TJ, Congenital hemihyper trophy. *US Nav Med. Bull* 1945;44:142-7.
- [20] Menzies-Gow NJ., Marr CM. Repeatability of Doppler Ultrasonographic measurement of equine digital blood flow. *Vet. Radiol. Ultrasound*. 2007, 3(48):281-5. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2007.00243.x>
- [21] Torres ADP., Jardim WR. Jumentos e Muare. Criação de cavalos e de outros equinos. 1st Ed. São Paulo: Ed. Nobel. 1997, p. 431-79.
- [22] Turner TA. How to subjectively and objectively examine the equine foot. *Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners*. 2006, 56(1):531-7.
- [23] Liguori C., Paolillo A., Pietrosanto A. An automatic measurement system for the evaluation of carotid intima-media thickness. *EEE Trans. Instrum. Meas.* 2002, 50(1):1684-91. <https://doi.org/10.1109/19.982968>
- [24] Broom J. *Veterinary Ecocardiography*. 2nd Ed. 2011, p. 589.
- [25] Gargano RG. Ultrassonografia Doppler do fluxo arterial digital associado à alteração do coxim digital dos bovinos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2015, 101f.
- [26] Kanegusuku H., Cucato GG., Domiciano RM., Longano P., Puech-Leao P., Wolosker N., Correia MA. Impact of obesity on walking capacity and cardiovascular

parameters in patients with peripheral artery disease: A cross-sectional study. *J. Vascular Nursing*. 2020, 38(2):66-71 <https://doi.org/10.1016/j.jvn.2020.02.004>

[27] Burnhan S.L. Anatomical differences of the donkey and mule. *AAEP Proceedings*. 2002, 48(1):102-109.

[28] Alsafy MAM., El-Kammar MH., El-Gendy, SAA. Topographical anatomy, computed tomography and surgical approach of the guttural pouches of the donkey. *J. Equine Vet. Sci*. 2008, 28(1): 215-22. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2008.02.005>

[29] Smith DC. *The book of mules: selecting, breeding and caring for equine hybrids*. Connecticut: Lyons Press. 2009, 136p.

[30] Kahn CM. *Manual Merck de Veterinária*. 9th ed. São Paulo: Roca; 2008.

[31] Butler AJ, Colles CM, Dyson SJ, Kold SE, Poulos PW. *Clinical radiology of the horse*. Oxford: Wiley Blackwell; 2017:79-112.

[32] Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG. *Tratado de anatomia veterinária*. 3rd ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1997:446-75.

[33] Cipone M, Pietra M, Gandini G, Borai A, Guglielmini C, Venturoli M. Pulsed wave-doppler ultrasonographic evaluation of the common carotid artery in the resting horse: physiologic data. *Vet Radiol Ultrasound* 1997;38(3):200-6. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1997.tb00841.x>

[34] Varughese EE.; Brar PS.; Dhindsa SS. Uterine blood flow during various stages of pregnancy in dairy buffaloes using transrectal Doppler ultrasonography. *Animal reproduction science* 2013, 140(1-2):34-39.

[35] Celik HH., Görmüs G., Aldur M.M., & Ozcelik, M. Origin of the radial and ulnar arteries: variations in 81 arteriograms. *Morphologie: bulletin de l'Association des anatomistes*, 2001, 85(269):25.

[36] Wood W. Left-right asymmetry in animal development. *Annual review of cell and developmental biology* 1997;13(1):53-82.

[37] Aguirre CN, Talavera J, Fernández DP, María J. Usefulness of doppler ultrasonography to assess digital vascular dynamics in horses with systemic inflammatory response syndrome or laminitis. *J Am Vet Medical Association* 2013;243(12):1756-61. <https://doi.org/10.2460/javma.243.12.1756>

[38] Müller H, Heinrich M, Mielenz N, Reese S, Steiner A, Starke A. Evaluation of arterial digital blood flow using Doppler ultrasonography in healthy dairy cows. *BMC Vet Research* 2017;13(1):162. DOI 10.1186/s12917-017-1090-8

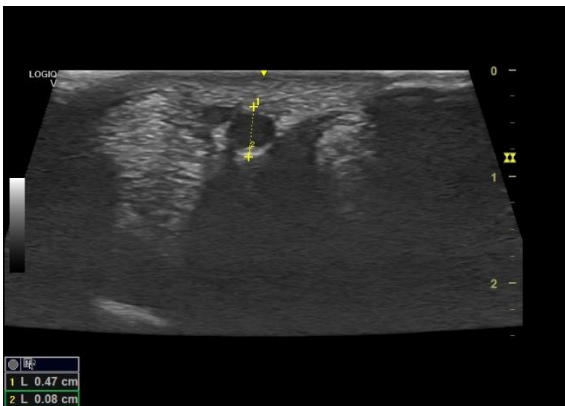
- [39] Stashak TS. Hill C. Conformação e movimento. In: Stashak Ted S. Claudicação em equinos segundo Adams. 5th ed. São Paulo: Roca; 2006:55-90.
- [40] Rasis AL, Young LE, Meire HB, Taylor PM, Walsh K, Lekeux P. Variability of Doppler ultrasound measurements of hindlimb blood flow in conscious horses. *Equine Vet J* 2000;32(2):125-32.
- [41] Hoffmann KL., Wood AKW., Griffiths KA., Evans DL., Gill RW., Kirby AC. Doppler sonographic measurements of arterial blood flow and their repeatability in the equine foot during weight bearing and non-weight bearing. *Res. Vet. Sci.* 2001, 70(3):1999-203. <<https://doi.org/10.1053/rvsc.2001.0461>>.
- [42] Walker M., Geiser D. Effects of acetylpromazine on the hemodynamics of the equine metatarsal artery, as determined by two-dimensional real-time and pulsed Doppler ultrasonography. *Am. J. Vet. Research.* 1986, 47(5):1075-8. <PMID:3521404>
- [43] Hunt R.J., Brandon CI., McCann ME. Effects of acetylpromazine, xylazine, and vertical load on digital arterial blood flow in horses. *Am. J. Vet. Research.* 1994, 55(3):375-8. <PMID: 8192261>
- [44] Ingle-Fehr JE., Baxter GM. Evaluation of digital and laminar blood flow in horses given a low dose of endotoxin. *Am. J. Vet. Researc.* 1998, 59(2):192-6. <PMID:9492935>



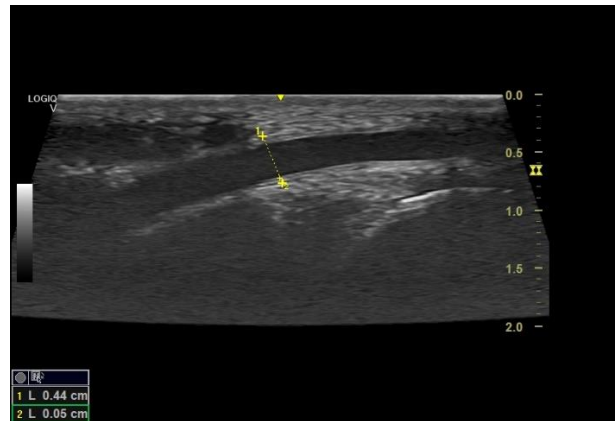
A



C



B

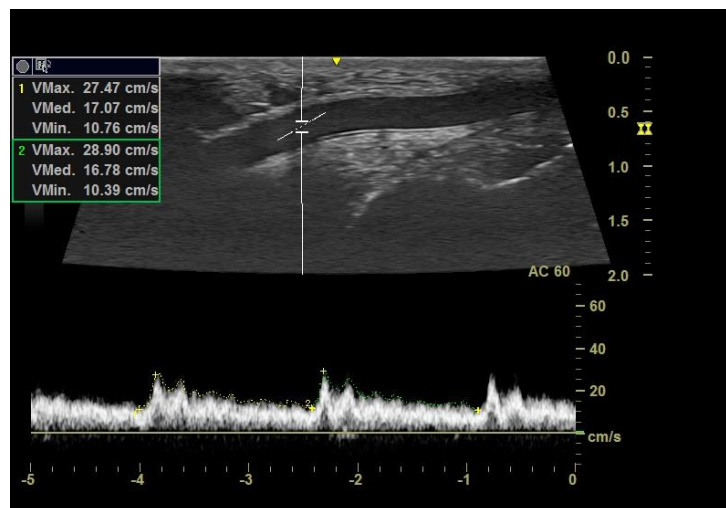


D

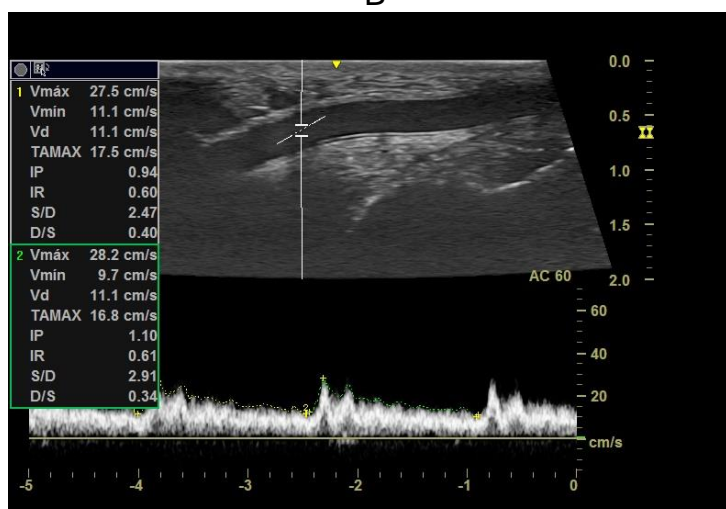
Figure 1 - Position of the transducer to obtain images in the planes: transverse (A - horse) and longitudinal (C - mule). B-mode ultrasound image of the digital artery in the planes: transverse (B) and longitudinal (D).



A



B



C

Figure 2- Position of the transducer in the longitudinal plane to perform spectral Doppler ultrasonography (A - horse). Post-processing of images with the contour of the waves to obtain the values of RI and PI (B), and pSV, fDV and MV (C).

Capítulo 3

Artigo Científico 2

Confirmação da submissão

[Imprimir](#)

Obrigado pela sua submissão

Submetido para	Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia
ID do manuscrito	ABMVZ-2021-12510
Título	Análise da ecogenicidade e ecotextura das paredes das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares
Autores	Fogaça, Jéssica Castiglioni, Maria Vettorato, Michel Melo Neto, Gabriel Filadelpho, André Puoli Filho, José Machado, Vania
Data da submissão	12-ago-2021

[Painel do autor >](#)

Análise da ecogenicidade e ecotextura das paredes das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares

[Analysis of the echogenicity and echotexture of the walls of the palmar and plantar digital arteries of horses and mules]

J.L. *Fogaça*¹, M.C.R. *Castiglioni*², M.C. *Vettorato*³, G. M.N. *Barbosa*⁴
A. L. *Filadelpho*⁵, J.N.P.P. *Filho*⁶, V.M.V. *Machado*⁷

RESUMO

Esse trabalho faz uma análise comparativa da ecogenicidade e ecotextura das artérias digitais palmares e plantares em equinos e muares hígidos pelo histograma em escala de cinza (HEC). Como também, propôs comparar a possível variabilidade entre a túnica-intima e média (EIM) superficial e profunda dos vasos avaliados. Foi realizado a ultrassonografia Modo-B no plano longitudinal nas artérias digitais palmares e plantares lateral e medial em 10 equinos e 10 muares hígidos e posteriormente as imagens foram analisadas, por meio, da ferramenta do Histograma em Escala de Cinza (HEC), onde foi adquirido a variável *Mean* (ecogenicidade) e *StdDev* (ecotextura). Observou que os muares apresentaram os valores de intensidade de brilho (*Mean*) mais elevados do que os equinos. Observou diferenças entre as EIM superficial e profunda nos equinos e muares, sendo que a parede profunda apresentou maior ecogenicidade e heterogeneidade. O HEC demonstrou ser uma ferramenta viável na quantificação da ecogenicidade e ecotextura das paredes (superficial e profunda) das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares. Além de evidenciar as diferenças encontradas entre os animais (equinos e muares) e as EIM (superficial e profunda).

Palavras chaves: histograma em escala de cinza, EIM, ultrassom

ABSTRACT

This study makes a comparative analysis of the echogenicity and echotexture of the palmar and plantar digital arteries in healthy horses and mules using the grayscale histogram (HEC). It also proposed to compare the possible variability between the superficial and deep tunica-intima and media (IM) of the evaluated vessels. Mode-B ultrasonography was performed in the longitudinal plane in the lateral and medial palmar and plantar digital arteries in 10 healthy horses and 10 mules and the images were later analyzed using the Gray Scale Histogram (HEC) tool. acquired the variable Mean (echogenicity) and StdDev (ecotexture). It was observed that mules had higher brightness intensity values (Mean) than horses. Differences were observed between superficial and deep IMT in horses and mules, with the deep wall showing greater echogenicity and heterogeneity. The HEC proved to be a viable tool to quantify the echogenicity and echotexture of the walls (superficial and deep) of the palmar and plantar digital arteries of horses and mules. In addition to highlighting the differences found between animals (horses and mules) and EIM (superficial and deep).

Keywords: grayscale histogram, EIM, ultrasound

INTRODUÇÃO

O ultrassonográfico pode apresentar divergência na interpretação dos seus achados, tornando-se necessário a utilização de técnicas que permitem avaliar e quantificar ecogenicidade e a ecotextura da região de interesse (Lee *et al.*, 2006). A ecogenicidade refere-se a capacidade de diferentes estruturas em refletir as ondas de ultrassom (ecos). Os órgãos e os tecidos são visualizados em vários tons de cinza (intensidade de brilho), que são relativamente constantes de animal para animal. Alguns estados de doenças pode alterar a ecogenicidade normal dos tecidos (Farrow, 1992).

Algumas técnicas possibilitam quantificar a ecogenicidade e ecotextura da região avaliada, permitindo minimizar possíveis erros de interpretação da imagem (Maeda *et al.*, 1998). A ferramenta do histograma em escala de cinza (HEC) tem sido aplicada para avaliação da ecogenicidade e da ecotextura de diversos órgãos, revelando aplicabilidade clínica (Lee *et al.*, 2006). O HEC está disponível em alguns softwares e vem sendo alvo de pesquisas para a padronização de valores, para a aplicação da rotina clínica em humanos e em animais, e na elaboração de possíveis protocolos experimentais (Maeda *et al.*, 1998).

O HEC vem sendo aplicado em imagens de ultrassonografia para avaliação de órgãos e tecidos em humanos (Kim *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2012; Tsai *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015; Harris-Love *et al.*, 2016; Shin *et al.*, 2016; Gollie *et al.*, 2018) e na avaliação das paredes de vasos que possuem placas ateroscleróticas (Picano *et al.*, 1986; Marks *et al.*, 2008; Andersson *et al.*, 2009, Sarmiento *et al.*, 2014).

As placas ateroscleróticas não são frequentes em animais quando comparada com humanos (Rosa *et al.*, 2003; Aguiar *et al.*, 2014). Embora existam relatos em cães (Hess *et al.*, 2003) e equinos (Colles e Hickman, 1977; Aguiar *et al.*, 2014).

Os muares são animais híbridos resultantes do cruzamento entre equinos e asininos, e com consequência disso apresentam diferenças anatomofisiológicas dos equinos (Anderson, 1939; Camac, 1997; Salles *et al.*, 2013). Nos últimos anos, esses animais vêm despertando interesse para o desenvolvimento de estudos realçando as diferenças normais encontradas (Salles *et al.*, 2013; Mendoza *et al.*, 2018).

Tendo em vista a crescente demanda por pesquisas científicas, este trabalho teve como objetivo comparar a ecogenicidade e ecotextura das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial, de equinos e muares, por HEC. Ainda mais, verificar as

diferenças entre a túnica-intima e média (EIM) superficial e profunda das artérias avaliadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu (FMVZ/UNESP) (Protocolo n° 0257/2018) e foi desenvolvida na Fazenda Edgárdia pertencente ao Campus de Botucatu (Figura 1) da FMVZ/UNESP.

Foram selecionados 10 muares hígidos (5 machos e 5 fêmeas), com peso corpóreo de 347 a 439 quilogramas (Kg) e idade de 4 a 15 anos. Utilizou também 10 equinos hígidos (5 machos e 5 fêmeas), com peso corpóreo de 336 a 390 Kg e idade de 2 a 18 anos. A higidez foi determinada, pela realização de um exame físico que incluiu avaliação da frequência cardíaca de repouso, frequência respiratória, motilidade intestinal e temperatura retal e exames laboratoriais.

Para realização dos exames de ultrassonografia Modo-B, foi realizado a tricotomia nas regiões do boleto e posteriormente aplicou-se o álcool isopropílico na concentração de 30% água e 70% álcool na região proximal do boleto. Foi utilizado um aparelho de ultrassom móvel, modelo *Logiq V2 da Healthcare*, com transdutor linear de alta frequência (8 a 12 MHz) para obtenção das imagens no plano longitudinal. Os exames foram realizados com os animais em estação sem muitos movimentos dos membros locomotores, com o peso corpóreo igualmente distribuído entre os membros.

As imagens das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial de todos os animais, foram avaliadas pela ferramenta do HEC disponível no software *ImageJ*® - *National Institutes of Health*. Para as medições do HEC na EIM superficial e profunda, foram padronizados uma região de interesse (ROI) com um tamanho amostral (*Count*) entre 300 a 500 pixels (Figura 1). Posteriormente, os valores das variáveis: *Mean* e *StdDev* foram para a análise estatística.

A variável *Mean* representa a intensidade de pixel referente a região de interesse (ROI), onde zero (0) representa um pixel de tonalidade totalmente preta (hipoecóico/hipoecogênico), e 255, um pixel de tonalidade totalmente branca (hiperecóico/hiperecogênico) (Ferreira; Rasband, 2011).

A variável *StdDev* corresponde o grau de variação (desvio padrão) de *Mean*, quanto menor valor, mais homogêneo é a intensidade de brilho, quanto maior valor, mais heterogêneo (Ferreira; Rasband, 2011).

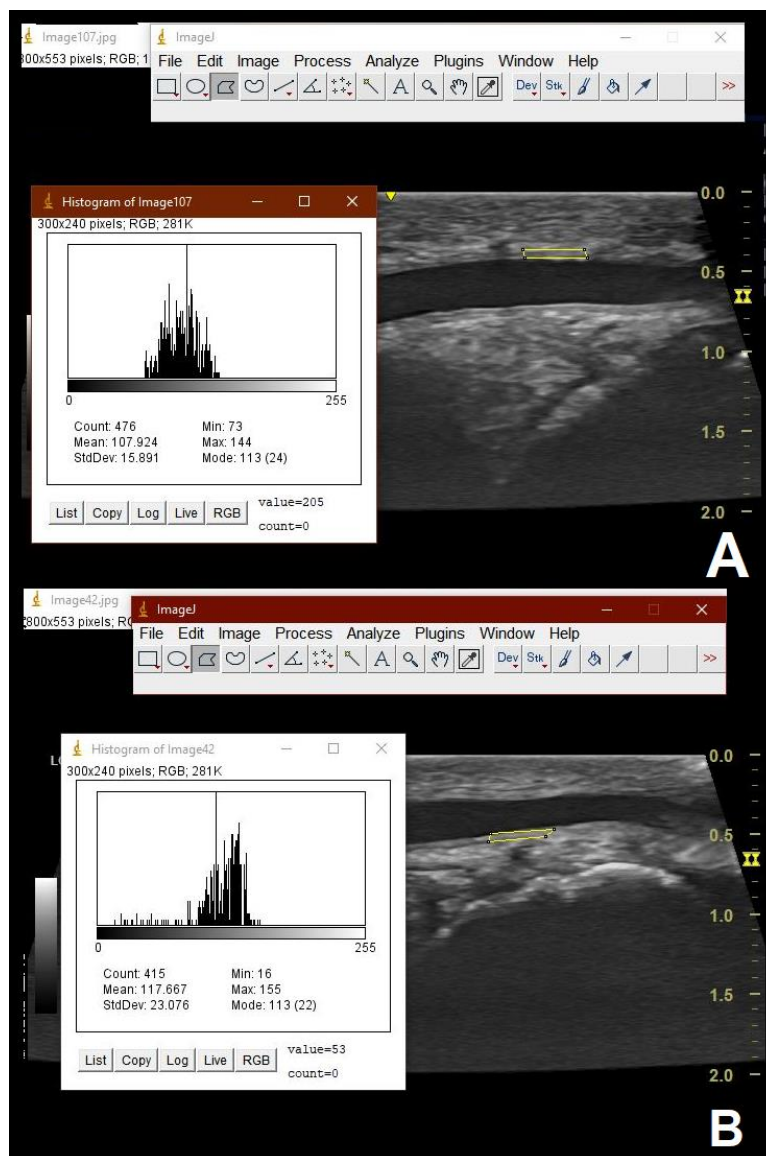


Figura 1 - HEC da parede superficial da artéria digital (A) e da parede profunda (B).

Na análise dos dados foram aplicadas, além da análise exploratória dos dados como média, mediana, desvio padrão, o teste de Mann-Whitney. O software utilizado nas análises foi SPSS V20. Todos os testes de hipóteses desenvolvidos nesse trabalho consideraram uma significância de 5%, ou seja, a hipótese nula foi rejeitada quando p-valor foi menor ou igual a 0,05.

RESULTADOS

Houve diferença significativa entre equinos e muares (Tabela 1) na variável *Mean* ($p=0,031$) na artéria digital palmar lateral do membro torácico direito (MTD) na parede superficial, sendo que os muares apresentaram valores superiores. No entanto, a artéria digital palmar medial do mesmo membro, não apresentou significância estatística na comparação entre equinos e muares. No membro torácico esquerdo (MTE) a artéria digital palmar lateral apresentou diferença significativa entre equinos e muares na variável *Mean* ($p<0,001$), sendo que os muares apresentaram valores superiores. Quanto a artéria digital palmar medial do mesmo membro, houve significância estatística na variável *Mean* ($p=0,03$) da parede superficial, sendo valores superiores nos muares.

Na comparação das artérias digitais plantares lateral e medial entre equinos e muares, observou que não houve significância estatística (Tabela não ilustrada).

Tabela 1 - Média, mediana, desvio padrão, Q1 e Q3 das variáveis do HEC (Mean e StdDev) nas paredes (EIM superficial e profunda) das artérias digitais palmares, seguido da comparação entre equinos e muares.

Membro Torácico	Face	Parede	HEC	Animais	Média	Mediana	Desvio Padrão	Q1	Q3	P-valor
Direito	Lateral	Superficial	<i>Mean</i>	Equinos	83,4	78,0	20,0	67,0	96,0	0,031*
				Muares	101,4	105,0	21,7	92,0	111,0	
			<i>StdDev</i>	Equinos	17,1	17,0	5,1	14,0	20,0	0,857
			Muares	16,7	16,0	4,7	13,0	20,0		
		Profunda	<i>Mean</i>	Equinos	102,8	100,0	23,8	81,0	120,0	0,35
				Muares	92,6	96,0	23,6	78,0	105,0	
	<i>StdDev</i>		Equinos	19,6	18,0	3,8	18,0	20,0	0,35	
		Muares	22,8	24,0	7,1	17,0	30,0			
	Medial	Superficial	<i>Mean</i>	Equinos	88,7	82,0	20,9	76,0	109,0	0,243
				Muares	102,3	98,0	33,0	77,0	119,0	
			<i>StdDev</i>	Equinos	17,5	18,0	3,0	16,0	19,0	0,436
			Muares	19,4	21,0	6,8	13,0	26,0		
Profunda		<i>Mean</i>	Equinos	104,4	102,0	26,3	78,0	123,0	0,309	
			Muares	114,9	119,0	36,7	84,0	147,0		
	<i>StdDev</i>	Equinos	21,8	20,0	4,5	19,0	23,0	0,799		
	Muares	22,3	20,0	8,7	14,0	27,0				
Esquerdo	Lateral	Superficial	<i>Mean</i>	Equinos	84,2	84,0	10,3	75,0	90,0	<0,001*
				Muares	112,0	115,0	23,8	101,0	128,0	
			<i>StdDev</i>	Equinos	18,5	19,0	4,2	17,0	19,0	0,927
			Muares	18,3	16,0	5,1	14,0	23,0		
		Profunda	<i>Mean</i>	Equinos	102,9	100,0	21,5	83,0	123,0	0,403
				Muares	110,7	110,0	28,3	93,0	134,0	
	<i>StdDev</i>		Equinos	19,4	18,0	6,2	15,0	22,0	0,826	
		Muares	20,4	24,0	6,9	13,0	25,0			
	Medial	Superficial	<i>Mean</i>	Equinos	93,7	93,0	18,2	85,0	109,0	0,03*
				Muares	117,3	127,0	28,6	90,0	137,0	
			<i>StdDev</i>	Equinos	19,9	20,0	6,8	16,0	23,0	0,509
			Muares	20,6	21,0	5,8	15,0	25,0		
Profunda		<i>Mean</i>	Equinos	116,2	119,0	16,1	111,0	123,0	0,402	
			Muares	122,9	129,0	32,8	90,0	140,0		
	<i>StdDev</i>	Equinos	23,7	23,0	8,8	19,0	25,0	0,308		
	Muares	20,7	21,0	6,0	16,0	23,0				

HEC = Histograma em escala de cinza

Mean = Intensidade de brilho referente a ROI

StdDev = Variação da intensidade de brilho (desvio padrão)

* = valor significativo (p<0,05)

Em relação a comparação da EIM superficial e profunda (Tabela 2) em equinos houve diferença significativa na artéria digital palmar lateral do membro torácico direito (MTD) na variável *Mean* ($p=0,05$), sendo que a parede profunda apresentou valores superiores, o que significa que o nível de intensidade de brilho é maior quando comparada com a superficial. Quanto a artéria digital palmar medial do mesmo membro (MTD) houve diferença significativa na variável *StdDev* ($p=0,009$), sendo que a parede profunda apresentou valores superiores, ou seja, a parede profunda é mais heterogênea que a parede superficial.

Em equinos, a artéria digital palmar lateral do membro torácico esquerdo (MTE) não apresentou significância estatística na comparação das EIM (superficial e profunda). No entanto, a artéria digital palmar medial do mesmo membro (MTE) apresentou diferença significativa na variável *Mean* ($p=0,012$), onde a parede profunda teve maiores valores.

Em relação aos muares, a artéria digital palmar lateral do membro torácico direito (MTD) apresentou diferença significativa na variável *StdDev* ($p=0,005$) onde a parede profunda apresentou valores superiores. Em relação aos outros membros não houve significância estatística.

Tabela 2 - Média, mediana, desvio padrão, Q1 e Q3 das variáveis do HEC (Mean e StdDev), seguido para comparação entre a parede profunda com a superficial dos membros torácicos dos equinos e muares.

Membro Torácico	Face	HEC	Animais	Parede	Média	Mediana	Desvio Padrão	Q1	Q3	P-valor
Direito	Lateral	Mean	Equinos	Profunda	102,8	100,0	23,8	81,0	120,0	0,05*
				Superficial	83,4	78,0	20,0	67,0	96,0	
			Muares	Profunda	92,6	96,0	23,6	78,0	105,0	0,19
		Superficial		101,4	105,0	21,7	92,0	111,0		
		StdDev	Equinos	Profunda	19,6	18,0	3,8	18,0	20,0	0,299
				Superficial	17,1	17,0	5,1	14,0	20,0	
	Muares		Profunda	22,8	24,0	7,1	17,0	30,0	0,005*	
		Superficial	16,7	16,0	4,7	13,0	20,0			
	Medial	Mean	Equinos	Profunda	104,4	102,0	26,3	78,0	123,0	0,204
				Superficial	88,7	82,0	20,9	76,0	109,0	
			Muares	Profunda	114,9	119,0	36,7	84,0	147,0	0,23
		Superficial		102,3	98,0	33,0	77,0	119,0		
StdDev		Equinos	Profunda	21,8	20,0	4,5	19,0	23,0	0,009*	
			Superficial	17,5	18,0	3,0	16,0	19,0		
	Muares	Profunda	22,3	20,0	8,7	14,0	27,0	0,242		
Superficial		19,4	21,0	6,8	13,0	26,0				
Esquerdo	Lateral	Mean	Equinos	Profunda	102,9	100,0	21,5	83,0	123,0	0,059
				Superficial	84,2	84,0	10,3	75,0	90,0	
			Muares	Profunda	110,7	110,0	28,3	93,0	134,0	0,955
		Superficial		112,0	115,0	23,8	101,0	128,0		
		StdDev	Equinos	Profunda	19,4	18,0	6,2	15,0	22,0	0,94
				Superficial	18,5	19,0	4,2	17,0	19,0	
	Muares		Profunda	20,4	24,0	6,9	13,0	25,0	0,518	
		Superficial	18,3	16,0	5,1	14,0	23,0			
	Medial	Mean	Equinos	Profunda	116,2	119,0	16,1	111,0	123,0	0,012*
				Superficial	93,7	93,0	18,2	85,0	109,0	
			Muares	Profunda	122,9	129,0	32,8	90,0	140,0	0,481
		Superficial		117,3	127,0	28,6	90,0	137,0		
StdDev		Equinos	Profunda	23,7	23,0	8,8	19,0	25,0	0,233	
			Superficial	19,9	20,0	6,8	16,0	23,0		
	Muares	Profunda	20,7	21,0	6,0	16,0	23,0	0,938		
Superficial		20,6	21,0	5,8	15,0	25,0				

HEC = Histograma em escala de cinza

Mean = Intensidade de brilho referente a ROI

StdDev = Variação da intensidade de brilho (desvio padrão)

* = valor significativo ($p < 0,05$)

De acordo com a Tabela 3, foi possível observar que foram poucas as diferenças significativas entre as EIM (profunda e superficial) nos membros pélvicos em equinos e muares. No entanto, a artéria digital plantar lateral do membro pélvico direito (MPD), apresentou diferença entre as EIM (superficial e profunda) nos equinos na variável *StdDev* ($p=0,01$), sendo maior na parede profunda. Quanto, a artéria digital plantar medial do mesmo membro (MPD) não apresentou significância estatística.

A artéria digital plantar lateral do membro pélvico esquerdo (MPE) em muares, apresentou diferença entre as paredes (superficial e profunda) na variável *StdDev* ($p=0,011$), onde a parede profunda demonstrou maior valor.

Tabela 3- Média, mediana, desvio padrão, Q1 e Q3 das variáveis do HEC (Mean e StdDev), seguido da comparação entre a parede profunda com a superficial dos membros pélvicos dos equinos e muares.

Membro Pélvico	Face	HEC	Animais	Parede	Média	Mediana	Desvio Padrão	Q1	Q3	P-valor
Direito	Lateral	<i>Mean</i>	Equinos	Profunda	102,9	104	22,4	83	122	0,279
				Superficial	93,7	101	17,1	82	104	
			Muares	Profunda	103,7	101	20,8	93	119	0,189
		Superficial		110,2	106	27,2	97	131		
		<i>StdDev</i>	Equinos	Profunda	24,0	24	5,6	23	28	0,01*
				Superficial	18,1	17	4,0	16	20	
	Muares		Profunda	19,7	19	5,7	16	21	0,067	
		Superficial	17,0	16	3,9	15	17			
	Medial	<i>Mean</i>	Equinos	Profunda	92,3	82	27,2	72	123	0,791
				Superficial	87,1	86	14,6	81	90	
			Muares	Profunda	110,9	99	40,4	79	150	0,639
		Superficial		102,5	97	27,9	91	109		
<i>StdDev</i>		Equinos	Profunda	22,6	18	9,1	15	30	0,825	
			Superficial	21,4	21	3,9	19	23		
	Muares	Profunda	21,6	19	10,2	13	29	0,152		
Superficial		17,6	18	7,2	10	23				
Esquerdo	Lateral	<i>Mean</i>	Equinos	Profunda	93,4	98	20,9	76	108	0,65
				Superficial	95,7	87	33,7	76	105	
			Muares	Profunda	106,9	104	26,6	93	131	0,613
		Superficial		101,6	110	27,6	77	120		
		<i>StdDev</i>	Equinos	Profunda	21,2	20	6,6	17	24	0,199
				Superficial	17,3	17	3,6	15	18	
	Muares		Profunda	22,1	23	5,7	20	27	0,011*	
		Superficial	17,1	16	6,0	14	20			
	Medial	<i>Mean</i>	Equinos	Profunda	103,0	98	25,1	82	121	0,29
				Superficial	93,4	80	28,8	76	114	
			Muares	Profunda	103,0	94	38,6	76	135	0,754
		Superficial		103,9	95	33,9	77	140		
<i>StdDev</i>		Equinos	Profunda	20,9	20	5,3	19	24	0,406	
			Superficial	19,7	18	4,4	17	23		
	Muares	Profunda	20,3	21	7,5	13	26	0,696		
Superficial		19,8	19	6,6	15	24				

HEC = Histograma em escala de cinza

Mean = Intensidade de brilho referente a ROI

StdDev = Variação da intensidade de brilho (desvio padrão)

* = valor significativo ($p < 0,05$)

DISCUSSÃO

Para realização dos exames de ultrassonografia Modo-B do presente estudo, os parâmetros das técnicas (ganho de brilho e profundidade) foram modificados para cada animal, o objetivo foi obter a melhor qualidade das imagens, pois a alteração das técnicas não interfere significativamente nos resultados do HEC, conforme Sarmiento *et al.* (2014).

Neste estudo foi utilizado o plano longitudinal para realização das mensurações do HEC, pois no plano longitudinal as artérias apresentam aspectos tubulares (Mattoon *et al.*, 2020) facilitando a obtenção da delimitação da área de interesse (ROI) e no plano transversal as artérias apresentam-se como estruturas arredondadas anecogênicas (Yanik, 2002; Mattoon *et al.*, 2020). A avaliação das artérias no plano longitudinal é a forma mais indicada, uma vez que no plano transversal a mensuração da espessura-íntima-média (EIM) podem ocorrer valores acima ou abaixo do verdadeiro (Evans *et al.*, 1989; Liguori, Paolillo, Pietrosanto, 2002).

Os estudos com HEC envolvendo animais hípidos são pertinentes, pois colaboram com a elaboração de protocolos experimentais (Maeda *et al.*, 1998), por isso, os animais hípidos do presente estudo foram criteriosamente selecionados, por exames físicos e laboratoriais. Além do mais, é imprescindível a realização de estudos comparando equinos e muares, pois os muares são híbridos (Anderson, 1939; Camac, 1997; Salles *et al.*, 2013), apresentando diferenças anatomofisiológicas dos equinos (Burnhan, 2002; Alsafy *et al.*, 2008; Smith, 2009; Miranda e Palhares, 2017).

Neste estudo comparou-se as paredes das artérias digitais palmares lateral e medial dos membros torácicos dos equinos e muares pelo HEC. Foi observado que os muares tiveram valores de intensidade de brilho (*Mean*) mais elevados do que os equinos, enquanto, aos membros pélvicos não houve significância estatística na comparação entre equinos e muares. Em um estudo comparando a parede superficial das artérias carótidas de equinos e muares pelo HEC foi observado que os muares apresentaram a intensidade de brilho (*Mean*) superior aos dos equinos (Fogaça *et al.*, 2019). Este comportamento foi similar aos encontrados no presente estudo com as artérias digitais palmares.

Quanto a comparação das EIM (superior x profunda) dos equinos e de muares pelo HEC, verificou-se que a parede profunda apresentou aumento de intensidade de brilho e de heterogeneidade (*Mean e StdDev*) maior. Atribui-se que este aumento de intensidade de brilho e de heterogeneidade (*Mean e StdDev*) possam estar relacionados ao artefato de reforço acústico (Vargas *et al.*, 2008). Segundo Vargas *et al.* (2008) o

reforço acústico é um aumento da amplitude do eco que ocorre subsequente a uma estrutura de baixa atenuação, isso ocorre em estruturas que possuem líquidos no seu interior.

As paredes profundas demonstraram maior heterogeneidade, isso significa que tem mais variações de intensidade de brilho. Como também, a intensidade de brilho (ecogenicidade) é mais elevada na parede profunda, o que pode estar relacionada com o artefato de reforço acústico.

Acredita-se que se o HEC realizado no plano transversal pode minimizar as alterações das medidas influenciadas pelo artefato de reforço acústico. No entanto, a limitação do ROI pode inviabilizar a análise, pois o vaso no plano longitudinal apresenta uma análise mais completa.

Acredita-se que o HEC podem ser realizados em animais com os membros comprometidos por alterações vasculares, permitindo verificar se essa ferramenta colabora ou não com o diagnóstico e no acompanhamento terapêutico. Assim como, a possibilidade da aplicação dessa ferramenta em outras regiões nos membros locomotores, tais como, músculos, tendões e ligamentos.

CONCLUSÃO

Concluiu-se que os muars apresentaram valores de intensidade de brilho das artérias digitais palmares (*Mean*) mais elevados do que os equinos.

Concluiu-se que houve diferença nas paredes (superficial e profunda) das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial de equinos e muars, sendo que a parede profunda apresentou maior ecogenicidade e heterogeneidade.

O HEC demonstrou ser uma ferramenta viável na quantificação da ecogenicidade e ecotextura das paredes (superficial e profunda) das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muars, além de colaborar para evidenciar as diferenças na ecogenicidade e ecotextura.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, nossos sinceros agradecimentos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A., DANTAS, A., VIANA, G. F., & MACHADO, V. M. V. **Ateroma em artéria carótida comum de equino detectado através de exame ultrassonográfico – relato de caso.** IV Simpósio Internacional de Diagnóstico por Imagem Veterinário - Belo Horizonte – 2014.
- ALSAFY, M. A. M., EL-KAMMAR, M. H., & EL-GENDY, S. A. A. Topographical anatomy, computed tomography and surgical approach of the guttural pouches of the donkey. **J. Equine Vet. Sci.** v.28, p.215-222, 2008.
- ANDERSON, W.S. Fertile Mare Mules. **Journal of Heredity**, v. 30, n. 12, p. 62-65, 1939.
- ANDERSSON, J., SUNDSTRÖM, J., GUSTAVSSON, T., HULTHE, J., ELMGREN, A., ZILMER, K., ... & LIND, L. Echogenicity of the carotid intima-media complex is related to cardiovascular risk factors, dyslipidemia, oxidative stress and inflammation: The Prospective Investigation of the Vasculature in Uppsala Seniors (PIVUS) study. **Atherosclerosis**, v. 204, n. 2, p. 612-618, 2009.
- BURNHAN, S.L. Anatomical differences of the donkey and mule. **AAEP Proceedings**, v.48, p.102-109, 2002.
- CAMAC, R. Introduction and origins of the donkey. In: SVENDSEN, E.D. **The professional handbook of the donkey.** 3ª Ed. Londres: White Books, 1997. p. 9-18.
- COLLES, C.M.; HICKMAN, J. The arterial supply of the navicular bone and its variations in navicular disease. **Equine. Vet. J.**, v.9, n.3, p.150-154, 1977.
- EVANS, D.H., MCDICKEN, W.N., SKIDMORE, R. AND WOODCOCK, J.P. (1989) **Ultrasound: Physics, Instrumentation and Clinical Application.** John Wiley and Sons, New York. P. 115-205.
- FARROW C. S. Ultra talk: beginners guide to the language of ultrasound. **Veterinary Radiology & Ultrasound.** Releigh, v. 33, n. 1, p. 33-31, 1992.
- FOGAÇA, J. L., VETTORATO, M. C., PUOLI-FILHO, J. N. P., FERNANDES, M. A., & MACHADO, V. M. V. Grayscale histogram analysis to study the echogenicity and echotexture of the walls of the common carotid arteries of horses and mules. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 221-229, 2019.

GOLLIE, J. M., HARRIS-LOVE, M. O., PATEL, S. S., & ARGANI, S. Chronic kidney disease: considerations for monitoring skeletal muscle health and prescribing resistance exercise. **Clinical Kidney Journal**, v. 11, n. 6, p. 822-831, 2018.

HARRIS-LOVE, M. O., SEAMON, B. A., TEIXEIRA, C., & ISMAIL, C. Ultrasound estimates of muscle quality in older adults: reliability and comparison of Photoshop and ImageJ for the grayscale analysis of muscle echogenicity. **PeerJ**, v. 4, p. e1721, 2016.

HESS, R. S., KASS, P. H., & VAN WINKLE, T. J. Association between diabetes mellitus, hypothyroidism or hyperadrenocorticism, and atherosclerosis in dogs. **Journal Veterinary International Medicine**. v. 17, v. 4, p. 489 – 494, 2003.

KIM, S. Y., KIM, E. K., MOON, H. J., YOON, J. H., & KWAK, J. Y. Application of texture analysis in the differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules: comparison with gray-scale ultrasound and elastography. **American Journal of Roentgenology**, v. 205, n. 3, p. W343-W351, 2015.

KIM, U. S., KIM, S. J., BAEK, S. H., KIM, H. K., & SOHN, Y. H. Quantitative analysis of optic disc color. **Korean Journal of Ophthalmology**, v. 25, n. 3, p. 174-177, 2011.

LEE, C. H., CHOI, J. W., KIM, K. A., SEO, T. S., LEE, J. M., & PARK, C. M. Usefulness of standard deviation on the histogram of ultrasound as a quantitative value for hepatic parenchymal echo texture; preliminary study. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 32, n. 12, p. 1817-1826, 2006.

LIGUORI, C.; PAOLILLO, A.; PIETROSANTO, E.A. An automatic measurement system for the evaluation of carotid intima-media thickness. **EEE Trans. Instrum. Meas.** v.50, p.1684-1691, 2002.

MAEDA, K.; UTSU, M.; KIHAI, P. E. Quantification of sonographic echogenicity with grey-level histogram width: a clinical tissue characterization. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 24, n. 2, p. 225-234, 1998.

MARKS, N. A., ASCHER, E., HINGORANI, A. P., SHIFERSON, A., & PUGGIONI, A. Gray-scale median of the atherosclerotic plaque can predict success of lumen re-entry during subintimal femoral-popliteal angioplasty. **Journal of vascular surgery**, v. 47, n. 1, p. 109-116, 2008.

MATTOON, J. S. et al. **Small Animal Diagnostic Ultrasound E-Book**. Saunders, 2020.

MENDOZA, F. J.; TORIBIO, R. E.; PEREZ-ECIJA, A. Donkey Internal Medicine—Part II: Cardiovascular, Respiratory, Neurologic, Urinary, Ophthalmic, Dermatology, and Musculoskeletal Disorders. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 86-97, 2018.

MIRANDA, A. L. S; PALHARES, M. S. Músculos: características, origem e particularidades clínico-laboratoriais. **Revista Científica Medicina Veterinária**, v. 29, p. 1-8, 2017-

PICANO, E. et al. The use of frequency histograms of ultrasonic backscatter amplitudes for detection of atherosclerosis in vitro. **Circulation**, v. 74, n. 5, p. 1093-1098, 1986.

FERREIRA, T.; RASBAND, W. S. **ImageJ User Guide – IJ 146** imagej.nih.gov/ij/docs/guide. 2011.

FOGAÇA, J. L., VETTORATO, M. C., PUOLI-FILHO, J. N. P., FERNANDES, M. A., & MACHADO, V. M. V. Grayscale histogram analysis to study the echogenicity and echotexture of the walls of the common carotid arteries of horses and mules. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 221-229, 2019.

ROSA, E. M.; KRAMER, C.; CASTRO, I. Association Between Coronary Artery Atherosclerosis and the Intima-Media Thickness of the Common Carotid Artery Measured on Ultrasonography. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**. v. 80, n. 6, p. 589 - 592, 2003.

DE ANDRADE SALLES, P., DE OLIVEIRA SOUSA, L., BARBOSA, L. P., GOMES, V. V. B., DE MEDEIROS, G. R., DE SOUSA, C. M., & WELLER, M. Analysis of the population of equidae in semiarid region of Paraíba. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. v. 4, n. 3, p. 269 - 275, 2013.

SARMENTO, P. L. D. F. A., PLAVNIK, F. L., SCACIOTA, A., LIMA, J. O., MIRANDA, R. B., & AJZEN, S. A. Relationship between cardiovascular risk factors and the echogenicity and pattern of the carotid intima-media complex in men. **Sao Paulo Medical Journal**, v. 132, n. 2, p. 97-104, 2014.

SHIN, Y. G., YOO, J., KWON, H. J., HONG, J. H., LEE, H. S., YOON, J. H., ... & KWAK, J. Y. Histogram and gray level co-occurrence matrix on gray-scale ultrasound images for diagnosing lymphocytic thyroiditis. **Computers in Biology and medicine**, v. 75, p. 257-266, 2016.

SMITH, D.C. **The book of mules: selecting, breeding and caring for equine hybrids**. Connecticut: Lyons Press, 2009. 136p.

TSAI, Y. H., HUANG, K. C., SHEN, S. H., YANG, T. Y., HUANG, T. J., & HSU, R. W. W. Quantification of sonographic echogenicity by the gray-level histogram in patients with supraspinatus tendinopathy. **Journal of Medical Ultrasonics**, v. 41, n. 3, p. 343-349, 2013.

VARGAS, A., AMESCUA-GUERRA, L. M., BERNAL, M. A., & PINEDA, C. Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomía del sistema musculoesquelético y artefactos ecográficos. **Acta Ortopédica Mexicana**, v. 22, n. 6, p. 361-373, 2008.

YANG, X., TRIDANDAPANI, S., BEITLER, J. J., DAVID, S. Y., YOSHIDA, E. J., CURRAN, W. J., & LIU, T. Ultrasound histogram assessment of parotid gland injury following head-and-neck radiotherapy: a feasibility study. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 38, n. 9, p. 1514-1521, 2012.

YANIK, L. The basics of Doppler ultrasonography. **Veterinary Medicine**, v.3, p.388-400, 2002.

Capítulo 4

Artigo Científico 3

O artigo científico 3 será submetido na revista *Research Veterinary Science*, e encontra-se formatado segundo as normas de submissão <https://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/623070?generatepdf=true>

Study of B-mode ultrasonography and spectral Doppler in the palmar and plantar digital arteries of horses and mules and the relationship with age and body weight

[Estudo da ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral nas artérias digitais palmares e plantares de equinos e muare e a relação com idade e peso corpóreo]

J.L. Fogaça¹, M.C.R. Castiglioni², M.C. Vettorato³, G. M.N. Barbosa⁴, N. G. Mazzante⁵, A.L. Filadelpho⁶, J.N.P.P. Filho⁷, V.M.V. Machado⁸

¹ Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” - School of Veterinary Medicine and Animal Science, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil. E-mail: jesicaleite@hotmail.com

² Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” - School of Veterinary Medicine and Animal Science, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil. E-mail: maria.cast@fmvz.unesp.br

³ Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” - School of Veterinary Medicine and Animal Science, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil. E-mail: m_vettorato@hotmail.com

⁴ Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” - School of Veterinary Medicine and Animal Science, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil. E-mail: gabrielveterinario@yahoo.com.br

⁵ Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” - School of Veterinary Medicine and Animal Science, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil. E-mail: naygil@hotmail.com

⁶ Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” – Botucatu Bioscience Institute, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil.
E-mail: andre.filadelpho@unesp.br

⁷ Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” - School of Veterinary Medicine and Animal Science, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil.
E-mail: nicolau.puoli-filho@unesp.br

⁸ Paulista State University “Júlio de Mesquita Filho” - School of Veterinary Medicine and Animal Science, District of Rubião Junior, Botucatu - São Paulo – Brazil.
E-mail: vaniamvm@fmvz.unesp.br

ABSTRACT

This study proposes to correlate the variables of B-mode and Doppler ultrasonography obtained for the digital palmar and plantar arteries of healthy horses and mules, relating them with age and body weight. It was observed, diameters, tunica intima and media thickness (EIM), resistivity index (IR), pulsatility index (IP), peak systolic velocity (pVS), end diastolic velocity (fVD), mean velocity (VM), age and body weight. The age and body weight did not present any significant correlations with the diameters and IMT of the digital arteries in horses and mules. In horses, the variables resistivity index (RI) and pulsatility index (PI) presented positive correlations with age and body weight, whereas the mules presented negative correlations for these variables with age and body weight. Age and body weight are factors that may influence the variables of Doppler ultrasonography in the digital palmar and plantar arteries of healthy horses and mules.

Keywords: Equidae, vessels, diagnostic imaging.

INTRODUCTION

Over years of evolution, equines presented changes in their locomotor system (Torres and Jardim, 1983). These are all domestic solipeds of the Equidae family, which includes equines (horses, ponies), donkeys and mules (Grinder et al., 2006; Torres and Jardim, 1983). Studies directed to clinical, behavioral, and physiological particularities, among others, are essential to understand the differences observed between these animals (Miranda and Palhares, 2017).

Mules are hybrid, resulting from the crossing between horses and donkeys (Anderson, 1939; Camac, 1997; Salles et al., 2013). Several diseases may cause foot injuries in equidae, resulting in limb lameness with varying degrees of severity (Turner, 2006; Pollitt, 1992; Budras *et al.*, 2009). According to some studies, advancing age and increased body weight (obesity) are considered risk factors for the development of some foot diseases, such as laminitis (Polzer and Slater 1996; Brosnahan and Paradis 2003; Cole et al., 2005; Hotchkiss et al. 2007; McGowan et al., 2010; Ireland et al., 2011). Advanced age, inadequate conformation, incorrect casqueting and poor nutrition, among other factors, influence health and equine productivity (Miranda, 1988). A review of the literature found no studies with B-mode ultrasound and spectral Doppler evaluating the palmar and plantar digital arteries and the influence of age and body weight on them in horses and mules, which makes the development of these studies valuable. However, there are studies with B-mode and Doppler ultrasound evaluating the carotid arteries of horses and the influence with age and body weight (Cipone et al., 1997; Fogaça et al., 2019).

This study proposes verify the influence of age and body weight on the variables of Mode-B ultrasonography and spectral Doppler in each locomotor limb, both in the sample of horses and mules.

MATERIALS AND METHODS

This research was approved by the Ethics Committee on the Use of Animals (CEUA) of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (FMVZ/UNESP) (Protocol No. 0257/2018) and was developed at Edgárdia farm, belonging to FMVZ/UNESP.

B-Mode and spectral Doppler ultrasonography were performed on the palmar and plantar digital arteries (lateral and medial) of 10 mules (5 males and 5 females), with body weight between 347 and 439 kilograms (Kg), and age between 4 and 15 years. In addition, the same procedure was performed on 10 horses (5 males and 5 females), with body weight between 336 and 390 kg, and age between 2 and 18 years. The criteria for choosing the animals were based on their health, which were confirmed through physical examinations (cardiac rate, respiratory rate, intestinal motility, rectal temperature) and laboratory tests.

The animals included in this study were submitted to trichotomy procedures in the region of the billet of the evaluated limbs. Water and solid fasting were not performed, nor were sedatives administered in order to avoid hemodynamic changes. For the ultrasound examination, a portable device, model Logiq V2 from Healthcare, with a high frequency linear transducer (8 to 12 mHz) was used to obtain the images. Subsequently, isopropyl alcohol at a concentration of 30% water and 70% alcohol was applied to the proximal region of the metacarpophalangeal joint (Figure 1).

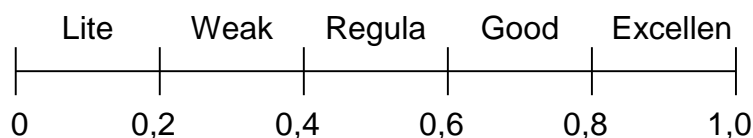
The B-mode ultrasound examination was performed to evaluate the diameters and intima-media thickness (IMT) of the lateral and medial palmar and plantar digital artery walls of the horses and mules. Spectral Doppler ultrasonography was performed to assess

blood flow according to the following variables: resistivity index (RI), pulsatility index (PI), peak systolic velocity (pSV), final diastolic velocity (fDV) and mean velocity (MV).

In this study, insonation angles inferior to 60 degrees (60°) were used and the cursor (Doppler) was positioned in the center of the lateral and medial digital arteries to minimize possible changes in blood flow velocity.

The software SPSS V20 was used and the Spearman correlation test was applied to the variables of interest.

The correlation scale was:



RESULTS

According to Table 1, the longitudinal diameter of the palmar digital arteries (lateral + medial) of the right thoracic limb (RTL) of the horses presented positive correlation longitudinal wall ($p = 0.005$ regular). The longitudinal wall of the RTL had a positive correlation with longitudinal diameter ($p = 0.005$ regular).

The longitudinal diameter of the left thoracic limb (LTL) demonstrated positive correlations with transverse diameter ($p = 0.000$ regular) and with the longitudinal wall ($p = 0.000$ regular). As for the transverse diameter of the LTL, there were positive correlations with longitudinal diameter ($p = 0.000$ regular) and transverse (0.000 good) wall. For the LTL longitudinal wall, positive correlation were observed with longitudinal diameter ($p = 0.000$ regular). Finally, the transverse wall of the LTL showed a positive correlation with transverse diameter ($p = 0.000$ good).

With respect to the right pelvic limb (RPL), Table 1 highlights that the longitudinal diameter of the digital arteries (lateral + medial) of the horse limbs presented positive correlations with transverse diameter ($p = 0.000$ regular) and with the longitudinal wall ($p = 0.001$ regular). The transverse diameter of the RPL showed positive correlations with longitudinal wall ($p = 0.020$ regular) and transverse wall ($p = 0.000$ good), and negative correlation with age ($p = 0.002$ regular). On the other hand, the longitudinal wall (RPL) had positive correlation with longitudinal diameter ($p = 0.001$ regular). The transverse wall (RPL) presented positive correlation with transverse diameter ($p = 0.000$ good).

The transverse diameter (LPL) demonstrated positive correlations with longitudinal wall ($p = 0.001$ regular), and transverse wall ($p = 0.000$ good). As for the longitudinal wall of the LPL, there were positive correlation with transverse diameter ($p = 0.001$ regular). The transverse wall (LPL) presented positive correlation with transverse diameter ($p = 0.000$ good).

According to Table 2, the longitudinal diameter of the palmar digital arteries (lateral + medial) of the right thoracic limb (RTL) of the mules presented positive correlations with transverse diameter ($p = 0.000$ regular) and longitudinal wall ($p = 0.000$ regular). The transverse diameter of the RTL presented positive correlations with longitudinal diameter ($p = 0.000$ regular), longitudinal wall ($p = 0.012$ regular) and transverse wall ($p = 0.000$ regular). In addition, the RTL longitudinal wall presented positive correlation with longitudinal diameter ($p = 0.000$ regular). As for the transverse wall of the RTL, there were positive correlation with transverse diameter ($p = 0.000$ regular).

In the left thoracic limb (LTL), the longitudinal diameter presented positive correlations with transverse diameter ($p = 0.000$ regular) and longitudinal wall ($p = 0.000$

regular). The transverse diameter of the LTL presented positive correlations with longitudinal diameter ($p = 0.000$ regular), longitudinal wall ($p = 0.000$ regular) and transverse wall ($p = 0.000$ regular). Regarding the longitudinal wall of the LTL, there were positive correlations with longitudinal diameter ($p = 0.000$ regular) and transverse diameter ($p = 0.000$ regular). The LTL transverse wall presented positive correlation with transverse diameter ($p = 0.000$ regular).

Regarding the right pelvic limb (RPL), Table 2 highlights that the longitudinal diameter of the digital arteries (lateral + medial) of the mules presented positive correlations with transverse diameter ($p = 0.000$ good) and longitudinal wall ($p = 0.000$ good). The transverse diameter of the RPL presented positive correlations with longitudinal diameter ($p = 0.000$ good), longitudinal wall ($p = 0.000$ regular) and transverse wall ($p = 0.000$ good). In the longitudinal wall of the RPL, positive correlations were observed with longitudinal diameter ($p = 0.000$ good), transverse diameter ($p = 0.000$ regular) and transverse wall ($p = 0.000$ regular). In the transverse wall of the RPL, positive correlations transverse diameter ($p = 0.000$ good) and longitudinal wall ($p = 0.000$ regular).

In the left pelvic limb (LPL), the longitudinal diameter presented positive correlations with transverse diameter ($p = 0.000$ good) and longitudinal wall ($p = 0.001$ good). On the other hand, the transverse diameter of the LPL presented positive correlation with longitudinal diameter ($p = 0.000$ good). In addition, on the longitudinal wall of the LPL, positive correlation were observed with transverse wall ($p = 0.000$ regular). The transverse wall of the LPL, on the other hand, demonstrated a positive correlation with the longitudinal wall ($p = 0.000$ regular).

According to Table 3, the RI of the palmar digital arteries (lateral + medial) of the right thoracic limb (RTL) of the horses presented positive correlation with PI ($p = 0.000$

good). RTL PI presented positive correlation with RI ($p = 0.000$ good). The pSV of the RTL presented positive correlation with fDV ($p = 0.000$ excellent) and MV (0.000 excellent). As for the fDV of the RTL, positive correlations were identified with pSV ($p = 0.000$ excellent) and MV ($p = 0.000$ excellent). Finally, the MV of the RTL presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and fDV ($p = 0.000$ excellent).

In the left thoracic limb (LTL), the RI presented positive correlations with age ($p = 0.000$ good) and PI ($p = 0.000$ good), and negative correlations with fDV ($p = 0.000$ regular) and MV ($p = 0.000$ regular). The LTL PI presented positive correlations with age ($p = 0.000$ good), body weight ($p = 0.000$ regular) and RI ($p = 0.000$ good), and negative correlations with pSV ($p = 0.000$ regular), fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ good). The LTL pSV presented positive correlations with fDV ($p = 0.000$ excellent) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with age ($p = 0.000$ good), PI ($p = 0.000$ regular). As for the LTL fDV, there were positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with age ($p = 0.000$ excellent), weight ($p = 0.002$ weak), RI ($p = 0.000$ regular) and PI ($p = 0.000$ good). On the other hand, the MV of the LTL presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and fDV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with age ($p = 0.000$ good), RI ($p = 0.000$ regular) and PI ($p = 0.000$ good).

As seen in Table 3, the RI of the digital arteries (lateral + medial) of the right pelvic limb (RPL) of the horses presented positive correlations with age ($p = 0.000$ regular) and PI ($p = 0.000$ good), and negative correlations with fDV ($p = 0.000$ regular) and MV ($p = 0.000$ regular). RPL PI had positive correlations with age ($p = 0.000$ regular), and RI ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with fDV ($p = 0.000$ regular) and MV ($p = 0.000$ regular). The pSV of the RPL presented positive correlations with fDV ($p = 0.000$ excellent) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlation with age ($p =$

0.000 good). On the other hand, the fDV of the RPL presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with age ($p = 0.000$ good), RI ($p = 0.000$ regular) and PI ($p = 0.000$ regular). The MV of RPL presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ good) and fDV ($p = 0.000$ good), and negative correlations with age ($p = 0.000$ good), body weight ($p = 0.000$ regular), RI ($p = 0.000$ regular) and PI ($p = 0.000$ regular).

In the left pelvic limb (LPL), the RI presented positive correlation with PI ($p = 0.000$ excellent). The LPL PI had positive correlations with body weight ($p = 0.000$ regular) and RI ($p = 0.000$ excellent). The pSV of the LPL presented positive correlations with fDV ($p = 0.000$ excellent) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlation with age ($p = 0.000$ good). As for the fDV of the LPL, there were positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with age ($p = 0.000$ good) and body weight ($p = 0.000$ regular). Lastly, the MV of the LPL presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and fDV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with age ($p = 0.000$ good) and body weight ($p = 0.000$ regular).

According to Table 4, the RI of the palmar digital arteries (lateral + medial) of the right thoracic limb (RTL) of the mules had positive correlations with PI ($p = 0.000$ excellent) and pSV ($p = 0.000$ regular), and negative correlations with body weight ($p = 0.000$ regular). PI (RTL) presented positive correlation with RI ($p = 0.000$ excellent) and pSV and negative correlations with age ($p = 0.000$ regular) and body weight ($p = 0.000$ regular). As for pSV (RTL), there were positive correlations with RI ($p = 0.000$ regular), fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with age ($p = 0.028$) and body weight ($p = 0.000$ regular). In addition, fDV (RTL) demonstrated positive correlations with pSV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent). Finally,

MV (RTL) had positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and fDV ($p = 0.000$ excellent).

In the left thoracic limb (LTL), RI presented a positive correlation with PI ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ good). On the other hand, the LTL PI presented a positive correlation with RI ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with pSV ($p = 0.001$ weak), fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ good). The pSV of the LTL presented positive correlations with fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlation with age ($p = 0.000$ regular). The LTL fDV presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with RI ($p = 0.000$ good) and PI ($p = 0.000$ good). Finally, the MV of the LTL presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and fDV ($p = 0.000$ excellent), and negative with age ($p = 0.000$ regular), RI ($p = 0.000$ good), PI ($p = 0.000$ good).

Table 4 shows that the RI of the digital arteries (lateral + medial) of the right pelvic limb (RPL) of the mules presented a positive correlation with PI ($p = 0.000$ excellent). The RPL PI presented a positive correlation with RI ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with fDV ($p = 0.000$ regular) and MV ($p = 0.000$ regular). The pSV of the RPL presented positive correlations with fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlation with and body weight ($p = 0.000$ good). The fDV of the RPL presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with body weight ($p = 0.000$ regular), RI ($p = 0.000$ weak) and PI ($p = 0.000$ regular). As for the RPL MV, positive correlations were observed with pSV ($p = 0.000$ excellent) and fDV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with body weight ($p = 0.000$ regular) and PI ($p = 0.000$ regular).

In the left pelvic limb (LPL), RI correlated positively with PI ($p = 0.000$ excellent) and negatively with fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ regular). The LPL PI presented a positive correlation with RI ($p = 0.000$ excellent) and negative correlations with fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ good). The pSV of the LPL presented positive correlations with fDV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlation with and body weight ($p = 0.036$ light). In the fDV of the LPL there were positive correlations with pSV ($p = 0.000$ good) and MV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with RI ($p = 0.000$ good) and PI ($p = 0.000$ good). On the other hand, the LPL MV presented positive correlations with pSV ($p = 0.000$ excellent) and fDV ($p = 0.000$ excellent), and negative correlations with RI ($p = 0.000$ regular) and PI ($p = 0.000$ regular).

DISCUSSION

Some studies report that age is considered a risk factor for the development of some diseases in horses (Cole et al., 2005; McGowan et al., 2010; Ireland et al., 2011), including laminitis (Polzer and Slater 1996) and neoplasms (Williams, 2000). In addition, obesity has also been reported as one of the main causes of laminitis in horses (Paz et al., 2013).

The harmful effects of obesity on the health of horses are not yet as well defined as in humans (Paz et al., 2013). The prevalence of obesity is estimated at approximately 19 to 40% in horse populations in developed countries (Wyse et al., 2008; Thatcher et al., 2012). Endocrine disorders associated with overweight and obesity have been reported as a major cause of laminitis in horses (Paz et al., 2013). Studies in Finland have shown that cases of laminitis were associated with endocrinopathy, with 95% of horses

being obese (Karikoski et al., 2011). In this study, the animals presented no alterations in the Doppler evaluations performed because the animals selected for the study had normal body scores.

In this study, the digital arteries of horses and mules were evaluated by B-mode ultrasonography and spectral Doppler, regarding the influence of age and body weight. It was found that age and body weight did not present regular, good and excellent correlations with the B-Mode variables (diameters and IMT), as those that presented statistical significance presented low and weak correlations.

In the spectral Doppler ultrasonography, the age of the horses positively influenced the variables RI and PI of the digital arteries of the thoracic and pelvic limbs, however, the variables pSV, fDV and MV in the thoracic and pelvic limbs presented negative correlations. In comparison with the mules, age presented negative correlations in the variables RI and PI in the thoracic and pelvic limbs, which differed from horses. On the other hand, the variables pSV, fDV and MV were similar to horses (negative correlations).

Mules are hybrid equines resulting from the crossing between horses and donkeys (Anderson, 1939; Camac, 1997; Salles et al., 2013), which receive phenotypic predominance from donkeys (Torres and Jardim, 1983). Therefore, mules have anatomophysiological differences in comparison to horses (Burnhan, 2002; Alsafy et al., 2008; Smith, 2009; Miranda and Palhares, 2017), which may explain the differences observed in variable RI.

The artery in the transverse plane appears as a rounded anechogenic structure, while in the longitudinal plane it appears as a tubular structure (Yanik, 2002; Mattoon et al., 2020). This study observed positive correlations between the diameters and IMT of the digital arteries measured in the longitudinal plane with the diameters and IMT

measured in the transverse plane. In addition, in both horses and mules, the diameters of the palmar and plantar digital arteries presented positive correlations with the IMT.

Spectral Doppler ultrasonography was used to determine correlations between the variables RI, PI, pSV, fDV and MV, observing that the variable RI of the thoracic and pelvic limbs of horses and mules presented a positive correlation with PI and negative correlations with pSV, fDV and MV. The variables RI and PI are widely correlated (Legarth et al., 1989; Evans et al., 2000) and such behavior was also observed in horses and mules in this study.

The variable RI normally has a positive correlation with the variable PI and a negative one with fDV (Hofer, 2009; Yanik, 2002), which was observed both in horses and in mules. This is in line with the study conducted by Wongaumnaykul et al. (2006) with control horses (healthy). The variables RI and PI may suffer variations in their values due to possible forces exerted and imposed on the limb (Pietra et al., 2004). Therefore, it is recommended that the examinations of the digital arteries be performed under standard postural conditions to mitigate any variations (Hood et al., 2001; Pietra et al., 2004), as performed in the present study.

The variable pSV presented positive correlations with fDV and MV in the thoracic and pelvic limbs of horses and mules. However, in most cases, pSV presented negative correlations with RI and PI in horses and mules, similar to the findings of Wongaumnaykul et al. (2006) with digital equine arteries.

The variable fDV presented positive correlations with pSV and MV in the thoracic and pelvic limbs of horses and mules. However, there were negative correlations with RI and PI, both in the thoracic and pelvic limbs of horses and mules, similar to the findings of Wongaumnaykul et al. (2006) with the digital arteries of the thoracic limbs.

The variable MV presented positive correlations with pSV and fDV, both in the thoracic and in the pelvic limbs of horses and mules. It was also observed that MV presented negative correlations for the variables RI and PI, both in the thoracic and pelvic limbs and in both horses and mules.

CONCLUSION

In horses and mules, age and body weight did not show regular, good and excellent correlations with the palmar and plantar digital arteries.

As for the Doppler ultrasonography, there were differences in the correlations between horses and mules for the variables RI and PI.

There were positive correlations between the diameters and the IMT of the digital arteries measured in the longitudinal plane with the measured in the transverse plane.

In addition, the variables RI and PI are widely correlated, both in horses and mules, and the variables pSV, fDV and MV in the thoracic and pelvic limbs of horses and mules have significant correlations between them.

ACKNOWLEDGMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001, our sincere thanks.

REFERENCES

- Alsafy, M. A. M., El-Kammar, M. H., & El-Gendy, S. A. A. (2008). Topographical anatomy, computed tomography, and surgical approach of the guttural pouches of the donkey. *Journal of Equine Veterinary Science*. 28(4), 215-222.
- Anderson, W.S. (1939). Fertile Mare Mules. *Journal of Heredity*. 30(12), 62-65.
- Brosnahan, M. M.; Paradis, M. R. (2003). Assessment of clinical characteristics, management practices, and activities of geriatric horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 223(1), 99-103.
- Burnhan, S.L. (2002). Anatomical differences of the donkey and mule. *AAEP Proceedings*. 48, 102-109.
- Budras, K. D. et al. (2009). *Anatomy of the Horse: An Illustrated Text*. 5th Ed. Germany: Schluetersche, 208p.
- Camac, R. (1997). Introduction and origins of the donkey. In: SVENDSEN, E.D. *The professional handbook of the donkey*. 3^a Ed. Londres: White Books, 9-18.
- Cipone, M., Pietra, M., Gandini, G., Borai, A., Guglielmini, C., & Venturoli, M. (1997). Pulsed wave-doppler ultrasonographic evaluation of the common carotid artery in the resting horse: physiologic data. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 38(3), 200-206.

Cole, F. L., Hodgson, D. R., Reid, S. W. J., & Mellor, D. J. (2005). Owner-reported equine health disorders: results of an Australia-wide postal survey. *Australian veterinary journal*, 83(8), 490-495.

Evans D.H, Mcdicken W. N. (2000). *Doppler ultrasound: physics, instrumentation, and signal processing*, 2nd ed. Chichester: John Wileys & Sons, 200–215.

Fogaça, J. L., Castiglioni, M. C., Vettorato, M. C., Andrade, D. G., Puoli-Filho, J. N., Fernandes, M. A., & Machado, V. (2019). B-mode and Doppler ultrasonography in the assessment of the common carotid arteries of equines and mules and the relation with body mass, age and neck circumference. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 39, 75-84.

Grinder, M. I.; Krausman, P. R.; Hoffmann, R. S. (2006). *Equus asinus*. *Mammalian Species*, 794, p.1-9.

Hofer M. (2009). In: *FKDS-Trainer –Ein Arbeitsbuch für den Einstieg in die Farbkodierte Duplexsonographie und Echokardiographie*. 3rd ed. Germany: Didamed;. p. 10–8.

Hood, D. M., Wagner, I. P., & Brumbaugh, G. W. (2001). Evaluation of hoof wall surface temperature as an index of digital vascular perfusion during the prodromal and acute phases of carbohydrate-induced laminitis in horses. *American journal of veterinary research*, 62(7), 1167-1172.

Hotchkiss, J. W., Reid, S. W. J., & Christley, R. M. (2007). A survey of horse owners in Great Britain regarding horses in their care. Part 1: Horse demographic characteristics and management. *Equine veterinary journal*, 39(4), 294-300.

Ireland, J. L., Clegg, P. D., McGowan, C. M., McKane, S. A., & Pinchbeck, G. L. (2011). A cross-sectional study of geriatric horses in the United Kingdom. Part 2: Health care and disease. *Equine veterinary journal*, 43(1), 37-44.

Karikoski, N. P., Horn, I., McGowan, T. W., & McGowan, C. M. (2011). The prevalence of endocrinopathic laminitis among horses presented for laminitis at a first-opinion/referral equine hospital. *Domestic animal endocrinology*, 41(3), 111-117.

Legarth, J., & Thorup, E. (1989). Characteristics of Doppler blood-velocity waveforms in a cardiovascular in vitro model. II. The influence of peripheral resistance, perfusion pressure and blood flow. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 49(5), 459-464.

Mattoon, J. (2020). *Small Animal Diagnostic Ultrasound E-Book*. Saunders.

McGowan, T. W., Pinchbeck, G., Phillips, C. J. C., Perkins, N., Hodgson, D. R., & McGowan, C. M. (2010). A survey of aged horses in Queensland, Australia. Part 2: clinical signs and owners' perceptions of health and welfare. *Australian veterinary journal*, 88(12), 465-471.

Miranda, A. L. S; Palhares, M. S. (2017). Muare: características, origem e particularidades clínico-laboratoriais. *Revista Científica Medicina Veterinária*, 29, 1-8.

Miranda, R. M. (1988). Genética e melhoramento dos eqüinos. *Eqüinos*, anoXII, n. 85, p. 11-33.

Paz, C. F. R., Paganella, J. C., Dos Santos, C. A., Nogueira, C. E. W., & Faleiros, R. R. (2013). Relação entre obesidade, insulina plasmática e posicionamento da falange distal em equinos da raça crioula. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65, 1699-1705.

Pietra, M., Guglielmini, C., Nardi, S., Gandini, G., & Cipone, M. (2004). Influence of weight bearing and hoof position on Doppler evaluation of lateral palmar digital arteries in healthy horses. *American journal of veterinary research*, 65(9), 1211-1215.

Polzer, J., & Slater, M. R. (1997). Age, breed, sex and seasonality as risk factors for equine laminitis. *Preventive Veterinary Medicine*, 29(3), 179-184.

Pollitt, C. C. (1992). Clinical anatomy and physiology of the normal equine foot. *Equine Veterinary Education*, 4(5), 219-224.

Andrade Salles, P., de Oliveira Sousa, L., Barbosa, L. P., Gomes, V. V. B., de Medeiros¹, G. R., de Sousa, C. M., & Weller, M. (2013). Analysis of the population of equidae in semiarid region of Paraíba. *Journal of Biotechnology*, 4(3), 269-275.

Smith, D.C. (2009). *The book of mules: selecting, breeding and caring for equine hybrids*. Connecticut: Lyons Press, 136p.

Thatcher, C. D., Pleasant, R. S., Geor, R. J., & Elvinger, F. (2012). Prevalence of overconditioning in mature horses in southwest Virginia during the summer. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 26(6), 1413-1418.

Torres, A. D; Jardim, W. R. *Criação do cavalo e de outros equinos*. Nobel, São Paulo Brasil, 1983. 282p.

Turner, T. A. (2006). How to subjectively and objectively examine the equine foot. In: *Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners (AAEP)*, 56, 531-537.

Williams, N. (2000). Disease conditions in geriatric horses. *Equine Practice*, 22(4), 32-32.

Wongaumnaykul, S., Siedler, C., Schobesberger, H., & Stanek, C. (2006). Doppler sonographic evaluation of the digital blood flow in horses with laminitis or septic pododermatitis. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 47(2), 199-205.

Wyse, C. A., McNie, K. A., Tannahil, V. J., Murray, J. K., & Love, S. (2008). Prevalence of obesity in riding horses in Scotland. *The Veterinary Record*, 162(18), 590.

Yanik, L. (2002). The basics of Doppler ultrasonography. *Veterinary Medicine*, 3, 388-400.

Table 1 - Spearman correlation test between B-mode variables (longitudinal diameter, transverse diameter, longitudinal wall and transverse wall) of the thoracic and pelvic limbs with age and body weight of the horses.

RTL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	0.060	-0.034			
	P-value	0.700	0.826			
Trans. D.	(r)	-0.001	0.026	0.379		
	P-value	0.997	0.869	0.011*		
Long. W.	(r)	-0.355	-0.115	0.417	0.101	
	P-value	0.018*	0.458	0.005*	0.513	
Trans. W.	(r)	-0.112	-0.243	0.378	0.388	0.195
	P-value	0.471	0.111	0.011*	0.009*	0.204
LTL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	-0.266	-0.082			
	P-value	0.044*	0.540			
Trans. D.	(r)	-0.253	-0.122	0.497		
	P-value	0.055	0.363	0.000*		
Long. W.	(r)	-0.106	-0.016	0.514	0.343	
	P-value	0.429	0.908	0.000*	0.008*	
Trans. W.	(r)	0.049	0.043	0.208	0.606	0.003
	P-value	0.713	0.750	0.117	0.000*	0.985
RPL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	-0.055	0.082			
	P-value	0.687	0.543			
Trans. D.	(r)	-0.402	0.087	0.459		
	P-value	0.002*	0.520	0.000*		
Long. W.	(r)	-0.297	0.012	0.443	0.308	1
	P-value	0.025*	0.930	0.001*	0.020*	
Trans. W.	(r)	-0.321	0.034	0.201	0.698	0.388
	P-value	0.015*	0.803	0.133	0.000*	0.003*
LPL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	-0.375	-0.064			
	P-value	0.004*	0.641			
Trans. D.	(r)	0.064	-0.191	0.388		
	P-value	0.641	0.160	0.003*		
Long. W.	(r)	0.136	0.094	0.355	0.433	
	P-value	0.318	0.492	0.007*	0.001*	
Trans. W.	(r)	0.372	-0.107	0.164	0.694	0.367
	P-value	0.005*	0.432	0.228	0.000*	0.005*

RTL = Right thoracic limb

LTL = Left thoracic limb

RPL = Right pelvic limb

LPL = Left pelvic limb

Long. D. = Longitudinal diameter

Trans. D. = Transverse diameter

Long. W. = Longitudinal wall

Trans. W. = Transverse wall

* = Significant values $p < 0.05$ (in bold)

Table 2 - Spearman correlation test between B-mode variables (longitudinal diameter, transverse diameter, longitudinal wall and transverse wall) of the thoracic and pelvic limbs with age and body weight of the mules.

RTL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	-0.063	0.284			
	P-value	0.609	0.018*			
Trans. D.	(r)	0.037	0.004	0.471		
	P-value	0.761	0.976	0.000*		
Long W.	(r)	0.061	0.155	0.574	0.302	
	P-value	0.621	0.203	0.000*	0.012*	
Trans. W.	(r)	0.042	-0.136	0.085	0.529	0.144
	P-value	0.731	0.266	0.490	0.000*	0.239
LTL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	-0.227	-0.115			
	P-value	0.056	0.336			
Trans. D.	(r)	-0.044	0.098	0.561		
	P-value	0.712	0.411	0.000*		
Long W.	(r)	-0.153	0.160	0.565	0.482	
	P-value	0.199	0.179	0.000*	0.000*	
Trans. W.	(r)	-0.079	0.030	0.331	0.525	0.322
	P-value	0.511	0.803	0.005*	0.000*	0.006*
RPL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	0.134	-0.098			
	P-value	0.308	0.456			
Trans. D.	(r)	0.133	-0.168	0.685		
	P-value	0.310	0.200	0.000*		
Long. W.	(r)	0.03	0.173	0.722	0.473	
	P-value	0.818	0.186	0.000*	0.000*	
Trans. W.	(r)	0.192	0.279	0.340	0.619	0.480
	P-value	0.141	0.031*	0.008*	0.000*	0.000*
LPL		Age	Weight	Long. D.	Trans. D.	Long. W.
Long. D.	(r)	-0.081	-0.162			
	P-value	0.491	0.169			
Trans. D.	(r)	-0.174	-0.224	0.697		
	P-value	0.139	0.055	0.000*		
Long. W.	(r)	-0.075	-0.351	0.376	0.329	
	P-value	0.524	0.002*	0.001*	0.004*	
Trans. W.	(r)	0.053	-0.123	0.015	0.138	0.400
	P-value	0.656	0.298	0.897	0.240	0.000*

RTL = Right thoracic limb

LTL = Left thoracic limb

RPL = Right pelvic limb

LPL = Left pelvic limb

Long. D. = Longitudinal diameter

Trans. D. = Transverse diameter

Long. W. = Longitudinal wall

Trans. W. = Transverse wall

* = Significant values $p < 0.05$ (in bold)

Table 3 - Spearman correlation test between the spectral Doppler ultrasound variables of the palmar and plantar digital arteries (RI, PI, pSV, fDV and MV), with age and body weight in the limbs of horses.

RTL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	0.396	-0.345				
	P-value	0.000*	0.000*				
PI	(r)	0.246	-0.346	0.796			
	P-value	0.009*	0.000*	0.000*			
pSV	(r)	-0.278	0.290	-0.139	0.005		
	P-value	0.003*	0.002*	0.144	0.962		
fDV	(r)	-0.387	0.277	-0.257	-0.090	0.924	
	P-value	0.000*	0.003*	0.006*	0.349	0.000*	
MV	(r)	-0.360	0.308	-0.220	-0.096	0.967	0.943
	P-value	0.000*	0.001*	0.020*	0.316	0.000*	0.000*
LTL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	0.672	0.334				
	P-value	0.000*	0.000*				
PI	(r)	0.746	0.4	0.789			
	P-value	0.000*	0.000*	0.000*			
pSV	(r)	-0.705	-0.178	-0.353	-0.474		
	P-value	0.000*	0.056	0.000*	0.000*		
fDV	(r)	-0.811	-0.286	-0.553	-0.697	0.922	
	P-value	0.000*	0.002*	0.000*	0.000*	0.000*	
MV	(r)	-0.803	-0.253	-0.502	-0.657	0.959	0.981
	P-value	0.000*	0.006*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
RPL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	0.523	0.317				
	P-value	0.000*	0.002*				
PI	(r)	0.551	0.394	0.897			
	P-value	0.000*	0.000*	0.000*			
pSV	(r)	-0.654	-0.294	-0.278	-0.37		
	P-value	0.000*	0.004*	0.006*	0.000*		
fDV	(r)	-0.739	-0.393	-0.503	-0.577	0.891	
	P-value	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	
MV	(r)	-0.678	-0.417	-0.464	-0.583	0.932	0.947
	P-value	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
LPL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	0.052	0.231				
	P-value	0.615	0.024*				
PI	(r)	-0.072	0.453	0.877			
	P-value	0.488	0.000*	0.000*			
pSV	(r)	-0.615	-0.333	0.338	0.289		
	P-value	0.000*	0.001*	0.001*	0.004*		
fDV	(r)	-0.600	-0.501	0.070	-0.004	0.898	
	P-value	0.000*	0.000*	0.499	0.970	0.000*	
MV	(r)	-0.606	-0.453	0.136	0.074	0.946	0.956
	P-value	0.000*	0.000*	0.190	0.477	0.000*	0.000*

RTL = Right thoracic limb

LTL = Left thoracic limb

RPL = Right pelvic limb

LPL = Left pelvic limb

RI = Resistivity index

PI = Pulsatility index

pSV = Peak systolic velocity

fDV = Final diastolic velocity

MV = Mean velocity

* = Significant values $p < 0.05$ (in bold)

Table 4 - Spearman correlation test between the variables of Doppler ultrasonography (RI, PI, pSV, fDV and MV), with age and body.

RTL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	-0.310	-0.433				
	P-value	0.000*	0.000*				
PI	(r)	-0.426	-0.439	0.921			
	P-value	0.000*	0.000*	0.000*			
pSV	(r)	-0.189	-0.486	0.434	0.378		
	P-value	0.028*	0.000*	0.000*	0.000*		
fDV	(r)	-0.090	-0.194	-0.075	-0.141	0.772	
	P-value	0.301	0.024*	0.386	0.104	0.000*	
MV	(r)	-0.063	-0.320	0.162	0.092	0.913	0.865
	P-value	0.469	0.000*	0.060	0.287	0.000*	0.000*
LTL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	0.039	-0.244				
	P-value	0.64	0.003*				
PI	(r)	0.041	-0.250	0.929			
	P-value	0.620	0.002*	0.000*			
pSV	(r)	-0.437	-0.138	-0.304	-0.263		
	P-value	0.000*	0.091	0.000*	0.001*		
fDV	(r)	-0.366	-0.022	-0.721	-0.714	0.787	
	P-value	0.000*	0.793	0.000*	0.000*	0.000*	
MV	(r)	-0.419	-0.036	-0.623	-0.604	0.885	0.926
	P-value	0.000*	0.661	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
RPL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	-0.273	0.053				
	P-value	0.002*	0.545				
PI	(r)	-0.320	0.126	0.862			
	P-value	0.000*	0.153	0.000*			
pSV	(r)	-0.343	-0.611	0.072	-0.045		
	P-value	0.000*	0.000*	0.415	0.608		
fDV	(r)	-0.144	-0.494	-0.395	-0.522	0.764	
	P-value	0.101	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	
MV	(r)	-0.148	-0.577	-0.293	-0.429	0.865	0.918
	P-value	0.093	0.000*	0.001*	0.000*	0.000*	0.000*
LPL		Age	Weight	RI	PI	pSV	fDV
RI	(r)	-0.335	-0.340				
	P-value	0.000*	0.000*				
PI	(r)	-0.370	-0.397	0.937			
	P-value	0.000*	0.000*	0.000*			
pSV	(r)	-0.288	-0.184	-0.142	-0.125		
	P-value	0.001*	0.036*	0.106	0.157		
fDV	(r)	0.062	0.104	-0.724	-0.72	0.688	
	P-value	0.482	0.238	0.000*	0.000*	0.000*	
MV	(r)	-0.059	0.000	-0.578	-0.602	0.826	0.937
	P-value	0.505	0.996	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

RTL = Right thoracic limb

LTL = Left thoracic limb

RPL = Right pelvic limb

LPL = Left pelvic limb

RI = Resistivity index

PI = Pulsatility index

pSV = Peak systolic velocity

fDV = Final diastolic velocity

MV = Mean velocity

* = Significant values $p < 0.05$ (in bold)

¹ Received.

² Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), Rua Prof. Dr. Walter Maurício Correa s/n, Distrito de Rubião Júnior, Botucatu, SP 18618-682, Botucatu - SP, Brasil. *Corresponding author: jescalcaite@hotmail.com

³ Instituto de Bociência, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), Distrito de Rubião Júnior, s/n - Rubião Júnior, SP, 18618-970, Botucatu - SP, Brasil.



Figure 10 - B-mode and spectral Doppler ultrassound in the digital artery

Capítulo 5

Artigo Científico 4 (Manuscrito Principal)

Submission Confirmation



Thank you for your submission

Submitted to	Pesquisa Veterinária Brasileira
Manuscript ID	PVB-7002
Title	Avaliação dos perímetros dos membros locomotores e das artérias digitais de equinos e muares: comparações entre animais, gêneros, lados, face e suas relações com idade e peso corpóreo.
Authors	Fogaça, Jéssica Puolli-Filho, José Nicolau de Oliveira, Rogério Castiglioni, Maria Vettorato, Michel Melo Neto, Gabriel Filadelpho, André Luis Machado, Vânia
Date Submitted	13-Aug-2021

[Author Dashboard >](#)

Avaliação dos perímetros dos membros locomotores e das artérias digitais de equinos e muares: comparações entre animais, gêneros, lados, face e suas relações com idade e peso corpóreo.

Jéssica L. Fogaça^{2*}, Maria C. R. Castiglioni², Michel de C. Vettorato², Gabriel M. N. Barbosa², José N. P. Puolli-Filho², Rogério A. de Oliveira³, André L. Filadelpho³, Vânia M. V. Machado²

RESUMO.- Jéssica L. Fogaça, Maria C. R. Castiglioni, Michel de C. Vettorato, Gabriel M. N. Barbosa, José N. P. Puolli-Filho, Rogério A. de Oliveira, André L. Filadelpho, Vânia M. V. Machado. 2021. **Avaliação dos perímetros dos membros locomotores e das artérias digitais de equinos e muares: comparações entre animais, gêneros, lados, face e suas relações com idade e peso corpóreo.** Pesquisa Veterinária Brasileira, 2021. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rua Prof. Dr. Walter Maurício Correa s/n, Distrito de Rubião Júnior, Botucatu, SP 18618-682, Brasil. E-mail: jesticaleite@hotmail.com

O presente estudo teve como objetivo avaliar os perímetros dos membros torácicos e pélvicos de 10 equinos e 10 muares, e fazer avaliação da caracterização das artérias digitais palmares e plantares desses animais por ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e Histograma em Escala de Cinza (HEC), além de verificar a influência da idade e do peso corpóreo. Os parâmetros avaliados foram os perímetros do carpo e tarso, metacarpo (II, III e IV) e metatarso (II, III e IV), articulação do boleto, quartela, comprimento do carpo acessório ao solo, comprimento do olecrano (condilho) ao solo, comprimento do calcâneo ao solo e circunferência do casco, de todos os membros locomotores. Os parâmetros avaliados pela ultrassonografia Modo-B foram os diâmetros (longitudinal e transversal) e a espessura da túnica-intima e média (EIM) e com a ultrassonografia Doppler espectral o IR, IP, pVS, fVD e VM. Também foi avaliado a ecogenidade (*Mean*) e a ecotextura (*StdDev*) pelo HEC. Os muares apresentaram os perímetros dos membros locomotores mais elevados que os equinos, no entanto, a circunferência do casco foi maior para os equinos. Houve diferença entre equinos e muares nas variáveis da ultrassonografia Doppler espectral (pVS, fVD e VM) e no HEC (*Mode*). Foi observado diferença entre o lado direito e esquerdo dos membros locomotores pelas variáveis do Modo-B e Doppler espectral. Verificou-se diferença entre a face lateral e medial pela ultrassonografia Doppler espectral e o HEC. Houve correlação da idade dos equinos com as variáveis da ultrassonografia Doppler espectral, enquanto, o peso corpóreo só apresentou significância com as variáveis do HEC. Em relação aos muares não houve correlação com as variáveis da ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e HEC com idade e peso corpóreo. Concluiu-se que a ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e HEC são eficientes para avaliação das artérias digitais dos equinos e

muare, realçando as diferenças encontradas entre os animais, lados dos membros e a face lateral e medial.

TERMOS DE INDEXAÇÃO: Membros locomotores, perímetros, ecogenicidade, ecotextura, fluxo sanguíneo.

ABSTRACT.- The present study aimed to evaluate the perimeters of the thoracic and pelvic limbs of 10 horses and 10 mules, and to evaluate the characterization of the palmar and plantar digital arteries of these animals by B- Mode ultrasonography, spectral Doppler and gray scale histogram (GSH), in addition to verifying the influence age and body weight. The parameters evaluated were the perimeters of the carpus and tarsus, metacarpal (II, III and IV) and metatarsal (II, III and IV), fetlock articulation, pastern, length of carpal accessory to the ground, length of the olecranon (condilho) to the ground, length from calcaneus to ground and hoof circumference of all locomotor limbs. The parameters evaluated by B-Mode ultrasonography were diameters (longitudinal and transverse) and tunica of the intima and media thickness (IMT) and with spectral Doppler ultrasonography, RI, PI, pSV, fDV and MV. Echogenicity (Mean) and echotexture (StdDev) were also evaluated by Gray Scale Histogram (HEC). Mules had higher locomotor limb perimeters than horses, however, hoof circumference was greater for horses. There was a difference between horses and mules in the spectral Doppler ultrasound variables (pVS, fDV and MV) and in the GSH (Mode). Differences were observed between the right and left sides of the locomotor limbs by the B-Mode and spectral Doppler variables. There was a difference between the lateral and medial surfaces by spectral Doppler ultrasonography and GSH. There was a correlation between the age of the horses and the variables of the spectral Doppler ultrasonography, while the body weight was only significant with the variables of the GSH. In relation to mules, there was no correlation with the variables of B-Mode ultrasonography, spectral Doppler and GSH with age and body weight. It was concluded that B-Mode ultrasonography, spectral Doppler and GSH are efficient for evaluating the digital arteries of horses and mules, highlighting the differences found between animals, limb sides and lateral and medial surfaces.

INDEXING TERMS: Locomotive limbs, perimeters, echogenicity, echotexture, blood flow.

INTRODUÇÃO

Os equídeos sofreram inúmeras adaptações físicas, o que resultou na superação de seus predadores, dentre as inúmeras peculiaridades, estão a evolução dos dígitos (Pollitt 1992). Os muare são animais híbridos resultantes do cruzamento entre equinos e asininos, e com consequência disso apresentam diferenças anatomofisiológicas dos equinos (Anderson 1939; Camac 1997; Araújo 2010; Salles et al. 2013). Os muare recebem predominância fenotípica dos asininos em relação a resistência a ecto e endoparasitas, rusticidade e adaptabilidade ao tempo, o que tornam mais resistentes ao trabalho prolongado (Torres & Jardim 1977; Araújo 2010).

Alguns trabalhos tem avaliado as proporções corporais dos equinos e de outros animais, a partir de índices que evidenciem relações entre as medidas de comprimento e perímetro (circunferência) dos membros locomotores (Cabral et al. 2004; Moreira 2016), sendo isso, importante para caracterização morfométrica e dos índices corporais, para avaliação das raças, suas características, qualidades e defeitos (Cintra 2011).

Muitas afecções em equinos resultam em alterações no fluxo sanguíneo periféricos (Colles & Hickman 1977). Infelizmente poucos estudos descreveram o uso da ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral na avaliação das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial, dos membros clinicamente normais e alterados por enfermidades (Cochard et al. 2000).

Em equinos acredita-se que as artérias digitais podem apresentar alguma variabilidade quando comparados os membros direito e esquerdo (Cochard et al. 2000; Müller et al. 2017), semelhante aos seres humanos (Sayer & Fatherree 1945). Estudos com seres humanos e animais, descrevem que a diferença de sexo (Cipone et al. 1997; Denarie et al. 2000; Kerjza et al. 2007; Jurasic et al. 2007), idade (Denarie et al. 2000; Jurasic et al. 2007; Coll et al. 2013) e peso corpóreo (Krejza et al. 2006; Kanegusuku et al. 2020) podem influenciar nos exames de ultrassonografia Modo-B e Doppler espectral.

O Histograma em Escala de Cinza (HEC) tem sido aplicada para avaliação da ecogenicidade e da ecotextura de diversos órgãos (Lee et al. 2006), sendo que na medicina veterinária, essa

ferramenta vem sendo alvo de pesquisa em animais hípidos para elaboração de protocolos (Maeda et al. 1998; Castiglioni et al. 2018; FOGAÇA et al. 2019b).

Devido a isso, o presente estudo teve como objetivo avaliar os perímetros dos membros torácicos e pélvicos de equinos e muares, e fazer avaliação da caracterização das artérias digitais palmares e plantares desses animais por ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e HEC, evidenciando as diferenças entre equinos e muares, machos e fêmeas, lado direito e esquerdo, face lateral e medial, além de verificar a influência da idade e do peso corpóreo no lado direito (membro torácico e pélvico) e lado esquerdo (membro torácico e pélvico) nos equinos e muares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu (FMVZ/UNESP) (Protocolo nº 0257/2018) e foi desenvolvida na Fazenda Edgárdia da FMVZ/UNESP do Campus de Botucatu.

Foram selecionados, por meio, dos exames físicos (frequência cardíaca, respiratória, motilidade intestinal e temperatura corpórea) e laboratoriais (hemograma e exame bioquímico), cinco muares fêmeas (361 quilogramas (Kg) e idade de 8 anos) e cinco muares machos (385kg e 9 anos), totalizando em 10 muares hípidos com peso corpóreo médio de 378kg e 9 anos.

Também foram selecionados 5 equinos fêmeas (366kg e idade de 9 anos) e 5 machos (347kg e 8 anos), totalizando em 10 equinos hípidos com o peso corpóreo médio de 364kg e 11 anos.

No presente estudo, foi utilizado uma fita métrica para as medições dos perímetros (circunferências) e comprimentos dos membros torácicos (direito e esquerdo) nas seguintes regiões: carpo, metacarpo (II, III e IV), articulação do boleto, quartela, comprimento do carpo acessório ao solo e comprimento do olecrano (condilho) ao solo e circunferência do casco (Fig.1).

As regiões tomadas como referência anatômicas para as mensurações dos membros torácicos foram:

Carpo: circunferência da região mediana dos ossos carpianos (Cabral et al. 2004);

Metacarpo: circunferência da região média dos ossos metacárpicos (II, III e IV) (Cabral et al. 2004);

Boleto: circunferência da região média do boleto (Torres & Jardim 1981);

Quartela: circunferência da região média da quartela (Torres & Jardim 1981).

Comprimento do olecrano ao solo: medição do espaço entre o vértice do olecrano e o solo em linha reta (Torres & Jardim 1981; Cabral et al. 2004; Moreira 2016).

Comprimento do carpo acessório ao solo: medição do espaço entre o vértice do osso carpo acessório até o solo em linha reta (Torres & Jardim 1981; Cabral et al. 2004; Moreira 2016).

Circunferência do Casco: ângulo medial até o ângulo lateral da barra do casco (Melo et al., 2006).

Para os membros pélvicos também foi utilizada uma fita métrica para as mensurações do: tarso, metatarso (II, III e IV), articulação do boleto, quartela, comprimento do calcâneo ao solo e circunferência do casco (Fig.2).

As regiões tomadas como referência anatômica para as mensurações dos membros pélvicos foram:

Tarso: circunferência da região média dos ossos társicos (Torres & Jardim 1983);

Metatarso: circunferência da região média dos ossos metacárpicos (II, III e IV) (Torres & Jardim 1983; Cabral et al. 2004);

Boleto: circunferência da região média do boleto (Torres & Jardim 1983);

Quartela: circunferência da região média da quartela (Torres & Jardim 1983).

Comprimento do calcâneo ao solo: medição do espaço entre o vértice do calcâneo e o solo em linha reta (Angell et al. 2011).

Circunferência do Casco: ângulo medial até o ângulo lateral da barra do casco (Melo et al. 2006).

No presente estudo, todos os animais foram submetidos a tricotomia na região do boleto um dia antes dos exames ultrassonográficos (Modo-B e Doppler espectral), com o objetivo, de facilitar a avaliação das artérias digitais palmares e plantares lateral e medial.

No dia do experimento, os animais permaneceram no campo e não foram submetidos a jejum hídrico, sólido e tampouco procedimentos sedativos afim de evitar alterações hemodinâmicas. No momento dos exames ultrassonográficos, os animais foram contidos em troncos de contenção por cabrestos para realização dos exames e em temperatura ambiente. É importante salientar, que os animais foram sensibilizados com toda a estratégia de manejo para depois iniciar os exames ultrassonográficos.

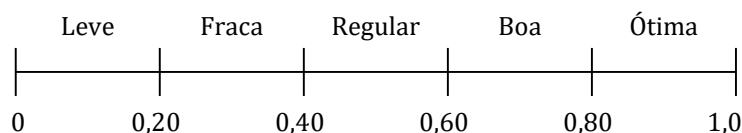
Foi utilizado um aparelho de ultrassonografia móvel, modelo Logiq V2 da Healthcare, com transdutor linear de alta frequência (8 a 12MHz) para obtenção das imagens Modo-B e Doppler espectral nas artérias digitais palmares e plantares, lateral e medial.

As imagens do Modo-B foram realizadas no plano longitudinal e transversal para avaliação da Espessura da Túnica-Intima e Média (EIM) e dos diâmetros do vaso de interesse, enquanto, a ultrassonografia Doppler espectral foi realizada para adquirir as seguintes variáveis: índice de resistividade (IR), índice de pulsatilidade (IP), pico da velocidade sistólica (pVS), velocidade diastólica final (fVD) e velocidade média (VM) (Fig.3).

As imagens da ultrassonografia Modo-B no plano longitudinal foram avaliadas pela ferramenta do HEC disponível no software *ImageJ*® - *National Institutes of Health*. O HEC foi realizada na EIM superficial e profunda com um tamanho amostral (*Count*) de 300 a 500 pixels (Fig. 4). As variáveis adquiridas foram: *Mean*, *StdDev*, *Mínimo*, *Máximo* e *Mode* foram para a análise estatística.

A análise estatística foi realizado pelo software estatístico SAS, versão 9.3, e foram calculadas as medidas descritivas (média, mediana e desvio padrão). Os testes estatísticos aplicados foram utilizados modelos lineares mistos, considerando os animais como efeitos aleatórios e os demais fatores como efeitos fixos, e também correlação linear de Spearman para investigar a possível relação linear entre as medidas.

A escala de correlação linear no presente estudo foi de:



Todos os testes de hipóteses desenvolvidos nesse trabalho consideraram uma significância de 5%, ou seja, a hipótese nula foi rejeitada quando p-valor foi menor ou igual a 0,05. Também é importante considerar que no presente estudo, só foi considerado os valores de correlação linear regular, boa e ótima.

RESULTADOS

Observa-se na Tabela 1 que os muarees apresentaram as médias dos perímetros dos membros torácicos e pélvicos (direito e esquerdo) superiores aos dos equinos, com exclusão da circunferência dos cascos em todos os membros, onde os equinos apresentaram valores superiores.

Na Tabela 2, os muarees machos apresentaram as médias das mensurações do membro torácico direito (MTD) e esquerdo (MTE), mais elevadas do que as muarees fêmeas, com exceção do boleto e quartela do membro torácico esquerdo, onde os valores foram superiores para as muarees fêmeas.

Os muarees machos tiveram as médias das mensurações do membro pélvico direito (MPD) e esquerdo (MPE) mais elevadas quando comparadas com as muarees fêmeas, com exceção da quartela do membro direito e do comprimento do calcâneo ao solo tanto no membro direito e esquerdo, onde as fêmeas apresentaram valores superiores.

Em relação aos equinos, as médias das mensurações do carpo, metacarpo e comprimento do olécrano ao solo do membro torácico direito (MTD) foi maior nos machos, entretanto, boleto, quartela, casco e comprimento do carpo acessório ao solo foi maior nas fêmeas. No membro torácico esquerdo (MTE), as médias do carpo, casco, comprimento do olécrano ao solo e comprimento do carpo acessório ao solo foi superior nos machos, já o metacarpo, boleto e quartela foram maiores nas fêmeas.

Já no membro pélvico direito (MPD) dos equinos, as médias do tarso, metatarso, boleto e comprimento do calcâneo ao solo foram maiores para os machos. Já a quartela e circunferência do casco foram superiores nas fêmeas. Por fim, no membro pélvico esquerdo (MPE) as fêmeas demonstraram valores superiores em relação aos machos.

Na Tabela 3 não foi constatado diferença entre muarees e equinos nas variáveis do Modo-B. Também não houve diferença entre as fêmeas e machos e entre a face lateral e medial.

No entanto, verificou-se diferença significativa entre o lado direito com o esquerdo nas variáveis diâmetro longitudinal ($p=0,0275$) e parede transversal ($p=0,0206$), sendo que os valores do diâmetro longitudinal foram maiores constantemente no lado direito, e no lado esquerdo na parede transversal.

Na Tabela 4 houve diferença estatisticamente significativa entre muares e equinos nas variáveis pVS ($p < 0,0001$), fVD ($p = 0,0002$) e VM ($p < 0,0001$), onde os valores foram superiores para os equinos.

Houve diferença significativa entre o lado direito e esquerdo nas variáveis IR ($p = 0,0008$), IP ($p < 0,0001$), fVD ($p = 0,0133$) e VM ($p = 0,0561$), onde os valores de IR, IP, fVD e VM foram maiores mais frequentemente para o lado esquerdo.

Observou-se diferença estatisticamente significativa entre a face lateral e medial nas variáveis IR ($p = 0,0306$) e IP ($p = 0,0339$), sendo que a face medial apresentou valores superiores mais frequentemente.

Em relação aos gêneros dos animais, não houve diferença estatística.

Na Tabela 5 houve diferença estatisticamente significativa entre muares e equinos na variável *Mode* ($p = 0,0214$), sendo que os muares apresentaram valores superiores com mais frequência.

Observou-se diferença significativa entre a face lateral com a na variável *Stddev* ($p = 0,0440$) e *Max* ($p = 0,0135$), sendo que a face medial apresentou valores superiores com mais frequência.

De acordo com a Tabela 6 não houve correlações significativas (regular, boa e ótima) das variáveis da ultrassonografia Modo-B de equinos e muares com idade e peso corpóreo, no entanto, o que apresentaram correlações significativas foram consideradas quase inexistentes (leve e fraca).

A idade dos equinos (Tabela 7) apresentou correlações significativas com as variáveis da ultrassonografia Doppler espectral (pVS $p < 0,0001$ regular, fVD $p < 0,0001$ regular e VM $p < 0,0001$ regular) no lado direito e no lado esquerdo (IR $p < 0,0001$ regular, IP $p < 0,0001$ regular, pVS $p < 0,0001$ regular, fVD $p < 0,0001$ boa e VM $p < 0,0001$ boa). Enquanto o peso corpóreo apresentou correlações quase inexistentes (leve e fraca), com exceção, da variável IP (lado $p < 0,0001$ regular).

Nos muares, a idade e o peso corpóreo apresentaram significância estatística baixa (leve e fraca). Entretanto, a variável pVS apresentou correlação significativa regular com o peso corpóreo (lado direito $p < 0,0001$).

A Tabela 8 ilustra que a idade dos equinos não apresentou correlações significativas (regular, boa e ótima) com as variáveis do HEC. No entanto, o peso corpóreo apresentou correlações com a variável *Mean* ($p < 0,0001$ regular) e *Mode* ($p < 0,0001$ regular) no lado direito e no lado esquerdo com a variável *Max* ($p < 0,0001$ regular). Enquanto os muares, as correlações da idade e peso corpóreo com as variáveis do HEC foram inexistentes.

DISCUSSÃO

Os muares de grande porte possuem alta capacidade de transporte e podem possuir a capacidade de crescer mais que um equino e pesar mais quando comparado com um equino do mesmo tamanho (Travis 1990, Torres & Jardim 1983). Os equinos de sela possuem o peso corpóreo de 350 à 500kg, onde são considerados mais leves e de ossatura delgada (fina) dos membros (Torres & Jardim 1983, Tissera et al. 2009). No presente estudo, os equinos são considerados de sela, o que explica o fato dos muares apresentarem os perímetros e comprimentos dos membros torácicos e pélvicos maiores que dos equinos, pois os muares apresentaram a média do peso corpóreo (378Kg) superior aos equinos (364Kg).

Nos gêneros de equinos, as fêmeas apresentaram valores mais altos em quase todas as mensurações dos perímetros dos membros locomotores. Isso se deve ao fato do peso corpóreo das fêmeas (366Kg) serem superiores aos dos machos (347Kg). Em relação ao gênero de muares, os machos apresentaram valores superiores na maioria das avaliações dos perímetros dos membros locomotores, e isso, também é justificado, por meio, da diferença do peso corpóreo (machos 385Kg e fêmeas 361Kg) e segundo Monterde e Hernández (1995) e Pilliner et al. (2002), quanto maior o peso corpóreo do animal, mais grossos são os membros locomotores, e quanto mais leves e altos, mais finos.

Em relação a circunferência dos cascos, os muares apresentaram valores menores que aos equinos, isto, é justificado pelo fato dos muares apresentarem características intermediárias entre o equino e o asinino, com predominância fenotípica de características asininas, entre elas, destacam-se a morfologia dos cascos que são encastelados e pequenos (Miranda & Palhares 2017).

No presente estudo, foi verificado assimetria entre os membros locomotores e os cascos dos equinos e muares. Segundo Hiramoto et al. (1993), Wood (1997) e Stashak (2006) os seres humanos e a maioria das espécies de animais exibem assimetria (esquerda e direita) em seus planos corporais e os membros locomotores apresentam um forte viés (Stashak 2006).

Os equídeos na sua evolução apresentaram mudanças em seu aparelho locomotor (Torres & Jardim 1983) e as artérias digitais palmares e plantares, são responsáveis por emitir diversos ramos para irrigação da região distal dos membros locomotores (Pollitt 1992; Denoix 1994) e várias

enfermidades vasculares podem causar desequilíbrio podal nos equídeos (Stokes et al. 2004). A ultrassonografia Modo-B e Doppler foi aplicada em alguns estudos para quantificação do fluxo sanguíneo das artérias digitais de equinos saudáveis e com doenças inflamatórias (Hunt et al. 1994; Ingle-Fehr & Baxter, 1998; Cochard et al. 2000).

No presente estudo, houve diferença significativa entre equinos e muares nas variáveis da ultrassonografia Doppler espectral, sendo que a velocidade do fluxo sanguíneo foram superiores para os equinos. Acreditamos que essa diferença esteja relacionado ao peso corpóreo, sendo que os equinos apresentaram a média de 364Kg inferior aos muares 378Kg. Em seres humanos pacientes com maior peso corpóreo tendem a apresentar menor velocidade do fluxo sanguíneo (Kanegusuku et al. 2020), o que foi observado com os muares. Além disso, os muares são animais híbridos e apresentam diferenças anatomofisiológicas dos equinos (Burnhan 2002; Alsafy et al. 2008; Miranda & Palhares 2017).

Houve diferença entre o lado direito e o esquerdo na avaliação do plano longitudinal e transversal. Contudo, pode existir diferenças no diâmetro e EIM no plano longitudinal e transversal, pois o plano transversal pode subestimar ou superestimar os valores verdadeiros (Liguori et al. 2002; Broom 2011). Também foi verificada diferenças entre os lados direito e o esquerdo pela ultrassonografia Doppler espectral, semelhante aos estudos com seres humanos e animais (Sayer & Fotherree 1945; Cochard et al. 2000; Müller et al. 2017)

Houve diferença entre a face lateral e medial das artérias avaliadas pela ultrassonografia Doppler espectral e conforme Stashak et al. (2006) durante a fase de apoio do membro de equinos ao solo, o peso não é uniformemente distribuído, ou seja, é mais colocado ao lado caudo medial do casco, o que pode justificar as variáveis IR e IP terem apresentado valores superiores para a face lateral. Além disso, as diferenças das mudanças na pressão do casco, induzidas por mudanças de peso podem ser responsáveis pela diferença de fluxo sanguíneo entre os lados direito e esquerdo dos membros locomotores dos equinos (Cochard et al. 2000; Rasis et al. 2000)

Pelo HEC foi verificado que os equinos e muares apresentaram diferenças significativas na variável *Mode*, o que significa que a intensidade de brilho mais frequente da amostra apresentaram valores superiores para os muares, no entanto, a variável *Mean* não apresentou diferença significativa.

Na comparação da face lateral e medial pelo HEC, foi verificado que a intensidade de brilho máxima encontrada (*Max*) e a ecotextura (*StdDev*) apresentaram valores superiores para a face medial, e acreditamos que isso esteja relacionado, ao fato do peso corpóreo não ser uniformemente distribuído ao casco (Stashak et al. 2006). De acordo com Baroncini et al. (2006) a ecogenicidade e a ecotextura das paredes tem sido confiável para determinar o conteúdo de tecido mole e a quantidade de calcificação depositadas em estudos com seres humanos.

A idade e o peso corpóreo dos equinos e muares, podem influenciar na saúde e na produtividade, e com o aumento desses fatores, podem ocorrer alterações na fisiologia e anatomia cardiovascular, mesmo na ausência de doenças (Miranda 1988; Paz et al. 2013; Mendes & Themudo 2008). Portanto, os estudos da hemodinâmica dos vasos são primordiais para detectar quaisquer alterações cardiovasculares que podem ser decorrentes da senilidade. No presente estudo a idade e o peso corpóreo não apresentaram correlações (regular, boa e ótima) com os diâmetros e EIM das artérias digitais palmares e plantares nos equinos e muares hígidos. No entanto, verificou-se que a idade dos equinos apresentaram correlações negativas com a velocidade do fluxo sanguíneo (pVS, fVD e VM), conforme os estudos com seres humanos (Appleton & Hatle 1992; Schmidt-Trucksass et al. 1999).

Em relação ao peso corpóreo, a variável pVS dos muares apresentou correlação negativa e isso é semelhante aos seres humanos, onde pacientes com maior peso corpóreo tendem a apresentar menor velocidade do fluxo sanguíneo (Kanegusuku et al. 2020). Em relação ao HEC com equinos notou-se que houve correlação negativa do peso corpóreo com a variável *Mean*, *Mode* e *Max*, o que significa que quanto maior o peso corpóreo, menor é a intensidade de brilho do HEC.

CONCLUSÃO

A ultrassonografia Modo-B, Doppler espectral e HEC são eficientes para avaliação das artérias digitais dos equinos e muares, realçando as diferenças encontradas entre os animais, lados direito e esquerdo e entre a face lateral e medial. Concluiu também que a idade dos equinos pode influenciar na velocidade do fluxo sanguíneo e o peso corpóreo pode apresentar correlação com a ecogenicidade e ecotextura, por meio, do HEC.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, nossos sinceros agradecimentos.

Conflitos de interesse

Os autores relatam nenhum conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- Alsafy, M. A. M., El-Kammar, M. H., & El-Gendy, S. A. A. (2008). Topographical anatomy, computed tomography, and surgical approach of the guttural pouches of the donkey. *Journal of Equine Veterinary Science*, 28(4), 215-222.
- Anderson, W.S. (1939). Fertile Mare Mules. *Journal of Heredity*, 30(12), 62-65.
- Angeli, A. L., Reis, A. D. G., Brusorio, D. R., Simioni, L. C., & Hartmann, W. (2011). Biometria de cavalos da raça Brasileiro de Hipismo: resultados parciais. *Revista eletrônica: Biociências, Biotecnologia e Saúde*.
- Appleton, C. P., & Hatle, L. K. (1992). The natural history of left ventricular filling abnormalities: Assessment by two-dimensional and Doppler echocardiography. *Echocardiography*, 9(4), 437-457.
- Araújo, N. A. Origem histórica do jumento doméstico: suas raças. Patos de Minas, Ed. Grafipress, 1ª Ed., 2010. 311p.
- Baroncini, L. A. V., Pazin Filho, A., Junior, L. O. M., Martins, A. R., Ramos, S. G., Cherri, J., & Piccinato, C. E. (2006). Caracterização tecidual ultra-sônica da placa carotídea vulnerável pela análise videodensitométrica., 84010, 350.
- Broom J. *Veterinary Ecocardiography*. 2nd Ed. 2011, 589.
- Burnham, S. L. (2002). Anatomical differences of the donkey and mule. In *Proc. Am. Assoc. Equine Pract*, 48, 102-109).
- Cabral, G. C., Almeida, F. Q. D., Quirino, C. R., Azevedo, P. C. N. D., Pinto, L. F. B., & Santos, E. M. (2004). Avaliação morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: índices de conformação e proporções corporais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6), 1798-1805.
- Camac, R. Introduction and origins of the donkey. In: SVENDSEN, E.D. *The professional handbook of the donkey*. 3ª Ed. Londres: White Books, 1997. p. 9-18.
- Castiglioni, M. C. R., de Campos Vettorato, M., Fogaça, J. L., Puoli Filho, J. N. P., & de Vasconcelos Machado, V. M. (2018). Quantitative Ultrasound of Kidneys, Liver, and Spleen: a Comparison Between Mules and Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 70, 71-75.
- Cintra, A. G. C. *O cavalo: característica, manejo e alimentação*. São Paulo: Roca, 2011. 384p.
- Cipone, M., Pietra, M., Gandini, G., Borai, A., Guglielmini, C., & Venturoli, M. (1997). Pulsed wave-Doppler ultrasonographic evaluation of the common carotid artery in the resting horse: physiologic data. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 38(3), 200-206.
- Cochard, T., Toal, R. L., & Saxton, A. M. (2000). Doppler ultrasonographic features of thoracic limb arteries in clinically normal horses. *American journal of veterinary research*, 61(2), 183-190.
- Coll, B., Betriu, A., Feinstein, S. B., Valdivielso, J. M., Zamorano, J. L., & Fernández, E. (2013). The role of carotid ultrasound in assessing carotid atherosclerosis in individuals at low-to-intermediate cardiovascular risk *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 66(12), 929-934.
- Colles, C. M., & Hickman, J. (1977). The arterial supply of the navicular bone and its variations in navicular disease. *Equine veterinary journal*, 9(3), 150-154.

- Denarie, N., Garipey, J., Chironi, G., Massonneau, M., Laskri, F., Salomon, J., ... & Simon, A. (2000). Distribution of ultrasonographically-assessed dimensions of common carotid arteries in healthy adults of both sexes. *Atherosclerosis*, 148(2), 297-302.
- Denoix, J. M. (1994). Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs (manus and pes). *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* 10(2), 273-322.
- Fogaça, J. L., Vettorato, M. C., Puoli-Filho, J. N. P., Fernandes, M. A., & Machado, V. M. V. (2019). Grayscale histogram analysis to study the echogenicity and echotexture of the walls of the common carotid arteries of horses and mules. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 39, 221-229.
- Hiramoto, Y. (1993). Right-left differences in the lengths of human arm and leg bones. *Kaibogaku zasshi. Journal of anatomy*, 68(5), 536-543.
- Hoffmann, K. L., Wood, A. K. W., McCarthy, P. H., Griffiths, K. A., Evans, D. L., & Gill, R. W. (1999). Sonographic observations of the peripheral vasculature of the equine thoracic limb. *Anatomia, histologia, embryologia*, 28(5-6), 281-289.
- Hunt, R. J., Brandon, C. I., & McCann, M. E. (1994). Effects of acetylpromazine, xylazine, and vertical load on digital arterial blood flow in horses. *American journal of veterinary research*, 55(3), 375-378.
- Ingle-Fehr, J. E.; Baxter, G. M. Evaluation of digital and laminar blood flow in horses given a low dose of endotoxin. *American Journal of Veterinary Research*, v. 59, n. 2, p. 192-196, 1998.
- Jurasic, M. J., Lovrencic-Huzjan, A., Bedekovic, M. R., & Demarin, V. (2007). How to monitor vascular aging with an ultrasound. *Journal of the neurological sciences*, 257(1-2), 139-142.
- Kanegusuku, H., Cucato, G. G., Domiciano, R. M., Longano, P., Puech-Leao, P., Wolosker, N.,... & Correia, M. A. (2020). Impact of obesity on walking capacity and cardiovascular parameters in patients with peripheral artery disease: A cross-sectional study. *Journal of Vascular Nursing*, 38(2), 66-71.
- Krejza, J., Arkuszewski, M., Kasner, S. E., Weigele, J., Ustymowicz, A., Hurst, R. W., ... & Messe, S. R. (2006). Carotid artery diameter in men and women and the relation to body and neck size. *Stroke*, 37(4), 1103-1105.
- Lee, C. H., Choi, J. W., Kim, K. A., Seo, T. S., Lee, J. M., & Park, C. M. (2006). Usefulness of standard deviation on the histogram of ultrasound as a quantitative value for hepatic parenchymal echo texture; preliminary study. *Ultrasound in medicine & biology*, 32(12), 1817-1826.
- Liguori, C., Paolillo, A., & Pietrosanto, A. (2001). An automatic measurement system for the evaluation of carotid intima-media thickness. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 50(6), 1684-1691.
- Maeda, K., Utsu, M., & Kihale, P. E. (1998). Quantification of sonographic echogenicity with grey-level histogram width: a clinical tissue characterization. *Ultrasound in medicine & biology*, 24(2), 225-234.
- Sampaio, B. F. B., Shiroma, M. Y. M., Bertozzo, B. R., Costa, E. V., & Zúccari, C. E. S. N. (2014). Equilíbrio do casco equino. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(1), 1-11.
- Mendes, R., & Barata, J. T. (2008). Envelhecimento e pressão arterial. *Acta Med Port*, 21(2), 193-8.
- Miranda, A. L. S; Palhares, M. S (2017). Músculos: características, origem e particularidades clínico-laboratoriais. *Revista Científica Medicina Veterinária*, 29, 1-8.
- Miranda, R. M. (1988). Genética e melhoramento dos eqüinos. *Eqüinos*, anoXII, n. 85, 11-33.

- Monterde, A. R.; Hernández, M. E. R (1945). Zootecnia de Équidos. Universidade Nacional Autônoma do México. Unidade 8, 46.
- Moreira, C. G. Estudo exploratório sobre biometria e estimativa de peso vivo de jumentos da raça Pêga. 2016. 54 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP. Universidade São Paulo, São Paulo.
- Müller, H., Heinrich, M., Mielenz, N., Reese, S., Steiner, A., & Starke, A. (2017). Evaluation of arterial digital blood flow using Doppler ultrasonography in healthy dairy cows. *BMC veterinary research*, 13(1), 1-9.
- Paz, C. F. R., Paganela, J. C., Dos Santos, C. A., Nogueira, C. E. W., & Faleiros, R. R. (2013). Relação entre obesidade, insulina plasmática e posicionamento da falange distal em equinos da raça crioula. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65, 1699-1705.
- Pilliner, S.; Elmhurst, S.; Davies, Z. The horse in motion: The anatomy and physiology of equine Locomotion. John Wiley & Sons, 2002.
- Pollitt, C. C. (1992). Clinical anatomy and physiology of the normal equine foot. *Equine Veterinary Education*, 4(5), 219-224.
- Raisis, A. L., Young, L. E., Meire, H. B., Taylor, P. M., Walsh, K., & Lekeux, P. (2000). Variability of Doppler ultrasound measurements of hindlimb blood flow in conscious horses. *Equine veterinary journal*, 32(2), 125-132.
- de Andrade Salles, P., de Oliveira Sousa, L., Barbosa, L. P., Gomes, V. V. B., de Medeiros¹, G. R., de Sousa, C. M., & Weller, M. (2013). Analysis of the population of equidae in semiarid region of Paraíba. *Journal of Biotechnology*, 4(3), 269-275.
- Sayer A.; Fatherrree T. J. (1945). Congenital hemihyper trophy. *U. S. Navy. Med. Bull.* 44, 142-147.
- Stashak, T. S. (2006). *Claudicação em Equinos Segundo Admas*. 5^a. Ed. São Paulo: Roca, 1112p.
- Stokes, A.M.; Eades, S.C.; Moore, R.M. (2004). Pathophysiology and treatment of acute laminitis. In: REED, S.M.; BAYLY, W. M.; SELLON, D.C. *Equine Internal Medicine*, 2^a Ed. Saunders: St. Louis, USA. p. 522 – 530.
- Tissera, J., Losinno, L., Aguilar, J., & Ludueña, R. (2009). Razas equinas, guía de trabajos prácticos. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Departamento Producción Animal. Área de Producción Equina. 13p.
- Torres, A. D; Jardim, W. R. (1983). *Criação do cavalo e de outros equinos*. Nobel, São Paulo Brasil, 282p.
- Travis, L. (1990). *The mule*. J. A. Allen & Co, London.
- Wood, W. (1997). Left-right asymmetry in animal development. *Annual review of cell and developmental biology*, 13(1), 53-82.

Legendas das Figuras

Fig. 1. (A) Mensurações do metacarpo, (B) boleto, (C) quartela, (D) comprimento do carpo acessório ao solo e (E) olecrano ao solo e (F) circunferência do casco.

Fig.2. (A) Mensurações do metatarso, (B) boleto, (C) quartela, (D) comprimento do calcâneo ao solo e (E) circunferência do casco.

Fig.3. (A) Posicionamento do transdutor para a realização do exame da artéria digital plantar medial. (B) Ultrassonografia Modo-B no plano transversal e (C) longitudinal. (D e E) Ultrassonografia Doppler espectral

Fig.4. Imagem Modo-B plano longitudinal da artéria digital palmar lateral de um equino. Nota-se o total de pixels selecionados (*Count*), o qual nesse estudo variou de 300 a 500 na EIM (A) superficial e (B) profunda. Nota-se a média da intensidade de brilho (*Mean*) dos pixels selecionados, onde zero (0) representa uma tonalidade totalmente escura (hipoecóico/hipoecogênico), e 255 uma tonalidade totalmente brilhante (hiperecóico/hiperecogênico) e o grau de variação da intensidade de brilho (*StdDev*), onde mais próximo de zero (0), mais homogêneo, e quanto maior seu valor, mais heterogêneo. Observa-se o valor mais brilhante (*Max*) e o valor mais escuro (*Min*) que apareceram na amostra. Nota-se também o valor de intensidade de brilho mais frequente na amostra (*Mode*), seguido da quantidade de pixels a representa na imagem (valor em parêntese).



Fig.1.

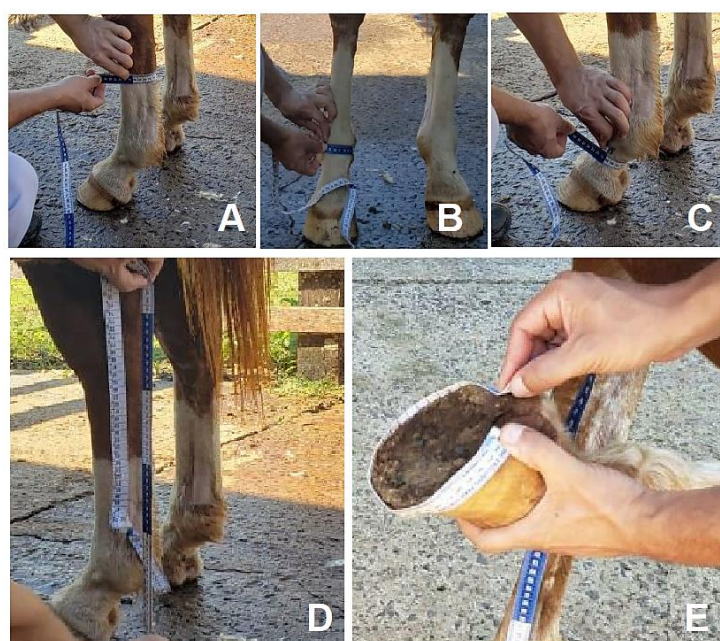


Fig.2.

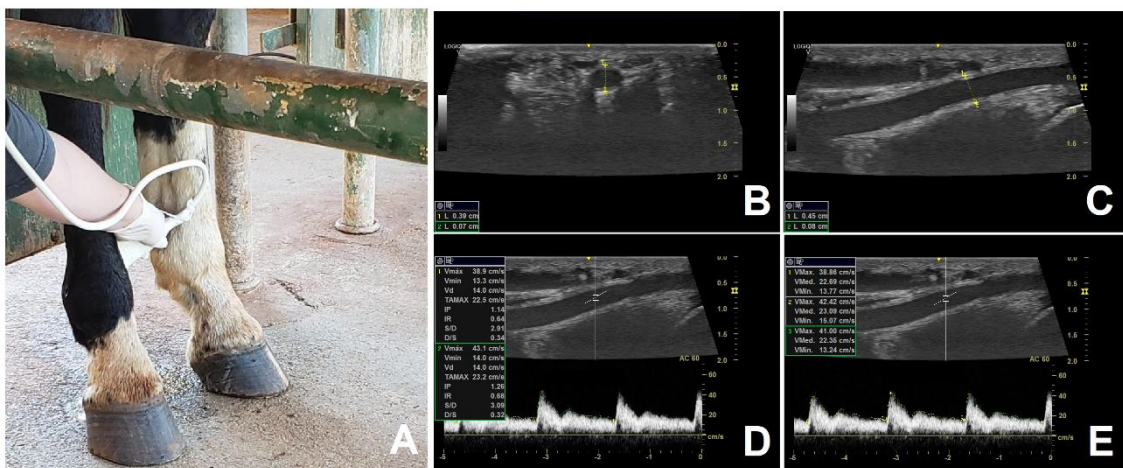


Fig.3.



Fig.4.

Tabela 13. Média, mediana, desvio padrão dos perímetros e comprimento dos membros torácicos e pélvicos dos muares e equinos.

	Muares			Equinos		
	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão
MTD						
Circ. Carpo (cm)	30,70	30,65	1,24	28,40	28,20	0,83
Circ. Metacarpo (II, III e IV) (cm)	19,06	19,15	0,66	18,26	18,35	0,30
Circ. Boletto (cm)	25,65	25,6	0,72	24,93	24,95	0,64
Circ. Quartela (cm)	18,48	18,45	0,66	18,26	18,40	0,50
Circ. Casco (cm)	26,76	26,15	1,66	30,81	31,05	0,98
Comp. do olécrano ao solo (cm)	84,01	82,6	3,41	83,19	83,40	1,31
Comp. do carpo acessório ao solo (cm)	44,59	43,7	2,54	42,83	42,80	1,07
MTE						
Circ. Carpo (cm)	30,34	30,70	1,25	28,39	28,35	0,79
Circ. Metacarpo (II, III e IV) (cm)	19,09	18,95	0,71	18,31	18,40	0,37
Circ. Boletto (cm)	25,87	25,80	0,94	24,81	24,55	0,70
Circ. Quartela (cm)	18,55	18,35	0,61	17,90	18,10	0,48
Circ. Casco (cm)	27,30	26,90	1,85	30,83	31,00	1,39
Comp. do olécrano ao solo (cm)	86,42	85,60	3,50	83,78	83,50	1,41
Comp. do carpo acessório ao solo (cm)	44,75	44,30	1,93	43,24	43,35	1,13
MPD						
Circ. Tarso (cm)	32,24	32,45	2,11	30,36	30,55	1,65
Circ. Metatarso (II, III e IV) (cm)	21,01	20,90	0,88	19,68	19,80	0,47
Circ. Boletto (cm)	27,22	27,30	0,72	26,31	26,25	0,72
Circ. Quartela (cm)	20,11	20,00	0,74	19,28	19,35	0,58
Comp. do calcâneo ao solo (cm)	58,37	55,70	9,47	52,61	52,95	3,87
Casco (cm)	25,20	25,10	1,49	29,11	29,00	0,45
MPE						
Circ. Tarso (cm)	31,74	31,95	2,35	28,60	28,60	1,53
Circ. Metatarso (II, III e IV) (cm)	20,91	20,85	0,67	19,86	19,80	0,68
Circ. Boletto (cm)	26,92	27,00	0,85	26,41	26,45	0,73
Circ. Quartela (cm)	19,78	19,85	0,57	19,09	19,20	0,59
Comp. do calcâneo ao solo (cm)	57,34	55,45	10,12	53,53	54,15	1,50
Circ. Casco (cm)	25,44	25,50	0,99	29,63	29,50	0,70

MTD = Membro torácico direito
MTE = Membro torácico esquerdo
MPD = Membro pélvico direito
MPE = Membro pélvico esquerdo
Circ. = Circunferência
Comp. = Comprimento

Tabela 2. Média, mediana, desvio padrão dos perímetros e comprimentos dos membros locomotores dos muares e equinos conforme os gêneros.

	Gêneros	Muares			Equinos		
		Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão
MTD							
Circ. Carpo (cm)	Fêmea	30,46	30,60	1,41	28,24	27,90	0,90
	Macho	30,94	31,00	0,98	28,67	28,70	0,61
Circ. Metacarpo (cm)	Fêmea	18,94	19,10	0,55	18,18	18,30	0,30
	Macho	19,18	19,20	0,74	18,40	18,40	0,24
Circ. Boletto (cm)	Fêmea	25,40	25,40	0,68	25,08	25,20	0,43
	Macho	25,90	26,00	0,66	24,67	24,30	0,82
Circ. Quartela (cm)	Fêmea	18,46	18,60	0,52	18,58	18,60	0,19
	Macho	18,50	18,10	0,78	17,73	17,80	0,41
Circ. do casco (cm)	Fêmea	26,16	25,80	1,53	31,02	31,10	1,02
	Macho	27,36	28,50	1,56	30,47	30,00	0,81
Comp. do olécrano ao solo (cm)	Fêmea	83,02	82,20	3,71	82,90	83,30	1,04
Comp. do carpo acessório ao solo (cm)	Macho	85,00	84,90	2,74	83,67	84,50	1,55
	Fêmea	43,28	42,00	2,41	42,86	42,80	0,96
Macho	45,90	46,60	1,91	42,77	42,00	1,23	
MTE							
Circ. Carpo (cm)	Fêmea	29,74	30,00	1,45	28,22	28,20	0,83
	Macho	30,94	31,00	0,58	28,67	28,50	0,62
Circ. Metacarpo (cm)	Fêmea	18,94	18,90	0,65	18,50	18,60	0,21
	Macho	19,24	19,00	0,74	18,00	17,80	0,36
Circ. Boletto (cm)	Fêmea	25,90	25,80	1,14	24,86	24,90	0,61
	Macho	25,84	25,80	0,67	24,73	24,20	0,83
Circ. Quartela (cm)	Fêmea	18,80	19,10	0,70	18,16	18,20	0,15
	Macho	18,30	18,20	0,36	17,47	17,20	0,52
Circ. do casco (cm)	Fêmea	26,82	26,80	1,61	30,72	31,00	1,75
	Macho	27,78	29,10	1,94	31,00	31,00	0,00
Comp. do olécrano ao solo (cm)	Fêmea	85,46	84,40	3,80	83,20	83,10	0,67
Comp. do carpo acessório ao solo (cm)	Macho	87,38	86,20	2,86	84,73	83,50	1,74
	Fêmea	44,06	42,90	2,26	42,90	43,20	1,05
Macho	45,44	45,40	1,18	43,80	43,90	1,02	
MPD							
Circ. Tarso (cm)	Fêmea	30,90	30,00	1,53	29,25	29,10	1,14
	Macho	33,58	33,50	1,71	31,48	31,10	1,29
Circ. Metatarso (cm)	Fêmea	20,64	20,60	0,69	19,60	19,55	0,46
	Macho	21,38	21,50	0,89	19,75	19,90	0,47
Circ. Boletto (cm)	Fêmea	26,86	26,90	0,68	26,25	26,20	0,38
	Macho	27,58	27,60	0,55	26,38	26,25	0,93
Circ. Quartela (cm)	Fêmea	20,28	20,20	0,87	19,50	19,50	0,25
	Macho	19,94	19,80	0,54	19,05	19,25	0,71
Comp. do calcâneo ao solo (cm)	Fêmea	59,82	54,20	13,17	52,30	54,40	5,07
Circ. Casco (cm)	Macho	56,92	56,50	1,22	52,93	52,60	2,02
	Fêmea	24,84	24,20	1,05	29,38	29,25	0,41
Macho	25,56	26,20	1,74	28,85	29,00	0,32	
MPE							
Circ. Tarso (cm)	Fêmea	30,76	30,70	1,58	28,74	29,00	1,84
	Macho	32,72	32,00	2,58	28,37	28,20	0,7
Circ. Metatarso (cm)	Fêmea	20,74	20,90	0,69	20,04	19,90	0,77
	Macho	21,08	20,80	0,6	19,57	19,80	0,33
Circ. Boletto (cm)	Fêmea	26,78	27,00	0,94	26,62	26,80	0,48
	Macho	27,06	27,00	0,72	26,07	25,80	0,92
Circ. Quartela (cm)	Fêmea	19,78	19,90	0,46	19,08	19,30	0,48
	Macho	19,78	19,50	0,66	19,08	19,10	0,73
Comp. do calcâneo ao solo (cm)	Fêmea	60,02	55,60	13,67	53,62	54,20	1,58
Circ. Casco (cm)	Macho	54,66	55,30	1,87	53,37	54,00	1,34
	Fêmea	24,94	25,00	0,56	29,80	29,50	0,68
Macho	25,94	26,20	1,07	29,33	29,50	0,62	

MTD = Membro torácico direito

MTE = Membro torácico esquerdo

MPD = Membro pélvico direito

MPE = Membro pélvico esquerdo

Circ. = Circunferência

Comp. = Comprimento

Tabela 3. Média, mediana e desvio padrão das variáveis da ultrassonografia modo-B em cada membro dos equinos e muares, seguido do p-valor para comparação dos grupos (muares e equinos; fêmeas e machos, torácicos e pélvicos, direito e esquerdo, lateral e medial).

Membro torácico	Face	Espécies	Gêneros	Diâmetro longitudinal			Diâmetro transversal			Parede longitudinal			Parede transversal		
				Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão
Direito	Lateral	Muares	Fêmeas	0,55	0,56	0,11	0,52	0,53	0,09	0,10	0,10	0,02	0,12	0,10	0,03
			Machos	0,53	0,52	0,08	0,52	0,53	0,07	0,11	0,10	0,03	0,11	0,11	0,03
Direito	Medial	Muares	Fêmeas	0,47	0,53	0,16	0,56	0,54	0,09	0,11	0,13	0,04	0,12	0,11	0,03
			Machos	0,51	0,52	0,07	0,54	0,52	0,07	0,09	0,09	0,02	0,10	0,10	0,03
Direito	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,51	0,52	0,06	0,53	0,55	0,05	0,10	0,10	0,02	0,10	0,11	0,02
			Machos	0,55	0,58	0,06	0,52	0,55	0,04	0,12	0,12	0,02	0,13	0,14	0,02
Direito	Medial	Equinos	Fêmeas	0,55	0,55	0,05	0,57	0,60	0,07	0,11	0,11	0,02	0,11	0,11	0,03
			Machos	0,51	0,51	0,01	0,56	0,53	0,09	0,12	0,12	0,01	0,11	0,11	0,02
Esquerdo	Lateral	Muares	Fêmeas	0,55	0,56	0,05	0,55	0,54	0,04	0,11	0,11	0,02	0,13	0,13	0,04
			Machos	0,55	0,58	0,05	0,62	0,60	0,13	0,13	0,12	0,03	0,14	0,14	0,04
Esquerdo	Medial	Muares	Fêmeas	0,53	0,52	0,03	0,51	0,52	0,10	0,10	0,10	0,02	0,13	0,12	0,04
			Machos	0,57	0,56	0,07	0,62	0,65	0,17	0,12	0,13	0,02	0,15	0,16	0,06
Esquerdo	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,52	0,52	0,02	0,60	0,60	0,04	0,11	0,11	0,02	0,15	0,15	0,03
			Machos	0,59	0,56	0,10	0,64	0,52	0,14	0,13	0,12	0,05	0,13	0,11	0,05
Esquerdo	Medial	Equinos	Fêmeas	0,58	0,57	0,06	0,52	0,56	0,17	0,12	0,12	0,03	0,12	0,13	0,05
			Machos	0,56	0,58	0,05	0,60	0,66	0,10	0,12	0,12	0,02	0,14	0,13	0,05
Membro pélvico	Face	Espécies	Gêneros	Diâmetro longitudinal			Diâmetro transversal			Parede longitudinal			Parede transversal		
				Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão
Direito	Lateral	Muares	Fêmeas	0,58	0,56	0,11	0,51	0,48	0,13	0,11	0,10	0,04	0,09	0,07	0,04
			Machos	0,53	0,54	0,10	0,49	0,48	0,09	0,11	0,11	0,03	0,11	0,11	0,02
Direito	Medial	Muares	Fêmeas	0,49	0,49	0,09	0,49	0,53	0,13	0,09	0,08	0,03	0,09	0,09	0,03
			Machos	0,42	0,40	0,14	0,40	0,41	0,09	0,08	0,08	0,02	0,09	0,10	0,02
Direito	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,45	0,47	0,07	0,41	0,43	0,06	0,09	0,09	0,01	0,08	0,09	0,02
			Machos	0,41	0,43	0,06	0,40	0,40	0,08	0,06	0,06	0,02	0,07	0,07	0,02
Direito	Medial	Equinos	Fêmeas	0,46	0,48	0,07	0,38	0,41	0,05	0,09	0,08	0,02	0,08	0,07	0,02
			Machos	0,53	0,53	0,07	0,44	0,55	0,13	0,09	0,10	0,02	0,08	0,11	0,03
Esquerdo	Lateral	Muares	Fêmeas	0,39	0,34	0,11	0,43	0,42	0,07	0,10	0,10	0,02	0,10	0,09	0,03
			Machos	0,38	0,36	0,05	0,37	0,37	0,04	0,07	0,08	0,01	0,07	0,07	0,02
Esquerdo	Medial	Muares	Fêmeas	0,44	0,45	0,08	0,45	0,47	0,07	0,10	0,11	0,02	0,10	0,09	0,04
			Machos	0,37	0,37	0,06	0,39	0,38	0,03	0,08	0,08	0,02	0,08	0,09	0,02
Esquerdo	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,42	0,43	0,04	0,39	0,38	0,04	0,08	0,08	0,03	0,08	0,07	0,02
			Machos	0,47	0,48	0,05	0,49	0,50	0,06	0,12	0,11	0,02	0,10	0,10	0,03
Esquerdo	Medial	Equinos	Fêmeas	0,44	0,46	0,07	0,37	0,35	0,08	0,09	0,09	0,02	0,07	0,07	0,02

	Machos	0,47	0,46	0,02	0,51	0,52	0,02	0,10	0,09	0,02	0,11	0,11	0,02
Espécie (Muares vs Equinos)	p=valor			0,3510			0,8933			0,3459			0,8630
Gênero (Fêmeas vs Machos)	p=valor			0,7619			0,6582			0,8751			0,7561
Lado (Direito vs Esquerdo)	p=valor			0,0275*			0,4864			0,1057			0,0206*
Face (Lateral vs Medial)	p=valor			0,6469			0,7288			0,2640			0,8628

Tabela 4. Média, mediana e desvio padrão das variáveis da ultrassonografia Doppler espectral em cada membro dos equinos e muares, seguido do p-valor para comparação dos grupos (muares e equinos; fêmeas e machos, torácicos e pélvicos, direito e esquerdo, lateral e medial).

Membro torácico	Face	Espécies	Gêneros	IR			IP			pVS			fVD			VM		
				Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão
Direito	Lateral	Muares	Fêmeas	0,59	0,60	0,06	0,96	0,95	0,16	22,79	23,24	2,27	9,37	9,06	1,75	14,30	14,25	1,78
			Machos	0,55	0,55	0,08	0,92	0,99	0,25	16,64	16,66	2,87	7,39	7,19	1,80	10,85	10,20	2,04
Direito	Medial	Muares	Fêmeas	0,59	0,61	0,07	0,96	0,93	0,20	23,62	21,90	5,77	9,50	8,30	2,13	14,97	15,90	2,70
			Machos	0,53	0,54	0,05	0,82	0,83	0,11	14,82	13,17	3,18	6,80	6,63	1,87	10,10	9,30	2,00
Direito	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,55	0,56	0,05	0,90	0,91	0,14	31,31	23,61	14,21	12,75	9,43	7,61	20,57	15,12	10,50
			Machos	0,58	0,60	0,05	1,14	1,16	0,16	30,32	31,67	5,94	11,02	10,76	1,63	17,12	17,17	2,35
Direito	Medial	Equinos	Fêmeas	0,59	0,62	0,08	0,99	1,08	0,20	25,92	17,31	14,97	11,36	6,86	9,27	9,11	11,26	9,11
			Machos	0,60	0,62	0,06	1,08	1,04	0,11	34,92	37,34	6,47	14,00	14,13	3,08	20,74	20,92	3,29
Esquerdo	Lateral	Muares	Fêmeas	0,63	0,65	0,10	1,16	1,16	0,37	17,01	17,97	3,05	6,17	6,63	2,35	9,90	10,63	2,66
			Machos	0,59	0,59	0,08	1,01	0,93	0,28	13,88	13,20	3,68	5,51	4,90	2,25	8,63	7,74	2,80
Esquerdo	Medial	Muares	Fêmeas	0,63	0,58	0,09	1,20	0,94	0,46	18,30	15,40	5,45	6,72	5,54	3,40	10,96	9,27	4,69
			Machos	0,58	0,59	0,09	1,01	0,99	0,26	16,30	16,06	4,65	6,36	5,81	1,87	10,15	10,31	2,68
Esquerdo	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,58	0,61	0,09	1,02	1,04	0,21	32,37	23,90	12,87	12,32	11,53	5,66	19,76	16,80	7,87
			Machos	0,49	0,47	0,06	0,78	0,73	0,13	37,51	36,49	4,35	17,79	18,47	4,25	25,11	26,12	4,31
Esquerdo	Medial	Equinos	Fêmeas	0,61	0,62	0,05	1,15	1,12	0,15	17,15	12,91	9,61	5,97	4,67	3,53	10,04	8,16	5,54
			Machos	0,55	0,50	0,11	0,94	0,77	0,35	35,17	33,23	6,65	15,66	16,71	5,80	23,65	23,93	7,04
Membro pélvico	Face	Espécies	Gêneros	IR			IP			pVS			fVD			VM		
				Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão
Direito	Lateral	Muares	Fêmeas	0,58	0,59	0,07	0,97	0,89	0,24	17,46	17,12	4,82	7,11	6,87	1,93	10,67	10,33	2,91
			Machos	0,63	0,64	0,07	1,21	1,20	0,21	15,04	15,84	2,95	5,32	4,90	1,17	7,79	8,03	1,61
Direito	Medial	Muares	Fêmeas	0,59	0,58	0,05	0,95	0,91	0,14	20,47	20,85	2,69	7,96	7,80	1,54	12,79	12,71	1,66
			Machos	0,66	0,64	0,08	1,30	1,29	0,30	16,39	14,61	5,73	5,28	4,63	2,61	8,84	8,13	3,86
Direito	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,62	0,66	0,07	1,19	1,10	0,29	23,31	13,17	12,66	7,79	5,32	5,04	12,78	8,55	8,09
			Machos	0,59	0,58	0,09	1,10	1,10	0,34	42,38	44,32	8,75	16,97	18,06	5,62	24,77	26,25	6,76
Direito	Medial	Equinos	Fêmeas	0,69	0,70	0,06	1,40	1,44	0,22	23,49	17,75	11,13	6,80	4,86	3,03	12,15	8,70	5,90
			Machos	0,57	0,59	0,07	1,06	1,03	0,21	41,76	43,79	7,07	15,77	15,94	5,00	23,99	24,20	5,81
Esquerdo	Lateral	Muares	Fêmeas	0,63	0,66	0,09	1,18	1,26	0,27	16,60	20,60	5,96	5,83	5,64	3,10	9,62	11,03	3,98
			Machos	0,63	0,64	0,09	1,20	1,22	0,36	14,83	15,30	3,09	5,36	5,02	1,75	8,36	8,27	1,87
Esquerdo	Medial	Muares	Fêmeas	0,63	0,60	0,09	1,13	1,06	0,27	17,63	17,04	3,30	6,53	6,63	2,41	10,54	10,32	2,61
			Machos	0,65	0,62	0,19	1,39	1,09	0,60	18,12	18,73	3,77	5,87	5,58	2,06	9,63	9,00	2,21
Esquerdo	Lateral	Equinos	Fêmeas	0,63	0,64	0,05	1,19	1,21	0,32	28,05	22,92	11,87	9,57	7,64	3,97	15,45	11,60	6,51

			Machos	0,60	0,65	0,10	1,08	1,18	0,31	48,88	46,41	6,10	20,63	22,52	7,33	28,75	25,56	9,18	
Esquerdo	Medial	Equinos	Fêmeas	0,59	0,60	0,07	1,11	1,01	0,31	26,61	20,43	13,43	9,63	8,37	4,53	15,20	12,84	7,23	
			Machos	0,66	0,67	0,05	1,22	1,19	0,20	59,10	65,08	11,94	20,53	22,33	3,99	33,50	36,67	7,05	
Animais (Muares vs Equinos)			p-valor			0,5191			0,9919						0,0002*				<0,0001*
Gênero (Fêmeas vs Machos)			p-valor			0,6424			0,9463						0,2380				0,3475
Lado (Direito vs Esquerdo)			p-valor			0,0008*			<0,0001*						0,0133*				0,0561*
Face (Lateral vs Medial)			p-valor			0,0306*			0,0339*						0,0734				0,2567

Tabela 5. Média, mediana e desvio padrão das variáveis do HEC em cada membro dos equinos e muares, seguido do p-valor para comparação dos grupos (Muares e equinos; fêmeas e machos, torácicos e pélvicos, direito e esquerdo, lateral e medial).

Face	Espécies	Parede	Mean			StdDev			Min			Max			Mode			
			Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão	
Membro torácico direito	Lateral	Muares	Superficial	105,80	109,31	20,71	17,22	16,18	3,40	66,18	70,00	18,11	143,82	147,00	21,46	111,27	119,00	21,65
			Profunda	100,16	97,01	18,04	24,03	25,28	6,66	29,30	29,50	14,79	143,30	144,50	25,07	112,00	109,50	28,04
		Superficial	97,00	102,83	20,84	16,14	15,94	5,53	58,73	60,00	14,57	131,45	127,00	33,67	97,00	96,00	26,72	
	Lateral	Equinos	Superficial	85,10	89,29	24,88	21,60	22,79	6,95	32,40	29,50	13,29	129,40	129,50	33,70	91,40	102,50	33,38
			Profunda	78,82	74,35	14,74	15,30	15,38	4,34	43,00	40,50	7,40	116,33	114,50	20,48	81,83	73,00	22,39
		Superficial	101,10	98,08	28,34	18,38	17,75	1,42	44,83	42,00	16,94	144,83	142,50	27,23	96,66	98,50	29,98	
	Medial	Muares	Superficial	88,04	81,93	24,79	18,83	19,54	5,52	47,16	45,50	19,26	137,66	130,50	27,85	83,66	78,00	24,18
			Profunda	104,58	100,06	20,78	20,77	18,69	5,11	46,33	49,00	7,52	159,66	159,50	14,59	106,00	105,00	32,08
		Superficial	107,32	104,52	31,49	20,97	25,26	7,04	57,20	58,00	30,76	148,50	144,00	40,64	109,90	111,00	36,37	
	Medial	Equinos	Profunda	113,18	119,49	32,29	23,00	19,43	9,01	44,22	33,00	28,09	156,56	164,00	38,41	120,89	124,00	33,53
			Superficial	97,32	90,87	31,97	17,88	17,11	5,89	49,00	49,00	29,79	136,80	133,00	35,42	97,70	86,50	38,75
		Profunda	116,54	119,49	38,59	21,56	20,37	7,72	51,00	42,00	34,99	154,22	155,00	47,00	124,33	124,00	39,12	
Membro torácico esquerdo	Lateral	Muares	Superficial	81,17	79,73	19,91	16,29	16,82	2,86	42,16	39,50	10,34	124,33	116,50	29,77	75,00	73,50	19,97
			Profunda	101,29	87,83	30,78	21,71	19,80	5,55	52,16	41,00	32,49	157,83	155,00	33,70	92,66	78,00	40,45
		Superficial	96,14	92,72	18,90	18,70	18,68	2,67	56,50	54,50	16,94	144,83	140,00	21,94	87,17	90,50	20,09	
	Lateral	Equinos	Profunda	107,57	112,14	23,46	21,93	20,08	3,69	55,50	49,50	23,61	168,00	171,00	22,47	99,50	108,50	34,41
			Superficial	114,72	125,01	23,49	18,01	14,63	5,57	66,70	68,00	16,88	155,80	164,50	34,40	120,60	125,50	25,53
		Profunda	114,24	114,94	27,50	21,63	24,61	6,86	50,30	47,00	21,98	156,70	169,00	31,50	121,40	119,00	30,68	
	Medial	Muares	Superficial	109,01	114,68	22,43	18,68	18,30	4,13	56,78	65,00	20,62	150,67	165,00	28,41	109,89	111,00	25,46
			Profunda	107,06	104,73	27,15	19,16	19,17	6,36	49,90	39,50	21,99	143,20	146,50	30,95	110,00	111,00	25,65
		Superficial	83,63	21,29	10,62	18,08	18,55	2,82	44,50	46,50	8,10	126,17	121,00	18,74	76,83	68,50	16,65	
	Medial	Equinos	Profunda	100,44	95,41	19,62	18,29	18,39	3,68	49,33	51,50	15,15	145,67	142,00	20,76	98,83	91,50	33,42
			Superficial	84,96	88,50	8,32	19,20	18,53	5,20	41,50	43,00	10,92	101,25	124,00	49,16	74,50	73,50	5,68
		Profunda	106,64	107,35	21,01	20,95	17,73	7,80	58,00	55,00	26,25	154,75	154,50	31,04	115,00	115,50	33,37	
Medial	Muares	Superficial	123,12	134,42	26,82	20,96	21,39	6,34	61,60	48,00	22,25	166,20	175,20	30,78	128,00	127,50	32,93	
		Profunda	133,05	137,91	35,85	23,08	21,29	6,83	58,90	54,50	23,66	175,30	173,00	44,15	140,10	152,50	42,09	
	Superficial	111,51	121,11	27,61	20,31	20,72	4,88	63,00	60,50	25,04	154,50	164,00	24,94	115,40	119,00	37,17		
Medial	Equinos	Profunda	113,68	121,29	24,69	18,54	19,02	3,67	55,73	52,00	23,14	147,55	164,00	23,86	116,64	119,00	26,42	
		Superficial	91,76	93,28	19,93	20,22	20,28	8,21	47,60	47,00	10,87	138,40	140,00	35,12	86,00	86,00	19,73	
	Profunda	108,07	114,50	13,34	23,53	18,56	11,05	41,40	46,00	23,47	158,20	164,00	30,34	120,20	119,00	15,87		
Membro pélvico direito	Lateral	Muares	Superficial	96,23	97,31	12,43	19,46	19,13	2,72	53,00	53,00	13,73	146,75	146,50	4,26	89,50	98,50	18,28
			Profunda	126,41	128,96	10,36	23,89	23,90	0,94	58,25	60,50	8,84	182,75	184,50	11,05	120,50	124,50	16,50
		Superficial	107,25	103,15	28,15	15,71	15,45	1,41	63,70	58,00	21,82	143,50	135,50	31,25	110,20	111,00	30,73	
	Lateral	Equinos	Profunda	112,72	111,24	18,76	22,71	20,54	5,66	45,40	41,50	18,37	152,30	144,00	23,93	119,50	120,50	18,80
			Superficial	112,62	111,15	24,93	18,16	16,56	4,65	67,08	59,50	20,27	150,92	158,00	29,84	116,67	112,00	28,84
		Profunda	96,10	100,11	18,31	17,27	16,84	4,01	50,92	55,50	14,51	130,92	134,50	22,09	103,75	11,00	21,63	
	Lateral	Equinos	Superficial	90,78	96,35	16,24	17,35	17,29	3,74	45,16	40,50	17,26	131,83	139,50	16,14	95,66	103,00	22,28
			Profunda	100,74	100,38	25,47	23,98	24,00	6,91	46,50	48,00	15,01	160,00	157,50	37,79	86,33	79,50	28,29

Membro pélvico esquerdo	Medial	Muares	Superficial	97,08	100,74	19,38	18,96	17,41	4,44	52,40	53,00	14,62	143,20	143,00	27,07	96,00	103,00	21,67				
			Profunda	105,47	117,65	20,79	24,04	24,10	4,29	38,00	37,00	15,47	165,40	174,00	16,92	100,80	113,00	29,80				
			Superficial	111,43	103,80	29,89	17,49	16,43	7,50	75,90	75,00	28,94	154,90	138,50	41,96	108,30	110,00	27,97				
			Profunda	120,36	115,61	39,13	23,32	19,20	9,24	44,30	38,00	23,13	168,90	164,50	48,22	126,00	120,00	47,72				
			Superficial	95,02	94,29	22,34	17,60	17,74	6,68	51,50	51,50	16,68	135,42	129,50	19,19	96,08	91,50	31,79				
			Profunda	103,09	93,12	38,08	20,15	15,94	10,28	39,00	36,50	15,30	142,75	140,50	49,32	109,58	96,00	46,42				
	Medial	Equinos	Superficial	89,15	89,97	20,15	20,23	19,29	4,68	46,00	40,00	17,36	135,00	150,00	22,04	90,20	96,00	33,04				
			Profunda	97,02	83,16	30,60	24,40	23,55	9,11	37,20	37,00	14,42	159,00	135,00	44,61	93,00	78,00	31,11				
			Superficial	84,45	84,72	2,86	22,81	22,23	2,60	41,00	41,50	7,78	145,25	139,50	19,36	76,00	69,00	18,22				
			Profunda	86,33	76,80	25,18	20,44	16,68	9,96	33,00	29,50	11,57	137,75	129,50	40,76	98,50	78,00	41,00				
			Superficial	110,27	118,09	28,43	19,23	19,89	6,96	67,78	78,00	22,08	151,56	161,00	29,90	107,67	111,00	33,31				
			Profunda	109,41	106,89	24,95	23,42	23,54	5,63	42,10	38,00	20,29	155,90	156,00	29,57	111,90	112,00	32,08				
	Lateral	Muares	Superficial	93,82	98,44	22,70	15,23	15,34	3,60	58,40	56,00	19,89	130,00	136,00	21,84	90,90	96,00	21,14				
			Profunda	104,32	98,43	26,60	20,74	21,73	5,07	43,30	42,00	20,05	143,70	149,00	28,36	111,10	111,00	33,37				
			Superficial	90,34	87,22	19,40	17,07	17,61	1,84	44,17	41,00	10,61	130,50	123,50	19,72	93,83	97,00	25,67				
			Profunda	99,50	102,10	17,48	21,90	21,25	6,86	38,50	36,50	14,52	150,17	149,50	14,42	102,17	100,00	14,44				
			Superficial	103,63	90,18	43,46	17,68	15,85	4,92	44,00	40,50	11,16	128,25	116,50	28,05	74,25	68,00	18,50				
			Profunda	84,06	82,49	19,45	20,08	18,85	5,04	39,75	42,00	10,06	137,00	137,50	28,12	75,25	78,00	7,26				
	Medial	Muares	Superficial	115,03	114,69	29,15	22,52	21,66	6,41	56,60	54,00	21,06	156,00	164,50	32,29	123,80	124,50	35,43				
			Profunda	114,15	121,29	33,18	22,03	21,91	7,45	49,55	47,00	17,80	157,18	166,00	36,96	120,27	119,00	34,02				
			Superficial	92,83	92,23	32,88	17,11	17,29	5,13	50,50	45,50	30,15	134,20	136,50	39,00	92,20	86,00	32,73				
			Profunda	90,65	84,28	38,44	18,45	18,33	6,66	42,30	41,00	20,31	128,00	123,00	41,70	95,90	85,50	44,05				
			Superficial	101,18	98,01	32,41	21,36	22,09	4,69	54,67	50,00	18,32	154,67	156,00	27,24	92,83	91,00	39,97				
			Profunda	105,91	102,16	28,44	19,69	19,08	5,66	55,83	48,00	20,68	151,50	143,50	34,15	110,33	111,50	40,21				
Medial	Equinos	Superficial	81,68	79,83	7,81	17,15	17,41	0,74	45,50	47,50	7,70	126,50	123,50	10,06	75,50	75,00	5,41					
		Profunda	98,68	98,21	13,31	22,71	23,05	3,20	41,25	43,50	13,85	153,25	153,00	13,61	92,75	86,00	32,42					
		Animais (Muales vs Equinos)			p=valor			0,1042			0,6942			0,0690			0,7656			0,0214*		
		Gênero (Fêmeas vs Machos)			p=valor			0,6092			0,2596			0,7540			0,5576			0,4812		
		Lado (Direito vs Esquerdo)			p=valor			0,1151			0,8876			0,2563			0,5720			0,2579		
		Face (Lateral vs Medial)			p=valor			0,0984			0,0440*			0,6646			0,0135*			0,1715		

Tabela 6. Correlação linear da idade e peso corpóreo com as variáveis da ultrassonografia Modo-B das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares, conforme o lado direito e esquerdo.

Equinos Lado Direito (Membro Torácico e pélvico)				
	Diâmetro Longitudinal	Diâmetro Transversal	Parede Longitudinal	Parede transversal
Idade	0,07259	-0,03784	-0,16289	-0,08999
	0,4707	0,7072	0,1036	0,3708
Peso	0,04931	0,03055	-0,04820	-0,06418
	0,6243	0,7616	0,6322	0,5237
Equinos Lado Esquerdo (Membro Torácico e pélvico)				
	Diâmetro Longitudinal	Diâmetro Transversal	Parede Longitudinal	Parede transversal
Idade	-0,22039	-0,09162	-0,03304	0,08445
	0,0185	0,3323	0,7271	0,3717
Peso	-0,06904	-0,07589	0,03421	-0,01579
	0,4655	0,4222	0,7179	0,8676
Muare lado Direito (Membro Torácico e pélvico)				
	Diâmetro Longitudinal	Diâmetro Transversal	Parede Longitudinal	Parede transversal
Idade	0,06096	0,14077	0,07375	0,14348
	0,4925	0,1116	0,4062	0,1048
Peso	0,09104	-0,04211	0,17002	0,06936
	0,3048	0,6357	0,0541	0,4348
Muare lado Esquerdo (Membro Torácico e pélvico)				
	Diâmetro Longitudinal	Diâmetro Transversal	Parede Longitudinal	Parede transversal
Idade	-0,20379	-0,19021	-0,16618	-0,08481
	0,0136	0,0215	0,0450	0,3088
Peso	-0,16012	-0,15645	-0,15006	-0,12612
	0,0535	0,0593	0,0706	0,1293

Tabela 7. Correlação linear da idade e peso corpóreo com as variáveis da ultrassonografia Doppler espectral das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muare, conforme o lado direito e esquerdo.

Equinos Lado Direito (Membro Torácico e pélvico)					
	IR	IP	pVS	fVD	VM
Idade	0,38706	0,34341	-0,49742	-0,53096	-0,51198
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Peso	0,03485	0,02098	-0,01875	-0,07190	-0,06567
	0,6172	0,7635	0,7881	0,3021	0,3460
Equinos Lado Esquerdo (Membro Torácico e pélvico)					
	IR	IP	pVS	fVD	VM
Idade	0,43702	0,45475	-0,60253	-0,70556	-0,68763
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Peso	0,30872	0,41442	-0,22421	-0,38285	-0,33393
	<0,0001	<0,0001	0,0011	<0,0001	<0,0001
Muare lado Direito (Membro Torácico e pélvico)					
	IR	IP	pVS	fVD	VM
Idade	-0,29022	-0,36288	-0,22783	-0,03891	-0,03085
	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,5275	0,6164
Peso	-0,18587	-0,15477	-0,52378	-0,28786	-0,37840
	0,0023	0,0115	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Muare lado Esquerdo (Membro Torácico e pélvico)					
	IR	IP	pVS	fVD	VM
Idade	-0,11836	-0,12499	-0,37894	-0,15964	-0,25702
	0,0479	0,0366	<0,0001	0,0074	<0,0001
Peso	-0,28858	-0,32213	-0,18165	0,04637	-0,01272
	<0,0001	<0,0001	0,0023	0,4396	0,8322

Tabela 8. Correlação linear da idade e peso corpóreo com as variáveis do HEC das artérias digitais palmares e plantares de equinos e muares, conforme o lado direito e esquerdo.

Equinos Lado Direito (Membro Torácico e pélvico)						
	MEAN	STDDEV	MIN	MAX	MODE	MODECOUNT
Idade	-0,32967	-0,04424	-0,26292	-0,27767	-0,35025	0,09344
	0,0017	0,6823	0,0133	0,0088	0,0008	0,3865
Peso	-0,44646	-0,16404	-0,19245	-0,33179	-0,42676	0,07708
	<0,0001	0,1267	0,0724	0,0016	<0,0001	0,4754
Equinos Lado Esquerdo (Membro Torácico e pélvico)						
	MEAN	STDDEV	MIN	MAX	MODE	MODECOUNT
Idade	-0,10499	-0,08602	0,03757	-0,23610	-0,11097	-0,08568
	0,3603	0,4540	0,7440	0,0374	0,3334	0,4557
Peso	-0,26315	-0,31707	-0,00479	-0,42146	-0,29340	0,30339
	0,0199	0,0047	0,9668	0,0001	0,0091	0,0069
Muares lado Direito (Membro Torácico e pélvico)						
	MEAN	STDDEV	MIN	MAX	MODE	MODECOUNT
Idade	-0,07715	-0,00909	-0,05885	-0,03572	-0,09363	0,07782
	0,3202	0,9069	0,4486	0,6457	0,2274	0,3161
Peso	-0,29340	-0,12986	-0,17606	-0,24941	-0,30698	0,23415
	0,0001	0,0934	0,0224	0,0011	<0,0001	0,0023
Muares lado Esquerdo (Membro Torácico e pélvico)						
	MEAN	STDDEV	MIN	MAX	MODE	MODECOUNT
Idade	0,07558	0,06766	0,12931	0,13840	0,03929	0,00584
	0,3422	0,3953	0,1032	0,0809	0,6218	0,9416
Peso	-0,23463	-0,18753	-0,03307	-0,20134	-0,24961	0,16455
	0,0028	0,0176	0,6780	0,0107	0,0015	0,0376