

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DA ELASTOGRAFIA “ACOUSTIC
RADIATION FORCE IMPULSE (ARFI)” SOBRE
ESTRUTURAS FLEXORAS DA PORÇÃO DISTAL DOS
MEMBROS TORÁCICOS DE EQUINOS**

**Nara Saraiva Bernardi
Médica Veterinária**

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DA ELASTOGRAFIA
“ACOUSTIC RADIATION FORCE IMPULSE (ARFI)”
SOBRE ESTRUTURAS FLEXORAS DA PORÇÃO
DISTAL DOS MEMBROS TORÁCICOS DE EQUINOS**

Nara Saraiva Bernardi

Orientador: Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Antonio Rossi Feliciano

**Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção do
título de Doutor em Medicina Veterinária
(Clínica Médica Veterinária)**

B523e Bernardi, Nara Saraiva
Estudo exploratório da elastografia “Acoustic Radiation Force
Impulse (ARFI)” sobre estruturas flexoras da porção distal dos
membros torácicos de equinos / Nara Saraiva Bernardi. – –
Jaboticabal, 2017
iv, 43 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: José Corrêa de Lacerda Neto
Banca examinadora: Deborah Penteado Martins Dias, Raquel
Mincarelli Albernaz, Paulo Alécio Canola, Márcia Rita Fernandes
Machado
Bibliografia

1. Cavalos. 2. Imaginologia. 3. Ligamento. 4. Tendão. 5.
Tendinopatias. 6. Ultrassonografia. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 619:616-073:636.1

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

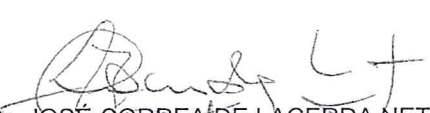
TÍTULO: ESTUDO EXPLORATÓRIO DA ELASTOGRAFIA "ACOUSTIC RADIATION
FORCE IMPULSE (ARFI)" SOBRE ESTRUTURAS FLEXORAS DA
PORÇÃO DISTAL DOS MEMBROS TORÁCICOS DE EQUINOS

AUTORA: NARA SARAIVA BERNARDI

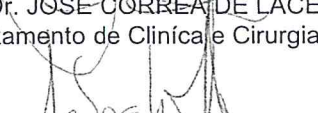
ORIENTADOR: JOSÉ CORREA DE LACERDA NETO

COORIENTADOR: MARCUS ANTÔNIO ROSSI FELICIANO

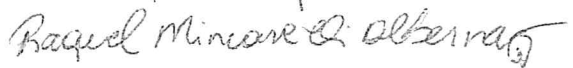
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em MEDICINA
VETERINÁRIA, área: CLÍNICA MÉDICA VETERINÁRIA pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JOSÉ CORREA DE LACERDA NETO
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. DEBORAH PENTEADO MARTINS DIAS
Centro Universitário Barão de Mauá / Ribeirão Preto, SP



Pós-doutoranda RAQUEL MINCARELLI ALBERNAZ
Autônoma / Ribeirão Preto, SP



Prof. Dr. PAULO ALÉSCIO CANOLA
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. MÁRCIA RITA FERNANDES MACHADO
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 03 de fevereiro de 2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

NARA SARAIVA BERNARDI, nascida em São Paulo – SP, no dia 4 de agosto de 1986, filha de Angela de Melo Saraiva e Walter Sebastião da Silveira Bernardi. Médica Veterinária formada pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, câmpus de Jaboticabal em janeiro de 2010. Durante a graduação realizou dois projetos de iniciação científica intitulados: “Hemogasometria venosa e arterial de equinos com obstrução induzida da veia jugular submetidos a exercício” e “Respostas eletrolíticas de equinos puro sangue árabe submetidos a dois diferentes testes de esforço realizados em esteira rolante”, financiados pela FAPESP e sob orientação do Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto. Tornou-se mestre pela mesma instituição em fevereiro de 2013, sob mesma orientação, com a dissertação intitulada “Treinamento de cavalos de enduro FEI*: abordagem fisiológica”. Doutora em Clínica Médica Veterinária, onde atua nas áreas de Fisiologia do Exercício e Medicina Esportiva Equina. Participou de diversos projetos nas áreas de Clínica Médica e Cirurgia Veterinária.

**“A vida não é mais do que uma
sucessão contínua de oportunidades.”**

Gabriel García Marques

**“Não espere por oportunidades
extraordinárias. Agarre ocasiões
comuns e torne-as grandes!”**

Orison Swett Marden

**“Se a vida te der limões, faça uma
limonada.”**

Julius Rosenwald

**Dedico este trabalho à minha maior
companheira, que me acompanhou por toda
minha vida acadêmica, me amando
incondicionalmente e me enchendo de
alegrias, minha Cacau.**

Agradecimentos

Agradeço inicialmente à minha família, principalmente aos meus amados pais, Angela e Tião, pelo eterno apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida, e também por todo amor, carinho, respeito e transmissão de valores e caráter.

...ao meu querido orientador e “Pai Científico” Prof. Juca, que desde o primeiro ano da faculdade me orienta e me aconselha, obrigada pela confiança, paciência, conversas, orientações e pela amizade.

...ao meu coorientador, Prof. Dr. Marcus Feliciano, por ter aberto as portas para mim e ter possibilitado que esse trabalho fosse realizado.

...à minha equipe de trabalho Marcus, Michelle Avante, Ana Paula Simões, Kamila, Vinícius, Karina, Daniela e Ricardo, pela ajuda sem a qual este trabalho não existiria e principalmente pela amizade.

...ao Professor Paulo Aléscio Canola, inicialmente pela amizade e, pelos esclarecimentos, sugestões e correções indispensáveis para a realização deste trabalho.

...às minhas queridas amigas Deborah e Raquel, pelas contribuições feitas a este trabalho e principalmente pelos anos de amizade e companheirismo que serão levados para toda a vida.

...às minhas queridas amigas Ana Paula, Mayara, Amanda e Gabi (Xonada) por participarem indiretamente desse trabalho, me apoiando, incentivando e principalmente pela sincera amizade.

...às minhas filhas caninas tão amadas Cacau e Dakota, pela lealdade e por serem minhas maiores companheiras!!!!

...ao meu amor Rafael, por toda a compreensão, companheirismo, apoio, incentivo, amizade, zelo, pelas inestimáveis contribuições feitas a este trabalho, e principalmente pelo amor e pela paciência, você é o meu exemplo, meu orgulho e meu porto seguro. Obrigada por tudo!

...ao funcionário da equinocultura, Sr. Odair (Deco), pela amizade e cuidado com nossos cavalos.

...aos cavalos Amin, Osama, El Ali, Liphard, Zannan, Latipha, Khadija, Nazeer, Said, Maya, Angélica, Carrieli, Loira, Altyva, Trufa, Cigana, Minnie, Pérsico, Mara, Alegria,

Fei, Ross, Lua e principalmente à minha querida Amora, sem os quais este trabalho não existiria...

...à CAPES pela bolsa concedida.

Sem vocês nada seria possível

SUMÁRIO

	Páginas
Comissão de Ética no Uso de Animais	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1- Considerações Gerais.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
1.2.1 Tendões e ligamentos da porção flexora distal dos membros de equinos..	2
1.2.2 Características biomecânicas e diferenças entre os tendões e ligamentos	6
1.2.3 Afecções tendíneas e ligamentares	8
1.2.4 Diagnóstico das lesões tendíneas e ligamentares	9
1.3 REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 2 - Elastografia “Acoustic radiation force impulse” (ARFI) das estruturas flexoras da porção distal dos membros torácicos de equinos	23
RESUMO	23
2.1 INTRODUÇÃO.....	24
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.3 RESULTADOS	29
2.4 DISCUSSÃO.....	34
2.5 CONCLUSÃO	38
2.6 REFERÊNCIAS	38

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado **“Elastografia Acoustic Radiation Force Impulse (ARFI) dos tendões flexores dos equinos”**, protocolo nº 15.069/16, sob a responsabilidade do Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de junho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 04 de novembro de 2016.

Vigência do Projeto	15/11/2016 a 15/12/2016
Espécie / Linhagem	Equina / SRD
Nº de animais	24
Peso / Idade	300-550 Kg
Sexo	9 machos e 15 fêmeas
Origem	Setor de Equinocultura da FCAV.

Jaboticabal, 04 de novembro de 2016.


Profª Drª Lizandra Amoroso
 Coordenadora – CEUA

ESTUDO EXPLORATÓRIO DA ELASTOGRAFIA “ACOUSTIC RADIATION FORCE IMPULSE (ARFI)” SOBRE ESTRUTURAS FLEXORAS DA PORÇÃO DISTAL DOS MEMBROS TORÁNICOS DE EQUINOS

RESUMO – A elastografia ARFI é uma técnica de imagem por ultrassom capaz de avaliar qualitativa e quantitativamente a rigidez dos tecidos. Não existe até o momento aplicação dessa técnica aos tendões e ligamentos de equinos e sob este aspecto o trabalho é inédito. Objetivou-se avaliar a rigidez dos tendões flexores digitais superficial (TFDS) e profundo (TFDP), ligamento acessório (LA) e ligamento suspensor do boleto (LSB) de equinos hígidos por meio da elastografia ARFI (“Acoustic Radiation Force Impulse”), determinando os padrões quantitativos (velocidade de cisalhamento - VC) ainda não descritos na espécie equina. Para tal, utilizou-se 24 animais, nos quais se avaliou ambos os membros torácicos. Após a realização de exames prévios e verificada a higidez, estes foram submetidos ao exame ultrassonográfico convencional e elastografia (método ARFI quantitativo) dos tendões e ligamentos, em diferentes regiões anatômicas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e utilizou-se nível de significância de 5% para todos os testes realizados. Os elastogramas em escala de cor mostraram que as estruturas estudadas são não deformáveis, apresentam coloração alaranjada ou tendendo ao vermelho e as estruturas adjacentes, os tecidos moles, apresentaram tonalidades esverdeadas a azuis, indicando menor rigidez em relação aos tendões e ligamentos. Não houve diferenças em relação ao membro avaliado (esquerdo ou direito), e a velocidade de cisalhamento foi maior nos cortes longitudinais em relação aos transversais. No corte transversal a VC do LSB foi significativamente maior em comparação às demais estruturas avaliadas e o LA apresentou menor VC em relação ao TFDS. No corte longitudinal as estruturas ligamentares foram mais rígidas que as estruturas tendíneas, dentre estas o TFDP apresentou maior rigidez em relação ao TFDS. A VC não diferiu entre as regiões para os cortes transversais em todas as estruturas. No corte longitudinal, o TFDS é mais rígido na região proximal, bem como o TFDP. A VC do LA e LSB não diferiu nos cortes longitudinais. Em relação à profundidade observada na avaliação elastográfica houve semelhança entre os lados e cortes. E variou com relação à estrutura avaliada, sendo, na ordem crescente, TFDS, TFDP, LA e LSB. As estruturas mostraram-se mais rígidas nos machos do que nas fêmeas e houve uma tendência a maior rigidez nos animais mais velhos. A elastografia ARFI é um método viável, repetível e reprodutível para avaliação dos tendões e ligamentos dos membros torácicos de equinos. As características qualiquantitativas obtidas da rigidez destas estruturas poderão ser utilizadas para ensaios em equinos com afecções musculoesqueléticas e também em outras espécies animais.

Palavras-chave: cavalos, imagiologia, ligamento, tendão, tendinopatias, ultrassonografia

**EXPLORATORY STUDY OF THE ELASTOGRAPHY ACOUSTIC
RADIATION FORCE IMPULSE (ARFI) ON THE FLEXORS STRUCTURES OF
EQUINE DISTAL FORELIMB**

ABSTRACT - ARFI elastography is an ultrasound imaging technique capable of qualitatively and quantitatively evaluate tissue stiffness. At the moment, there is no application of this technique to horse's tendons and ligaments. The aim of the present study was to evaluate the stiffness of the superficial (SDFT) and deep digital flexor tendons (DDFT), accessory ligament of the deep digital flexor tendon (AL) and suspensory ligament (SL) of the forelimb in healthy horses through ARFI (Acoustic Radiation Force Impulse) elastography imaging, determining the quantitative patterns (shear velocity - SV) which have not yet been described in equine veterinary medicine. Twenty four animals were used, after conducting preliminary tests to verify absence of musculoskeletal disorders, they were subjected to conventional ultrasonographic examination and elastography imaging (quantitative ARFI method) of tendons and ligaments in nine different anatomical regions. The experimental design was completely randomized with a level of significance of 5%. The color scale elastograms showed that the studied structures are non-deformable, being orange or tending to red and the adjacent structures had greenish-blue tones, indicating less stiffness in relation to tendons and ligaments. There were no differences in relation to the evaluated limb (left or right), shear velocities were higher in longitudinal versus transversal planes. In the transversal plane, SV of the evaluated structures differed significantly being higher for the SL in comparison to the others and the AL presented lower SV in relation to the SDFT. In the longitudinal plane, SV of the structures also differed being the SL and AL higher than the flexor tendons, and the DDFT higher than the SDFT. SV did not differ between regions in transversal plane for all evaluated structures. In the longitudinal plane, the SDFT at the distal region was stiffer than in the middle region, for the DDFT, the proximal region was stiffer, followed by the middle region and finally the distal region. The SV of AL and SL did not differ in longitudinal sections. Regarding depth of elastographic evaluation there was similarity between sides and planes. And there was a variation in relation to the evaluated structure, being, in order of the superficial to the deeper structure, SDFT, DDFT, AL and SL, as expected. Structures were more rigid in males than in females and there was a tendency for greater stiffness in older animals. ARFI elastography is a viable, repeatable and reproducible method for evaluating tendons and ligaments of the thoracic limbs of horses. The qualitative characteristics obtained from the rigidity of these structures can be used for tests on horses with musculoskeletal disorders and also on other animal species.

Keywords: Horses, imaging, ligament, tendon, tendinopathies, ultrasound.

CAPÍTULO 1- Considerações Gerais

1.1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que as lesões tendíneas estão associadas a quadros de dor crônica, sofrimento prolongado e elevados gastos com medicamentos e fisioterapia; seja na espécie humana ou entre os animais. Nos equinos, pode-se considerar ainda os gastos despendidos com alimentos, instalações e pessoal especializado durante os longos períodos de afastamento do trabalho. Ademais, nesta espécie, há a se destacar a perda da capacidade de utilização dos animais em atividades esportivas ou em trabalhos associados à produção agropecuária e atividades humanas como a montaria e a tração, respectivamente.

Diante disto, a busca por métodos que aperfeiçoem o diagnóstico precoce dessas lesões, ainda quando as alterações não atingiram caráter degenerativo, sendo passíveis de tratamento e recuperação, são bastante apreciáveis. Haja vista o elevado potencial de ofertarem soluções terapêuticas mais efetivas e menos dispendiosas.

Enquanto diversos métodos de diagnóstico para a avaliação dos tendões e ligamentos dos equinos têm avançado consideravelmente nos últimos anos, estes ainda possuem limitações que diminuem a sensibilidade e especificidade diagnóstica. Técnicas avançadas como a ressonância magnética, requerem que o animal seja anestesiado para execução do procedimento, o que pode promover riscos ao paciente além dos custos elevados dos equipamentos.

A ultrassonografia convencional, apesar de ser mais simplificada com relação à sua execução para o diagnóstico de afecções tendíneas, apresenta limitações quanto à detecção de lesões cicatriciais e rupturas discretas das fibras. Deste modo, tais limitações podem, de certo modo, prejudicar a condução do caso. Fatores estes que vão influenciar diretamente no tempo de retorno do animal à atividade atlética.

Novas técnicas ultrassonográficas têm sido desenvolvidas e aplicadas na medicina veterinária, dentre as quais se destaca a elastografia. Entretanto, a determinação de padrões de normalidade desta moderna técnica, ainda não foram

plenamente determinados nos equídeos, em especial, a elastografia ARFI, sobre a qual não foi encontrado nenhum estudo na literatura compulsada. De outro lado, em medicina humana, a relevância desta modalidade no diagnóstico de afecções de inúmeras naturezas, têm ensejado o desenvolvimento de incontáveis pesquisas, a destacar sua utilidade no diagnóstico, tratamento, prognóstico e prevenção de lesões tendíneas. Sendo assim, objetivou-se a determinação dos padrões de normalidade da elastografia ARFI para tendões e ligamentos da porção distal do membro torácico de equinos, considerando que os dados obtidos podem ser de suma importância para agregar valor diagnóstico no ato da avaliação clínica das desmo/tendinopatias dos equinos. Vale ressaltar que esse estudo é inédito e de grande valia.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Tendões e ligamentos da porção flexora distal dos membros de equinos

A porção distal do membro torácico dos equinos é uma modificação do padrão original de arquitetura do membro torácico dos mamíferos. Essencialmente, os cinco dígitos foram reduzidos para um elemento estrutural principal, o osso terceiro metacarpiano e as falanges proximal, média e distal associadas, além das estruturas tendíneas e ligamentares (KINGSBURY et al., 1977). Os tendões da porção distal dos membros dos equinos atuam principalmente para posicionar o membro corretamente durante a locomoção. Alguns tendões têm uma função adicional, atuando como molas para armazenar e liberar energia durante a locomoção, diminuindo assim o seu custo energético (ALEXANDER, 1991).

O tendão é um tecido de composição complexa, com função predominantemente mecânica: traduzir contrações musculares em movimento articular, transmitindo forças do músculo ao osso. Por sua rigidez intermediária, entre aquela do músculo e dos ossos, os tendões atuam como amortecedores para o aparelho esquelético. Devido ao papel fundamental deste tecido na mecânica da locomoção, lesões ou degenerações tendíneas podem ser altamente debilitantes, resultando em dor substancial, incapacidade e custos da saúde animal (VOLETI; BUCKLEY; SOSLOWSKY, 2012).

Tendões e ligamentos são tecidos conjuntivos fibrosos densos caracterizados pela presença de fibroblastos esparsos embutidos em uma matriz extracelular altamente organizada. A complexa hierarquia estrutural dos ligamentos e tendões permite a deformação elástica (reversível) e eventualmente plástica (não totalmente reversível) sob cargas de alta tensão, o que é essencial para a sua função de armazenamento de energia, mas as torna vulneráveis à lesão induzida pela carga. Durante a primeira parte da fase de apoio os tendões flexores são carregados sob tensão de tração com cargas que podem atingir facilmente duas vezes o peso corporal, dependendo do andamento (SCHRYVER et al., 1978), armazenando energia cinética na forma de energia elástica que é liberada durante a segunda metade da fase de apoio, ajudando na propulsão (WILSON et al., 2001).

A água é o principal constituinte tendíneo, representando cerca de 70% da sua composição. Dos 30% restantes, os principais constituintes são colágeno e uma matriz não colágena. No passado, o colágeno fibrilar foi considerado a principal unidade que contribuía para a resistência do tendão, no entanto o covalente de ligações cruzadas de colágeno intra e interfibrilar e ligações cruzadas eletrostáticas, fornecida pelas proteínas não colagenosas, tem sido consideradas como contribuinte significativa para as propriedades biomecânicas do tendão (DOWLING et al., 2000).

O tendão flexor digital superficial (TFDS) se origina do músculo flexor digital superficial na porção distal do rádio, ao nível do carpo, e é unido por seu ligamento acessório ao nível da porção distal do rádio, antes de percorrer distalmente a face caudal do canal do carpo (SISSON; GROSSMAN, 1953). O tendão é embainhado proximalmente e ao nível da articulação metacarpofalângica, onde circunda o tendão flexor digital profundo (TFDP) e se mistura com o ligamento metacarpiano transversal superficial (anular palmar) antes de se bifurcar e se inserir nas falanges proximal e média (SISSON; GROSSMAN, 1953). O TFDS e TFDP funcionam dentro de uma estrutura sinovial denominada bainha do carpo. Próximo à articulação metacarpofalângica, o TFDS forma uma estrutura em forma de anel que envolve o TFDP, denominada *manica flexoria*. Da porção distal do metacarpo até a falange média, o TFDS e o TFDP são circundados pela bainha digital. Na extremidade distal da falange proximal o TFDS divide-se em dois ramos que se inserem,

principalmente, nas eminências laterais e medianas da falange média e, a minoria das fibras se insere na face lateral da falange proximal (PASQUINI; SPURGEON, 2003, KONIG, 2009, BAXTER, 2011a).

O tendão flexor digital superficial flexiona o dígito na fase de oscilação da locomoção e previne a extensão excessiva da articulação metacarpofalângica durante a fase de apoio. Este tendão atua como uma mola, armazenando quantidades significativas de energia cinética na forma de energia elástica à medida que é deformado durante o suporte de peso, o que melhora a eficiência locomotriz ao reduzir o esforço muscular requerido na passada subsequente (ALEXANDER, 1988). Os tendões que armazenam energia, por definição, podem sofrer altas tensões e, portanto, têm baixa margem de segurança e elevada taxa de lesão. Tensões de 9 a 16,6% foram medidas na TFDS de cavalos ao galope (DIMERY et al., 1986, STEPHENS et al., 1989).

O tendão flexor digital profundo tem sua origem no epicôndilo medial do úmero. Origina-se de três porções que se fundem para formar um tendão comum próximo ao carpo sobre o aspecto caudal do membro. O tendão passa distalmente, dentro da bainha do carpo, através do canal carpal. Na região metacarpiana média, o tendão é reforçado por um ligamento acessório (ligamento acessório inferior). Na articulação metacarpofalângica, o TFDP passa pela *manica flexória* e pelo sulco sesamoide. Na região central da falange proximal, o TFDP corre entre os ramos do TFDS e sobre o córtex flexor do osso sesamoide distal (navicular) para se inserir no córtex flexor da falange distal (BAXTER, 2011a, KONIG, 2009, PASQUINI; SPURGEON, 2003).

O ligamento suspensor do boleto é uma estrutura inteiramente tendinosa. O LSB se origina no aspecto proximal do terceiro metacarpo e distal aos ossos do carpo. Encontra-se no sulco formado entre os metacarpianos acessórios (segundo e quarto), profundamente ao TFDS e TFDP. Na porção média do metacarpo, se bifurca em dois ramos que se inserem nos ossos sesamoides proximais. Cada ramo se estende lateral e medialmente, em ambos os lados da articulação metacarpofalângica, para se juntar ao tendão extensor digital comum (BAXTER, 2011a, BAXTER, 2011b, KONIG, 2009).

A função principal do LSB é como parte do aparelho de suspensão. Ele fornece suporte para a articulação metacarpofalângica, impedindo a hiperextensão e

também limita a flexão palmar (BAXTER, 2011a, BAXTER, 2011b, KONIG, 2009). Além disso, juntamente com o TFDS, armazena energia e é a estrutura submetida às maiores tensões (WILSON et al., 2001). As características bioquímicas dos ramos se aproximam as do TFDS, diferente do tecido na região média e proximal. Isto pode provavelmente ser explicado pela origem ontogenética diferente das estruturas. O LSB é uma estrutura que não se caracteriza como tendão, nem como um ligamento propriamente dito, tendo características específicas próprias (SOUZA et al., 2010).

O ligamento acessório inferior, ou ligamento acessório do tendão flexor digital profundo (LA) do cavalo está intimamente relacionado ao tendão flexor digital profundo. É originário do ligamento carpal palmar, do terceiro metacarpo (CAMP; SMITH, 1942) e do primeiro e terceiro ossos cárpicos (LEHMKE, 1925). É um ligamento de reforço que cursa distalmente entre o ligamento suspensor do boleto e o tendão flexor digital profundo e se insere na superfície dorsal do TFDP, na região média do metacarpo (DYCE; SACK; WENSING, 1996).

A forma em “V” alongada do LA tem a porção proximal mais larga e mais espessa e é mais estreita distalmente. Por modelo (SCHRYVER et al., 1978 e estudos in vivo (VAN DEN BOGERT, 1989; JANSEN et al., 1993) foi demonstrado que o LA é carregado durante a extensão das articulações digitais e evita o estiramento excessivo do músculo flexor digital profundo carregando a carga passivamente durante a extensão excessiva. Esta estrutura faz parte do “stay apparatus” (RICHTER, 1922; SHIVELY, 1983).

O “Stay apparatus”, que pode ser traduzido como aparelho de permanência passiva, refere-se ao conjunto de estruturas nos membros torácicos e pélvicos que permite aos cavalos permanecerem de pé sem que haja participação muscular (SCHUURMAN; KERSTEN; WEIJS, 2003; DYCE, SACK; WENSING, 2002). Este é um importante mecanismo de preservação de energia visto que os equinos permanecem em posição quadrupedal por períodos prolongados.

As articulações distais do membro são estabilizadas por estruturas tendíneas e ligamentares da porção palmar/plantar dos membros. As principais estruturas que fazem parte do aparelho de permanência passiva são o TFDS, TFDP, LSB, ligamentos distais associados aos sesamoides proximais (ligamentos sesamoideos), e ligamentos acessórios proximal e distal (BATSON et al., 2003, SWANSTROM et

al., 2005). Os ligamentos sesamoideos associados ao LSB impedem a hiperextensão das articulações metacarpofalângicas e metatarsofalângicas. A combinação do ligamento acessório proximal às ligações do TFDS no carpo, articulação do bolete, e quartela impedem passivamente a extensão excessiva dessas articulações. O ligamento acessório distal em combinação com o TFDP forma uma ponte tendinosa que, passivamente, protege o bolete, quartela e casco da hiperextensão (GUSSEKLOO et al., 2011).

1.2.2 Características biomecânicas e diferenças entre os tendões e ligamentos

Tendão e ligamento são estruturas de tecidos moles semelhantes que desempenham funções relacionadas, entretanto distintas (DAHLGREN, 2007). Isto reflete-se nas propriedades mecânicas das estruturas. A função primária do tendão é transmitir a força de contração muscular para o osso, facilitando assim o movimento da articulação e do membro (RUMIAN et al., 2007). Além disso, o tendão fornece fixação do músculo ao osso (SOFFLER; HERMANSON, 2006). Para ter função eficiente, o tendão deve ser capaz de resistir a altas forças de tração, com alongamento limitado. Estas forças são geralmente aplicadas em direção uniaxial. Os ligamentos são estruturas conjuntivas entre dois ossos (SOFFLER; HERMANSON, 2006). Sua principal função é evitar movimentos excessivos ou anormais nas articulações. Portanto, ligamentos, assim como os tendões, são requeridos para suportar altas forças de tração. Em contraste, as forças podem ser aplicadas em inúmeras direções, na dependência da amplitude de movimento da articulação associada. Além disso, os ligamentos são necessários para contração e alongamento afim de permitir que o movimento articular aconteça (RUMIAN et al., 2007).

Como resultado dessas diferenças funcionais, tendões e ligamentos têm ultraestrutura e aparência histológica semelhante, com diferenças nas características organizacionais, celulares, bioquímicas e moleculares. As fibras de colágeno no tendão estão alinhadas em padrão estritamente paralelo, enquanto as do ligamento estão dispostas aleatoriamente e apresentam-se com ligações cruzadas menos adaptadas para acomodar a carga multiaxial. Nos ligamentos a proporção do

colágeno total é ligeiramente inferior com maior proporção de colágeno de tipo III e um teor mais elevado de glicosaminoglicano (GAG). Os fibroblastos no ligamento, histologicamente, tendem a ter aparência maior e mais arredondada. (DAHLGREN, 2007).

Pensando nas características biomecânicas, um modelo adequado para o tendão, é uma mola de rigidez constante (PROSKE; MORGAN, 1987). Rigidez é a carga necessária para estender um tendão por uma unidade de comprimento. Para se avaliar a capacidade de extensão tendínea, a propriedade a ser utilizada é a tensão de tração final, que é a extensão percentual do tendão até seu ponto de ruptura. O teste *in vitro* dos tendões flexores digitais de equinos indicou que eles normalmente se estendem em até 10% a 12% acima de seu comprimento (SMITH, 2011).

Riemersma et al. (1996) em estudo realizado com cinco ponês, avaliaram a tensão e carga máximas suportadas pelo TFDS, TFDP, LA e LSB ao passo e trote, tendo observado que tanto ao passo como ao trote os maiores valores de tensão ocorrem no LA, seguido pelo LSB, TFDS e TFDP. Em relação à carga máxima ao passo, os maiores valores suportados foram para o LSB, seguido do LA, TFDS e TFDP e ao trote, LSB, TFDS, LA e TFDP. Takahashi et al. (2014) também encontraram maior força sobre o LSB em comparação ao TFDS e TFDP durante a fase de apoio.

O tendão é homogeneamente tenso quando está suportando peso, apesar das grandes variações na área da seção transversal. Consequentemente, o módulo de elasticidade é inversamente proporcional à correspondente área da seção transversal. O teor de colágeno é inversamente proporcional à área da seção transversal e proporcional ao módulo de elasticidade. Isto enfatiza a influência da composição do tendão nas propriedades mecânicas e também demonstra a dificuldade em julgar a força exercida sobre o tendão ou em determinada parte deste a partir da sua área de seção transversal. As estruturas flexoras do membro torácico de equinos se rompem quando a intensidade ultrapassa forças de 10% (TFDP), 12,3% (TFDS) e 11% (LSB). A influência da taxa de deformação sobre o módulo de elasticidade é pequena. Portanto, esses tendões podem ser considerados como estruturas elásticas não-lineares (RIEMERSMA et al., 1985).

1.2.3 Afecções tendíneas e ligamentares

Lesões tendíneas são comuns em atletas, humanos ou animais. A senilidade e o sedentarismo aumentam a sua ocorrência. Muitas vezes a resposta ao tratamento é inadequada e são necessários longos períodos de reabilitação. O tendão possui matriz extracelular única e exclusiva, que se desenvolveu para suportar as demandas mecânicas dessa estrutura que deve resistir à carga e tração. Após a lesão, processos de reparação inadequados resultam na formação de tecidos muito diferentes do original (CLEGG et al., 2007).

O termo “tendinite” é comumente usado para descrever lesão traumática que se desenvolve em decorrência do esforço excessivo sobre o tendão. O termo “tendinose” foi sugerido em medicina humana devido ao número considerável de pacientes os quais não mostram evidências histológicas tradicionais de inflamação. Isto, no entanto, não exclui o envolvimento de alguns componentes da cascata inflamatória. Em virtude disso, mais recentemente, os termos inespecíficos “tendinopatia” ou “doença tendínea” foram adotados. O último pode ser o termo mais adequado dado que lesões por esforço excessivo do tendão ocorrem abruptamente, porém a maioria parece estar associada a degeneração cumulativa (SMITH; MCILWRAITH, 2012).

Tendinites e desmites são as lesões mais comuns de tecidos moles em cavalos de corrida (WILLIAMS et al., 2001), sendo as tendinites a causa mais comum de aposentadoria nestes animais (LAM et al., 2007). As lesões tendíneas representam grandes perdas financeiras no meio equestre, pois além da reparação tendínea e a reabilitação do animal serem processos prolongados, o alto índice de recidivas, inclusive nos tendões aparentemente bem reparados, pode significar o fim da carreira esportiva do animal. Os tendões e ligamentos que mais frequentemente sofrem injúrias são aqueles no aspecto palmar ou plantar da porção distal dos membros (SMITH, 2008).

Além da escolha do protocolo terapêutico adequado, o diagnóstico preciso e o monitoramento das lesões tendíneas durante o tratamento, são fatores importantes na reabilitação do animal, pois o retorno precoce às atividades físicas pode resultar em recidivas e acarretar grandes perdas econômicas ao proprietário. Fato que

denota grande importância para a execução de uma técnica diagnóstica sensível e que contribua potencialmente para o acompanhamento terapêutico.

O diagnóstico da lesão tendínea dos equinos se baseia no histórico com foco nas atividades físicas e intensidade do treinamento (geralmente o exercício que foi feito antes de ocorrer a claudicação) e no desenvolvimento dos sinais de inflamação (dor e sua principal manifestação, a claudicação, além de calor e aumento de volume), constatados por meio de inspeção e palpação na estrutura afetada. No entanto, alguns destes sinais podem não estar aparentes, refletindo diferenças na fase (aguda *versus* crônica), estrutura afetada e gravidade do processo (SMITH; MCILWRAITH, 2012). Lacerda-Neto et al. (2013) observaram que os sinais clínicos da tendinite em equinos, não acompanham a condição microscópica do tecido, indicando que a apresentação clínica não pode ser utilizada como parâmetro para a monitoração da evolução da tendinite induzida. A confirmação e avaliação da severidade da lesão são feitas por meio de exame ultrassonográfico, além de técnicas auxiliares, tais como bloqueio anestésico regional, radiografia, cintilografia (DYSON et al., 1995; GIBSON; STEEL, 2002) e ressonância magnética (SCHNEIDER et al., 2005).

1.2.4 Diagnóstico das lesões tendíneas e ligamentares

O principal meio de diagnóstico das tendinopatias é o exame ultrassonográfico das possíveis estruturas afetadas. A ultrassonografia é um método seguro e não invasivo, capaz de determinar tamanho, forma, localização e severidade das lesões dos tecidos tendíneos e ligamentosos dos pacientes equinos, baseando-se nas alterações na ecogenicidade e paralelismo das fibras (GENOVESE et al., 1986). O exame de ultrassom deve ser realizado com transdutor linear de 7,5MHz e conector, pois minimiza artefatos ao possibilitar maior área de contato com as estruturas (DYSON et al., 1995).

Os principais achados ultrassonográficos na doença tendínea são, na fase aguda: identificação de aumento na área transversal, mudanças na ecogenicidade, com alternância de áreas anecoicas e hipoecoicas, sendo que a presença de áreas anecoicas ocorre quando há ruptura de fibras, com consequente hemorragia e as áreas hipoecoicas se devem à baixa densidade tecidual, decorrente da inflamação.

No corte longitudinal, pode ser observado ecos curtos e desalinhados. Conforme a doença progride, o padrão torna-se heterogêneo e as lesões ficam mais ecoicas. Na imagem longitudinal as fibras apresentam-se desalinhadas e irregulares, podendo haver alguns pontos de fibrose no interior do tendão (MARR et al., 1993; REEF, 1998). Tais achados são compatíveis com as alterações histopatológicas encontradas por Marxen et al. (2003) que demonstraram que o tendão normal é firme à secção transversal, com padrão fascicular bem definido. E quando ocorre lesão esse padrão é perdido e o tendão fica macio e gelatinoso. Na fase de regeneração há presença de focos hemorrágicos e granulação fibrovascular. Digno de nota, nem sempre os sinais clínicos apresentados pelos pacientes se correlacionam com os achados ultrassonográficos. Ou seja, torna-se rara a presença de achados clínicos positivos sem alterações ultrassonográficas. Por outro lado, é bem menos frequente a presença de achados no exame de imagem, sem evidências clínicas da doença (SMITH; MCILWRAITH, 2012).

Na avaliação das tendinopatias, a ultrassonografia convencional é fundamentalmente usada para visualizar as estruturas tendíneas. Entretanto, a sua capacidade para detectar desintegração precoce, monitorar o progresso de lesões, e avaliar objetivamente efeitos de terapias é limitado. Além disso, a ultrassonografia não é capaz de avaliar de forma confiável a integridade dos tecidos visto que os limites visibilizados na imagem ultrassonográfica resultam de uma mistura de reflexões (de estruturas relativamente grandes como os feixes tendíneos e fascículos) e ecos de interferência (gerados por estruturas menores como fibrilas e células) que não podem ser discriminadas a olho nú (VAN SCHIE et al., 2013). Além disso, a ultrassonografia é muito susceptível a artefatos que contribuem para imprecisões na imagem. Sombreamentos nas margens ocorrem comumente em estruturas preenchidas por líquidos. Por outro lado, outras estruturas arredondadas, tais como os tendões, também apresentam sombreamento devido às velocidades do som diferentes daquelas dos tecidos moles adjacentes (KIRBERGER, 1995).

Apesar dessas limitações, evidências indicam que pequenas alterações no tamanho, ecogenicidade e padrão de fibras tendíneas à ultrassonografia convencional, estão associadas à alterações relativamente significativas nos parâmetros de força biomecânica (GILLIS, 1997). Foram estabelecidas correlações

muito próximas entre observações ultrassonográficas de tendões e ligamentos lesados ou normais com respectivos achados histopatológicos em equinos (NICOLL et al., 1992; MARR et al., 1993; WOOD et al., 1994). Crass et al. (1992) relatam ainda que as imagens obtidas na ultrassonografia e ressonância magnética, já frequentemente utilizadas na medicina esportiva humana, refletem precisamente as anormalidades do tecido nas tendinites agudas.

Em relação às novas técnicas em desenvolvimento para o diagnóstico precoce de lesões em medicina seja humana ou veterinária, destaca-se a elastografia. O estudo elastográfico consiste na extensão tecnificada de uma das mais antigas ferramentas da medicina, a palpação, onde avalia-se a forma e rigidez do órgão em interesse (OPHIR, 2002). A técnica foi desenvolvida no início dos anos noventa, sendo considerado um método muito promissor em que se estuda a elasticidade dos tecidos, como forma de se avaliar sua dureza. Desde então, vários métodos para avaliação da elasticidade tecidual têm sido propostos em elastografia (por compressão, *acoustic radiation force impulse* - ARFI e *real-time shear velocity* - RSV) (DUDEA et al., 2011).

De maneira geral, elastografia é um método de ultrassom o qual avalia qualitativa ou quantitativamente as propriedades mecânicas do tecido. Há evidências de que a elastografia pode ser utilizada na investigação de músculos, tendões e doenças de tecidos moles na prática clínica, como ferramenta complementar ao ultrassom convencional. Com base em dados preliminares, aplicações clínicas em potencial incluem diagnóstico precoce, estadiamento e orientação de intervenções musculotendinosa e doença neuromusculares, bem como acompanhamento da regeneração durante a reabilitação. A elastografia também poderia ser utilizada para pesquisas em biomecânica e fisiopatologia de doença musculotendíneas (DRAKONAKI, 2012).

Elastografia por compressão é a técnica mais comum, realiza-se uma compressão suave com o transdutor manual para criar mapas de distribuição de tensão em tempo real, que são codificados por cores e sobrepostos nas imagens em modo B (DRAKONAKI, 2012). É um método baseado na estimativa do intervalo de tempo dos sinais de eco entre a pré-compressão e a pós-compressão (DESTOUNIS; GRUTTADAURIA, 2013). Dessa forma, essa técnica é sujeita a variações individuais

do operador, de acordo com a compressão aplicada, além disso oferece como desvantagem variações de sensibilidade de acordo com a conformação corpórea do paciente, principalmente quando se pretende avaliar órgãos profundos (CARVALHO; CHAMMAS, 2013).

A elastografia por ondas de cisalhamento é uma técnica que fornece uma medida de rigidez que é expressa em metros por segundo (velocidade da onda de cisalhamento) ou em quilopascals (Módulo de Young) (BAMBER et al., 2013, BARR, 2012). Nessa técnica, um impulso de pulso, frequentemente referido como impulso de força de radiação acústica (ARFI), é utilizado para gerar ondas de cisalhamento dentro dos tecidos (BARR, 2014). O estudo quantitativo ARFI utiliza um impulso acústico primário em direção a uma região de interesse, promovendo a formação de ondas de pressão em propagação capaz de deformar os tecidos, captando a velocidade de propagação das ondas de pressão (cisalhamento). A velocidade de propagação e a atenuação das ondas estão relacionadas com a rigidez e viscoelasticidade do tecido (COMSTOCK, 2011).

A elastografia ARFI é uma técnica de imagem segura e não invasiva, que fornece medidas quantitativas e qualitativas da rigidez dos tecidos, com variabilidade interobservador reduzida. Para avaliação qualitativa, este método utiliza impulsos acústicos curtos e de alta intensidade para deformar os elementos do tecido e criar um mapa estático (elastograma) de rigidez tecidual relativa. Esse método fornece um mapeamento em escala de cinza que demonstra a rigidez relativa dos tecidos da região estudada, comparando-se com a imagem ultrassonográfica convencional correspondente. De forma geral, as áreas mais claras representam os tecidos mais deformáveis que as áreas escuras (GODDI et al., 2012). Dependendo do software e do equipamento utilizado, os elastogramas podem ser gerados em escala de cores. Neste caso, no mapa de cores utilizado para mostrar os dados, o vermelho representa o tecido mais rígido e o azul o mais macio. A escala de cores pode ser ajustada para permitir melhor representação da gama de ondas de cisalhamento (BARR, 2014).

Em seres humanos, há evidências crescentes de que a elastografia pode ser usada para estimar as propriedades mecânicas do tecido musculoesquelético. Na prática clínica, isto apresenta-se com potencial promissor para o diagnóstico precoce

de lesões, além de direcionamento e acompanhamento terapêutico (DRAKONAKI et al., 2012).

Em veterinária, o método ARFI demonstrou aplicabilidade na avaliação de neoplasias mamárias (FELICIANO et al., 2014a) e afecções testiculares em cães (FELICIANO et al., 2016), além da padronização dos valores de referência para a avaliação hepática, renal, esplênica, prostática e testicular em caninos adultos (HOLDSWORTH et al., 2014; FELICIANO et al., 2015, MARONEZI et al., 2015) e baço de gatos adultos (FELICIANO et al. 2014b).

Recentemente, por meio da elastografia por compressão, foi possível a detecção e avaliação da tensão tecidual tendínea de equinos, obtendo-se informações valiosas sobre a mecânica do tendão destes animais (LUSTGARTEN et al., 2014). Este estudo possibilitou o diagnóstico e acompanhamento de lesões dos tecidos moles dos equinos atletas. Adicionalmente, Lustgarten et al. (2015) demonstraram que a elastografia foi capaz de avaliar cronicidade e severidade de lesões tendíneas nesta espécie. Porém, conforme citado anteriormente, tal técnica por compressão é passível de erros e variações, de acordo com o operador.

A elastografia por ultrassom representa provavelmente o desenvolvimento técnico mais importante no campo da ultrassonografia desde o desenvolvimento da imagem Doppler. Tem muitas vantagens em relação a outros métodos de estimativa da elasticidade dos tecidos, como a elastografia por ressonância magnética, uma vez que é um sistema rápido, não invasivo de baixo custo, e tem o potencial de maior disponibilidade clínica. Há evidências muito promissoras de que elastografia pode ser usada para avaliar as propriedades mecânicas dos tecidos musculoesqueléticos no contexto clínico. Dados preliminares mostram que a elastografia pode até ser mais sensível do que a ressonância magnética ou o ultrassom em escala de cinza na detecção de alterações músculotendíneas subclínicas. Portanto, pode ser valiosa para o diagnóstico precoce e durante a reabilitação. Também, pode ser usado como uma ferramenta de pesquisa para auxiliar na compreensão da biomecânica e fisiopatologia de doenças musculotendíneas (DRAKONAKI; ALLEN; WILSON, 2012).

1.3 REFERÊNCIAS

ALEXANDER, R. M. **Elastic Mechanisms in Animal Movement**, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

ALEXANDER, R. M. Energy-saving mechanisms in walking and running. **Journal of experimental Biology**, v. 160, p.55-69, 1991.

BAMBER, J., COSGROVE, D., DIETRICH, C. F., et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 1: basic principles and technology. **Ultraschall Medicine**, v. 34, n.2, p. 169–184, 2013.

BARR, R. G. Sonographic breast elastography: a primer. **Journal of Ultrasound Medicine**, v.31, n. 5, p. 773–783, 2012.

BARR, R. G. Elastography in Clinical Practice. **Radiology Clinics of North America**, v. 52, p. 1145–1162, 2014.

BATSON, E. L., PARAMOUR, R. J., SMITH, T. J., et al. Are the material properties and matrix composition of equine flexor and extensor tendons determined by their functions? **Equine Veterinary Journal**, v. 35, p. 314–318, 2003.

BAXTER, G.M., **Manual of Equine Lameness**, Wiley-Blackwell, 2011a.

BAXTER, G.M., **Adams and Stashak's Lameness in Horses**, 6 Ed., Lippincott, Williams & Wilkins, 2011b.

CAMP, C.L., SMITH, N. Phylogeny and functions of the digital ligaments of the horse. **Memoirs of the University of California**, Berkely 1908.13 B, p.69- 124, 1942.

CARVALHO, C. F., CHAMMAS, M. C. Elastography – a new technology associated with ultrasonography. **Clínica Veterinária**, v. 17, 104, p. 62-70, 2013.

CLEGG, P. D., STRASSBURG, S., SMITH, R. K. Cell phenotypic variation in normal and damaged tendons. **International Journal of Experimental Pathology**, v. 88, p.227–235, 2007.

COMSTOCK, C. Ultrasound elastography of breast lesions. **Ultrasound Clinics**, v.6, p.407-415, 2011.

CRASS, J. R., GENOVESE, R.L., RENDER, J. A., BELLON, E. M. Magnetic Resonance , Ultrasound and Histopathologic correlation of acute and healing equine tendon injuries. **Veterinary Radiology & Ultrasound.**, v. 33, n.4, p.206-216 , 1992.

DAHLGREN, L. A. Pathobiology of Tendon and Ligament Injuries. **Clinical Techniques in Equine Practice**, v. 6, n. 3, p.168-173, 2007.

DESTOUNIS, S., GRUTTADAURIA, J. L. Elasticity imaging. **Journal of Radiology Nursing**, v. 32, p. 124-130, 2013.

DIMERY, N. J., ALEXANDER, R. M., KER, R. F. Elastic extension of leg tendons in the locomotion of the horse (*Equus caballus*). **Journal of Zoology**, v. 210, p. 415-425, 1986.

DOWLING, B. A., DART, A. J., HODGSON, D. R., SMITH, R. K. W. Superficial digital flexor tendonitis in the horse. **Equine Veterinary Journal**, v. 32, n. 5, p. 369-378, 2000.

DRAKONAKI, E. E., ALLEN, G. M., WILSON, D. J. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. **British Journal of Radiology**, v.85, p.1435–1445, 2012.

DRAKONAKI, E. Ultrasound elastography for imaging tendons and muscles. **Journal of Ultrasonography**, v. 12, p. 214–225, 2012.

DUDEA, S. M., GIURGIU, C. R., DUMITRIU, D.; et al. Value of ultrasound elastography in the diagnosis and management of prostate carcinoma. **Medical Ultrasonography**, v.13, p.45-53, 2011.

DYCE, K. M., SACK, W. O., WENSING, C. J. G. The hindlimb of the horse. In: **Textbook of Veterinary Anatomy**, second ed. W.B. Saunders, Philadelphia, p. 611–630, 1996.

DYCE, K. M., SACK, W. O, WENSING, C. J. G. The forelimb of the horse. In: _____, eds. **Textbook of veterinary anatomy**. 3rd ed. Philadelphia: Saunders, p. 568–605, 2002.

DYSON, S. ARTHUR, R. M., PALMER, S. E., RICHARDSON, D. Suspensory ligament desmitis. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**, v.11, p.177-215, 1995.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., PAVAN, L., CASTANHEIRA, T. L., SIMÕES, A. P. R., CARVALHO, C. F., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. ARFI elastography as complementary diagnostic method of mammary neoplasm in female dogs – preliminary results. **Journal of Small Animal Practice**, v. 55, p. 504–508, 2014a.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., CRIVELLENTI, L. Z., CRIVELLENTI, S. B., SIMÕES, A. P. R., BRITO, M. B. S., GARCIA, P. H. S., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse (ARFI) elastography of the spleen in healthy adult cats – a preliminary study. **Journal of Small Animal Practice**, v. 56, p. 180-183, 2014b.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., SIMÕES, A. P. R., USCATEGUI, R. R., MACIEL, G. S., CARVALHO, C. F., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse elastography of prostate and testes of healthy dogs: preliminary results. **Journal of Small Animal Practice**, v. 56, p. 320-324, 2015.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., SIMÕES, A. P. R., MACIEL, G. S., PAVAN, L., GASSER, B., SILVA, P., USCATEGUI, R. R., CARVALHO, C. F., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse (ARFI) elastography of testicular disorders in dogs: preliminary results. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 283-291, 2016.

GENOVESE, R. L., RANTANEN, N. W., HAUSER, M. L. et al. Diagnostic ultrasonography of equine limbs. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**, v. 2, p. 145-226, 1986.

GIBSON, K. T.; STEEL, C. M. Conditions of the suspensory ligament causing lameness in horses. **Equine Veterinary Education**, v.14, p.39-50, 2002.

GILLIS, C., L. Rehabilitation of tendon and ligament injuries. In: ANNUAL CONVENTION OF THE AMERICAN ASSOCIATION OF EQUINE PRACTITIONERS, 43, Phoenix. Proceedings... Phoenix, 1997. p. 306-309, 1997.

GODDI, A.; BONARDI, M.; ALESSI, S. Breast elastography: a literature review. **Journal of Ultrasound**, p.1-7, 2012.

GUSSEKLOO, S. W. S., LANKESTER, J., KERSTEN, W., BACK, W. Effect of differences in tendon properties on functionality of the passive stay apparatus in horses. **American Journal of Veterinary Research**, v. 72, n. 4, 2011.

HOLDSWORTH, A., BRADLEY, K., BIRCH, S., BROWNE, W. J., BARBERET, V. Elastography of the normal canine liver, spleen and kidneys. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 55, p. 620-662, 2014.

JANSEN, M. O., VAN DEN BOGERT, A. J., RIEMERSMA, D. J., SCHAMHARDT, H. C. In vivo tendon forces in the frontlimb of ponies at the walk, validated by ground reaction force measurements. **Acta Anatomica**. v. 146, p. 162- 167, 1993.

KINGSBURY, H. B., QUDDUS, M. A., ROONEY, J. R., GEARY, J. E. A laboratory facility for reproduction of flexion rates and forces in the foreleg of the racehorse. University of Delaware, **Department of Mechanical and Aeronautical Engineering Technical Report**, n. 193, 1977.

KIRBERGER, R. Imaging artifacts in diagnostic ultrasound- A review. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 36, p. 297-306, 1995.

KONIG, H. E., LIEBICH, H. G. **Veterinary Anatomy of Domestic Mammals: Textbook and Colour Atlas**, Schattauer, 2009.

LACERDA-NETO, J. C., FREITAS, J. M. R., POGGIANI, F. M., DIAS, D. P. M., GRAVENA, K., BERNARDI, N. S., RIBEIRO, G., PALMEIRA-BORGES, V. Serial

superficial digital flexor tendon biopsies for diagnosing and monitoring collagenase-induced tendonitis in horses. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 33, n. 6, p. 710-718, 2013.

LAM, K. H., PARKIN, T. D. H., RIGGS, C. M., MORGAN, K. L. Descriptive analysis of retirement of Thoroughbred racehorses due to tendon injuries at the Hong Kong Jockey Club (1992–2004). **Equine Veterinary Journal**, v. 39, p. 143–148, 2007.

LEHMKE, H. Beitrag zur Pathogenese und Histologie des Sehnenklapps. **Deutsche Tierärztliche Wochenschrift**, p. 1-4, 1925.

LUSTGARTEN, M., REDDING, W. R., LABENS, R., MORGAN, M., DAVIS, W., SEILER, G. S. Elastographic characteristics of the metacarpal tendon in horses without clinical evidence of tendon injury. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 55, n. 1, p. 92–101, 2014.

LUSTGARTEN, M., REDDING, W. R., LABENS, R., DAVIS, W., DANIEL, T. M., GRIFFITH, E., SEILER, G. S. Elastographic evaluation of naturally occurring tendon and ligament injuries of the equine distal limb. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 2015.

MARONEZI, M. C., FELICIANO, M. A. R., CRIVELLENTI, L. Z., SIMÕES, A. P. R., BARTLEWSKI, P. M., GILL, I., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse elastography of the spleen in healthy dogs of different ages. **Journal of Small Animal Practice**, v. 56, p. 393-397, 2015.

MARR, C. M.; McMILLAN, I.; BOYD, J. S. et al. Ultrasonographic and histopathological findings in equine superficial digital flexor tendon injury. **Equine Veterinary Journal**, v. 25, n. 1, p. 23-29, 1993.

MARXEN, S., LACERDA-NETO, J. C., MORAES, J. R. E., RIBEIRO, G., QUEIROZ-NETO, A. Efficacy of polysulphated glycosaminoglycan in the intratendinous treatment of experimental equine tendinitis. **Brazilian Journal of Morphological Sciences**, v. 20, n. 1, p. 43-46, 2003.

NICOLL, R. G.; WOOD, A. K. W.; ROTHWELL, T. L. W. Ultrasonographic and pathological studies of equine superficial digital flexor tendons; initial observations, including tissue characterizations by analysis of image gray scale, in a Thoroughbred gelding. **Equine Veterinary Journal**, v. 24, n. 4, p. 318-320, 1992.

OPHIR, J; ALAM, S. K., GARRA, B. S. et al. "Elastography: Imaging the elastic Properties of soft Tissues with ultrasound". **Journal Medical Ultrasonics**, v. 29, p. 155, 2002.

PASQUINI, C, SPURGEON, T.L. **An Anatomy of Domestic Animals: A Systemic and Regional Approach**, 10th Edition, 2003.

PROSKE, U., MORGAN, D. L. Tendon stiffness: methods of measurement and significance for the control of movement. A review. **Journal of Biomechanics**, v. 20, n. 1, p. 75-82, 1987.

REEF, V. B. **Equine diagnostic ultrasound**. Philadelphia: Saunders, 1998. 560 p.

RICHTER., H. Die Bedeutung der fedemden Gelenke oder Schnappgelenke. **Srhweiz. Arch. Tierheilk**, v.64, p. 7647, 1922.

RIEMERSMA, D. J., SCHAMHARDT, H. C. In vitro mechanical properties of equine tendons in relation to cross-sectional area and collagen content. **Research in Veterinary Science**, v. 39, n. 3, p.263-270, 1985.

RIEMERSMA, D. J., VAN DEN BOGERT, A. J., JANSEN, M. O., SCHAMHARDT, H. C.. Tendon strain in the forelimbs as a function of gait and ground characteristics and in vitro limb loading in ponies. **Equine Veterinary Journal**, v. 28, n. 2, p. 133-138, 1996.

RUMIAN, A. P., WALLACE, A. L., BIRCH, H. L. Tendons and ligaments are anatomically distinct but overlap in molecular and morphological features—a comparative study in an ovine model. **Journal of Orthopaedic Research**, p 458-464, 2007.

SCHNEIDER, R.K. et al. Magnetic resonance imaging evaluation of horses with lameness problems. In: ANNUAL CONVENTION OF THE AMERICAN ASSOCIATION OF EQUINE PRACTITIONERS, 51., 2005, Seattle. **Proceedings...** Lexington: International Veterinary Information Service.

SCHRYVER, H. F., BARTEL, D. H., LANGRANA, N., LOWE, J. E. Locomotion in the horse: Kinematics and external and internal forces in the normal equine digit in walk and trot. **American Journal of Veterinary Research**, v. 39, p. 1728-1733, 1978.

SHIVELY, M.J. Functional and clinical significance of the check ligaments. **Equine Practice**, v. 5, p.37-42, 1983.

SCHUURMAN, S. O., KERSTEN, W., WEIJS, W. A. The equine hind limb is actively stabilized during standing. **Journal of Anatomy**, v. 202, p. 355–362, 2003.

SISSON, S., GROSSMAN, D. **The Anatomy of the Domestic Animals**. 4 ed. W. B. Saunders Co., Philadelphia, USA. 1953.

SMITH, R. K. W. Tendon and Ligament Injury. **Proceedings of the 54th Annual Convention of The American Association of Equine Practitioners**, December 6–10, San Diego, California, USA, 2008.

SMITH, R. K. W. Pathophysiology of Tendon Injury In.: Ross, M. W.; Dyson, S. J. **Diagnosis and Management of Lameness in the horse**. 2 ed., p.694-695, 2011, 1424p.

SMITH, R. K. W., MCILWRAITH, C. W. Consensus on equine tendon disease: Building on the 2007 Havemeyer symposium. **Equine Veterinary Journal**, v. 44, p. 2–6, 2012.

SOFFLER, C. S., HERMANSON, J. W. Muscular design in the equine interosseus muscle. **Journal of Morphology**, v.267, p. 696-704, 2006.

SOUZA, M. V., VAN WEEREN, P. R., VAN SCHIE, H. T. M., VAN DE LEST, C. H. A. Regional differences in biochemical, biomechanical and histomorphological

characteristics of the equine suspensory ligament. **Equine Veterinary Journal**, v. 42, p.611– 620, 2010.

STEPHENS, P. R., NUNAMAKER, D. M., BUTTERWECK, D. M. Application of a Hall-effect transducer for measurement of tendon strains in horses. **American Journal of Veterinary Research**, v. 50, p. 1089-1095, 1989.

SWANSTROM, M. D., ZARUCCO, L., STOVER, S. M., et al. Passive and active mechanical properties of the superficial and deep digital flexor muscles in the forelimbs of anesthetized thoroughbred horses. **Journal of Biomechics**, v. 38, p. 579–586, 2005.

TAKAHASHI, T., MUKAI, K., OHMURA, H., AIDA, H., HIRAGA, A. In Vivo Measurements of Flexor Tendon and Suspensory Ligament Forces During Trotting Using the Thoroughbred Forelimb Model. **Journal of Equine Science**, v. 25, n. 1, p. 15–22, 2014.

VAN DEN BOGERT, A. J. **Computer simulation of locomotion in the horse**. Thesis. Utrecht. 1989.

VAN SCHIE, H. T. M., DOCKING, S. I., DAFFY, J., PRAET, E, ROSENGARTEN, S., COOK, J. L. Ultrasound tissue characterisation, an innovative technique for injury-prevention and monitoring of tendinopathy. **British Journal of Sports Medicine**, v. 47, p. 14, 2013.

VOLETI, P, B, BUCKLEY, M. R., SOSLOWSKY, L. J. Tendon Healing: Repair and Regeneration. **Annual Review of Biomedical Engineering**. V. 14, p.47–71, 2012.

WILLIAMS, R.B.; HARKINS, L.S.; HAMMOND, C.J.; WOOD, J.L. Racehorse injuries, clinical problems and fatalities recorded on British racecourses from flat racing and National Hunt racing during 1996, 1997 and 1998. **Equine Veterinary Journal**, v.33, n.5, p.478-486, 2001.

WILSON, A. M., MCGUIGAN, M. P., SU, A., VAN DEN BOGERT, A. J. Horses damp the spring in their step. **Nature**, v.414, 895-899, 2001.

WOOD, A. K. W.; SEHGAL, C. M.; REEF, V. B. Three dimensional sonographic imaging of the equine superficial digital flexor tendon. **American Journal of Veterinary Research**, v. 55, n. 11, p. 1505-1508, 1994.

CAPÍTULO 2 - Elastografia “Acoustic radiation force impulse” (ARFI) das estruturas flexoras da porção distal dos membros torácicos de equinos

RESUMO

A elastografia ARFI é uma técnica de imagem por ultrassom capaz de avaliar qualitativa e quantitativamente a rigidez dos tecidos, tendo potencial uso na avaliação das estruturas musculotendíneas. Não existe até o momento aplicação dessa técnica aos tendões e ligamentos de equinos. Objetivou-se avaliar a rigidez dos tendões flexores digitais superficial (TFDS) e profundo (TFDP), ligamento acessório do tendão flexor digital profundo (LA) e ligamento suspensor do boleto (LSB) em equinos hígidos por meio da elastografia ARFI (“Acoustic Radiation Force Impulse”), determinando os padrões quantitativos (velocidade de cisalhamento - VC) ainda não descritos para a espécie em questão. Para tal, utilizou-se 24 animais, dos quais se avaliaram ambos os membros torácicos. Após a realização de exames prévios e verificada a higidez dos animais, esses foram submetidos ao exame ultrassonográfico convencional e elastografia (método ARFI quantitativo) dos tendões e ligamentos, em diferentes regiões anatômicas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e utilizou-se nível de significância de 5% para todos os testes realizados. Os elastogramas em escala de cor mostraram que as estruturas estudadas são não deformáveis, apresentam coloração alaranjada ou tendendo ao vermelho e as adjacentes, tonalidades esverdeadas à azuis, indicando menor rigidez em relação aos tendões e ligamentos. A velocidade de cisalhamento para todas as estruturas foi similar ($p=0,142$) entre o membro esquerdo ($7,89\pm0,56$ m/s) e direito ($7,84\pm0,63$ m/s) e significativamente maior ($p\leq0,01$) nos cortes longitudinais ($7,99\pm0,66$ m/s) do que nos transversais ($7,81\pm0,59$ m/s). Em corte transversal, a VC das estruturas avaliadas diferiu significativamente ($p\leq0,01$) sendo maior para o LSB do que os demais; e LA menor que do TFDS. No corte longitudinal, a VC das estruturas também diferiu ($p\leq0,01$), sendo a do LSB e LA maiores que os tendões flexores, e o profundo maior que o superficial. A VC do TFDS, TFDP, LA e LSB não diferiu entre as regiões nos cortes transversais. Para os cortes longitudinais, a VC da região distal do TFDS apresentou-se maior do que a região média e, para o TFDP a VC foi maior na região proximal, seguida pela média e por último a distal. Não houve diferença entre os cortes longitudinais para os ligamentos. As estruturas mostraram-se mais rígidas nos machos do que nas fêmeas e houve uma tendência a maior rigidez nos animais mais velhos. A elastografia ARFI mostrou-se um método viável, repetível e reprodutível para avaliação dos tendões e ligamentos dos membros torácicos de equinos. As características qualiquantitativas obtidas da rigidez destas estruturas poderão ser utilizadas para ensaios em equinos com afecções musculoesqueléticas e também em outras espécies animais.

Palavras-chave: cavalos, ligamento acessório, ligamento suspensor do boleto, tendão flexor digital superficial, tendinopatias

2.1 INTRODUÇÃO

A ultrassonografia é usada rotineiramente na clínica de equinos para visualização das estruturas tendíneas. Entretanto sua capacidade para detectar desintegração precoce, monitorar a evolução das lesões e avaliar a resposta terapêutica é limitada (VAN SCHIE et al., 2013). Adicionalmente, este método de imagem é susceptível a presença de artefatos que contribuem para imprecisões diagnósticas, como sombreamentos em margens observadas nas estruturas tendíneas dos equinos (KIRBERGER, 1995).

A elastografia é uma nova técnica ultrassonográfica desenvolvida para avaliar a elasticidade dos tecidos, sendo capaz de estudar sua dureza. Vários métodos para avaliação da elasticidade tecidual têm sido propostos em elastografia (por compressão, *acoustic radiation force impulse* - ARFI e *real-time shear velocity* - RSV) (DUDEA et al., 2011). Dentre estas, a ARFI é um método seguro e não invasivo que fornece informações quali-quantitativas (elastogramas e velocidade de cisalhamento) da rigidez tecidual com variabilidade interobservador reduzida comparada às demais técnicas (COMSTOCK, 2011; GODDI et al., 2012). Em medicina veterinária, o método ARFI tem demonstrado aplicabilidade na avaliação de neoplasias mamárias (FELICIANO et al., 2014a) e afecções testiculares em cães (FELICIANO et al., 2016), além da padronização dos valores de referência para a avaliação hepática, renal, esplênica, prostática e testicular em cães (HOLDSWORTH et al., 2014; FELICIANO et al., 2015, MARONEZI et al., 2015) e baço de gatos (FELICIANO et al. 2014b).

Há evidências crescentes de que a elastografia pode ser utilizada para medir as propriedades mecânicas do tecido musculoesquelético, visando o diagnóstico precoce e o acompanhamento da evolução terapêutica (DRAKONAKI; ALLEN; WILSON., 2012). Em seres humanos, se demonstrou que a elastografia ARFI fornece informações quantitativas e reproduzíveis sobre a rigidez do tendão calcâneo comum em tempo real e representou excelente complemento ao ultrassom em modo B para avaliação desta estrutura (RUAN et al., 2015). Em equinos, estudos recentes demonstraram a aplicabilidade da elastografia (por compressão) na detecção e avaliação dos tendões, permitindo o diagnóstico e

acompanhamento de lesões nos tecidos moles de equinos atletas (LUSTGARTEN et al., 2014) e avaliação da cronicidade e severidade de lesões tendíneas em equinos (LUSTGARTEN et al., 2015). Entretanto, salienta-se que o método compressivo é passível de erros e variações de acordo com o operador (CARVALHO et al., 2015).

Até o presente momento não foram encontrados estudos utilizando a técnica ARFI para avaliação de estruturas tendíneas em equinos. Hipotetizamos que a elastografia ARFI é aplicável e de fácil execução na avaliação dos tendões e ligamentos equinos, fornecendo informações sobre as características da elasticidade destes tecidos. Para tanto, objetivou-se avaliar a aplicabilidade da elastografia ARFI e avaliação da rigidez dos tendões flexores digitais superficiais, profundos, ligamento acessório e ligamento suspensor do boleto dos membros torácicos de equinos adultos, determinando padrões de referência qualiquantitativos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O protocolo experimental realizado no presente estudo está de acordo com os princípios éticos adotados pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias / UNESP – Câmpus de Jaboticabal (Protocolo #15.069/16). Foram utilizados 24 equinos considerados hígidos (14 fêmeas e 10 machos; três animais da raça Brasileiro de Hipismo, 15 animais Puro Sangue Árabes ou Cruza Árabe e seis animais Sem Raça Definida; o peso corpóreo médio dos animais foi $439,35 \pm 55,02$ kg e a idade média $14,32 \pm 3,53$ anos). Portanto avaliou-se 48 tendões flexores digitais superficiais (TFDS) e profundos (TFDP), ligamentos acessórios do tendão flexor digital profundo (LA) e ligamentos suspensores do boleto (LSB). O tamanho amostral foi calculado de acordo com a estimativa da velocidade de cisalhamento, pelo método Rate and Mean (Poisson). Como referência para o desvio padrão, utilizou-se os resultados de Brum et al. (2014) os quais testaram a velocidade de cisalhamento do tendão de Aquiles humano.

Para seleção dos animais, realizaram-se exames clínicos com ênfase a avaliação da movimentação ao passo e trote, bem como palpação minuciosa das estruturas que foram avaliadas (exame de claudicação) e ultrassonografia

convencional das regiões tendíneas. Previamente aos exames de imagem, os animais foram submetidos à sedação (Detomidina¹ na dose de 0,01mg/kg IV). Optou-se pela sedação visando a segurança do operador e do aparelho de ultrassom, visto que os exames foram realizados fora de tronco de contenção. A ultrassonografia convencional foi realizada para verificar a homogeneidade tecidual e ausência de lesões, ou seja, a ecotextura (homogênea ou heterogênea), ecogenicidade e paralelismo das fibras tendíneas.

Para realização dos exames ultrassonográficos e elastográficos dos tendões flexores, realizou-se tricotomia ampla e higienização com água e sabão neutro na porção palmar dos membros torácicos, se estendendo do carpo até a articulação metacarpofalângica. Antes dos exames, foi aplicado gel específico para a realização da ultrassonografia para melhor contato do transdutor. As avaliações foram realizadas com os animais em posição quadrupedal, com os membros apoiados no solo.

Utilizou-se aparelho ultrassonográfico ACUSON S2000®², com transdutor multifrequencial e matricial linear de 9,0 MHz. De acordo com a recomendação proposta por Smith (1998), para estudo ultrassonográfico, a região metacarpiana deve ser dividida em sete zonas, tomando como base a distância entre o carpo e a articulação metacarpofalângica. Neste estudo foram avaliadas apenas seis zonas (1A, 1B, 2A, 2B, 3A e 3B), conforme demonstrado na Figura 1A. A avaliação foi realizada com o transdutor posicionado perpendicularmente ao membro (corte transversal; Figura 2A), abrangendo anatomicamente as estruturas demonstradas na Figura 3. Subsequentemente, para avaliação com o transdutor em posição longitudinal, o membro foi dividido em três regiões, (proximal, média e distal; Figura 1B), sendo que a região proximal corresponde à zona 1A e 1B, a região média corresponde à zona 2A e 2B e a região distal à zona 3A e 3B (Figura 2B). Foram obtidas no mínimo três medidas, em três diferentes pontos aleatórios, para cada região e estrutura, de onde se extraiu a média para posterior análise estatística. O TFDS e TFDP foram avaliados em todas as regiões e cortes descritos. Já o LA e LSB, foram estudados apenas nas quatro primeiras áreas do corte transversal e na região proximal e média do corte longitudinal, devido à sua localização anatômica.

¹ Dormium V (Cloridrato de detomidina) – Agener União Química, São Paulo, Brasil.

² Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Alemanha

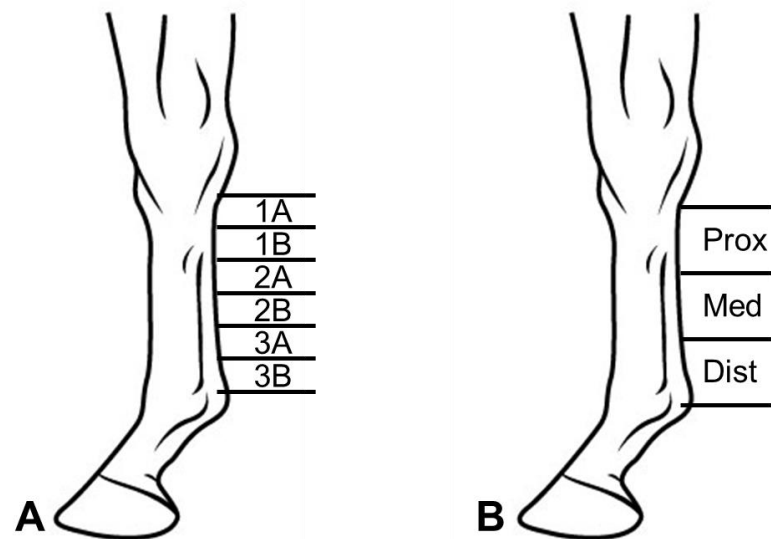


Figura 1. Esquema demonstrando o local de obtenção das imagens ultrassonográficas e elastogramas nas regiões 1A a 3B do membro torácico de equino, em corte transversal (A) e proximal (Prox), média (Med) e distal (Dist) em corte longitudinal (B) (Elaborado pelo autor).



Figura 2. Imagens fotográficas dos membros torácicos de equinos para demonstração do local de posicionamento do transdutor na região 1A no corte transversal (A) e região proximal no corte longitudinal (B), para realização de avaliação ultrassonográfica convencional e elastografia ARFI.

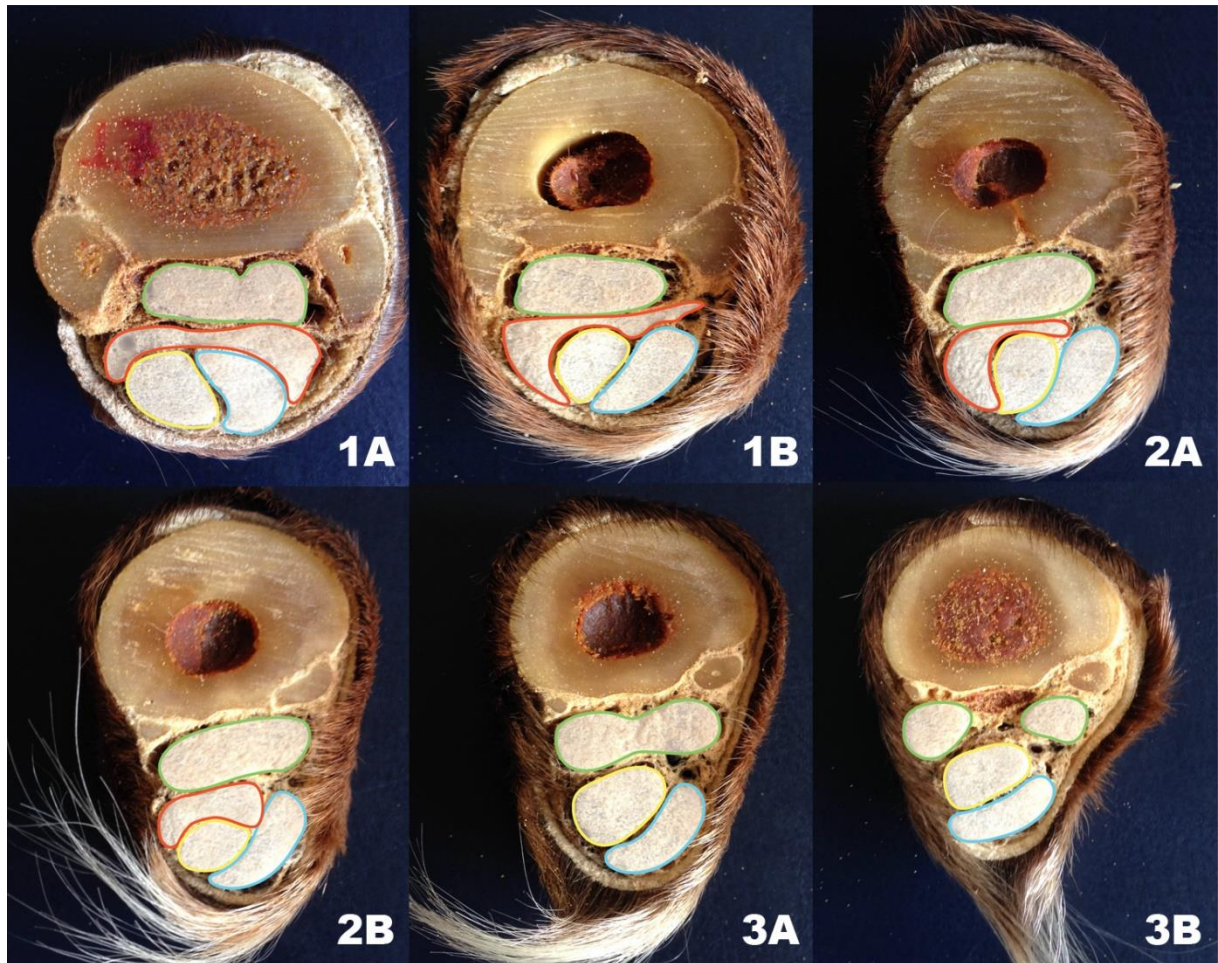


Figura 3. Imagens fotográficas de peça anatômica da porção distal do membro de equino em secções transversais nas seis regiões (1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B) de corte transversal abordadas no estudo. O ligamento suspensor do boleto encontra-se delineado em verde, o ligamento acessório do tendão flexor digital profundo em vermelho, o tendão flexor digital profundo em amarelo e o tendão flexor digital superficial em azul (Elaborado pelo autor).

Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas, utilizando-se o método ARFI (*virtual touch tissue imaging quantification* - método VTIQ, técnica 2D-SWE) (TANG et al., 2015). A técnica qualitativa ARFI foi aplicada resultando na formação de imagens em escala de cor. Estas imagens (elastograma) foram avaliadas de acordo com a deformabilidade (deformável ou não deformável) onde, áreas azuladas são indicativas de tecidos elásticos (moles) e áreas avermelhadas representam tecidos mais rígidos (duros). A avaliação quantitativa permite a obtenção da velocidade da onda de cisalhamento (m/s) e profundidade (cm). Obtiveram-se nove

medidas de diferentes áreas de cada tecido que foram utilizadas para determinar as velocidades de onda de cisalhamento.

Para análise estatística utilizou-se software R^{®3} e modelo experimental inteiramente casualizado (DIC). A velocidade de cisalhamento para cada uma das observações, regiões e membros avaliados foi comparada entre si pelo teste de Kruskal-Wallis e quando o resultado foi significativo, as medianas comparadas pelo pós-teste de Dunns. Os intervalos de confiança para estes parâmetros foram construídos com uma significância de 95% (IC 95%). A relação entre os parâmetros estudados foi testada pelo teste de correlação de Pearson. O nível de significância de 95% foi utilizado para todos os testes ($p \leq 0,05$) e as variáveis apresentam-se como a mediana $\pm$ intervalo interquartil (IQR).

2.3 RESULTADOS

O exame ultrassonográfico dos membros torácicos dos equinos permitiu a visualização das estruturas tendíneas e ligamentosas, tanto na avaliação ultrassonográfica convencional (modo B) como para elastografia ARFI (Figuras 4 e 5). Não foram registradas quaisquer complicações durante sua execução e verificou-se alto grau de repetitividade uma vez não foi constatada variação intra-observacional para cada uma das estruturas e regiões (quanto à velocidade de cisalhamento e profundidade; $p = 0,87$; $p = 0,16$ respectivamente).

³ R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

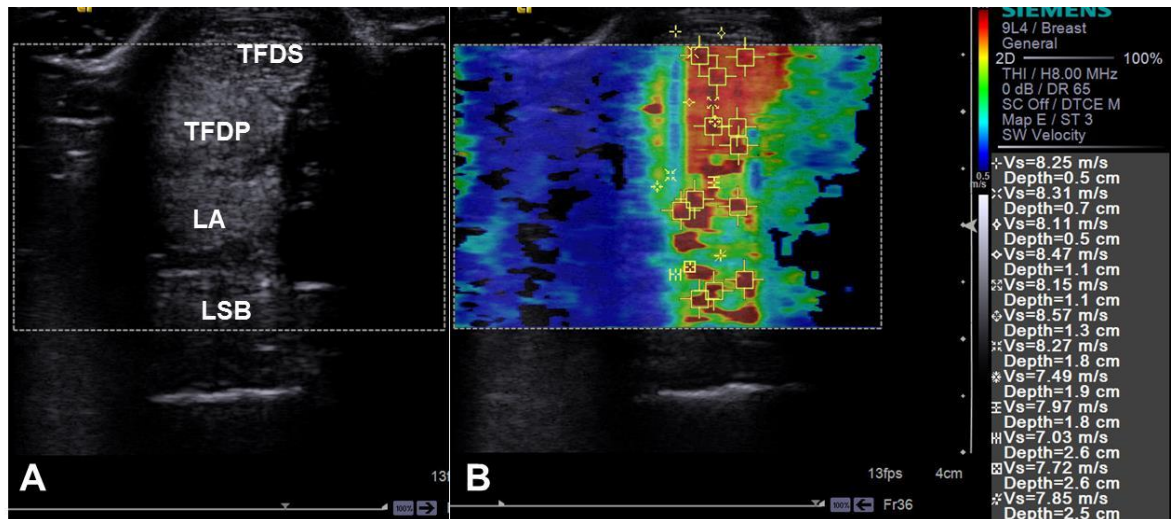


Figura 4. Imagem ultrassonográfica em modo B (A) e correspondente elastograma colorido obtido pelo método ARFI (B) da região 1A do membro torácico direito de equino em corte transversal demonstrando o tendão flexor digital superficial (TFDS) e profundo (TFDP), ligamento acessório (LA) e ligamento suspensor do bolete (LSB). Os quadros amarelos localizados no elastograma indicam a região de interesse para o cálculo da velocidade de cisalhamento a diferentes profundidades para cada uma das estruturas avaliadas.

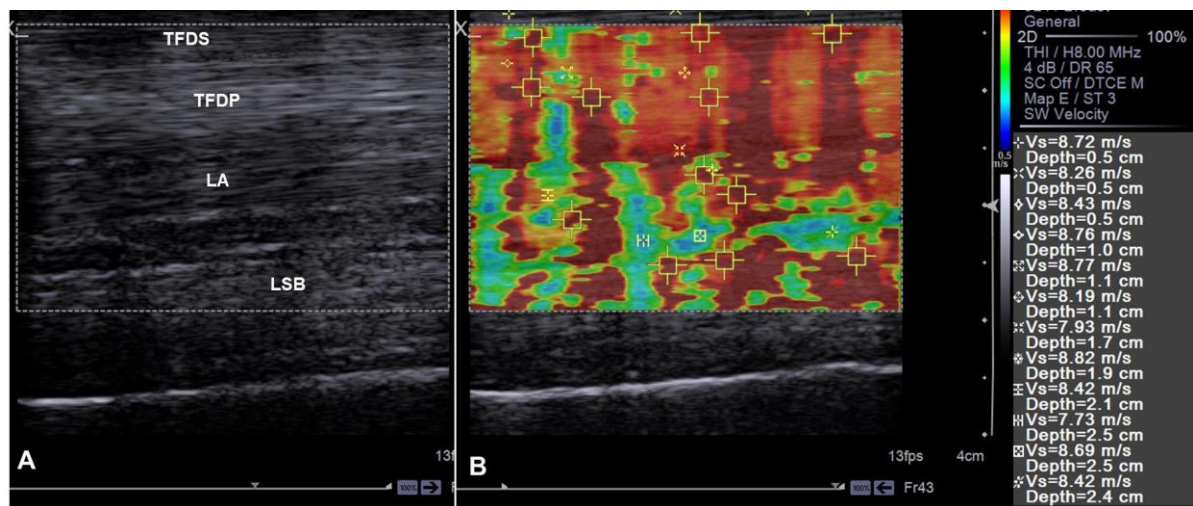


Figura 5. Imagem ultrassonográfica em modo B (A) e correspondente elastograma colorido obtido pelo método ARFI (B) da região proximal do membro torácico direito de equino hígado em corte longitudinal demonstrando o tendão Flexor Digital Superficial (TFDS) e Profundo (TFDP), ligamento acessório (LA) e ligamento suspensor do bolete (LSB). Os quadros amarelos localizados no elastograma indicam a região de interesse para o cálculo da velocidade de cisalhamento a diferentes profundidades para cada uma das estruturas avaliadas.

Aos elastogramas, os tendões e ligamentos avaliados apresentaram-se não deformáveis, verificando-se tecidos com coloração alaranjada, ou tendendo ao vermelho (maior rigidez), e as estruturas adjacentes (tecidos moles) com tonalidades esverdeadas a azuis, indicando menor rigidez em relação aos tendões.

A velocidade de cisalhamento para todas as estruturas foi similar ($p=0,142$) entre o membro esquerdo ($7,89\pm 0,56$ m/s) e direito ($7,84\pm 0,63$ m/s) e significativamente maior ($p\leq 0,01$) nos cortes longitudinais ($7,99\pm 0,66$ m/s) do que nos transversais ($7,81\pm 0,59$ m/s).

Nos cortes transversais, a VC das estruturas avaliadas diferiu significativamente ($p\leq 0,01$) sendo que o LSB foi a estrutura mais rígida; e LA menos rígido que do TFDS. Nos cortes longitudinais, a VC das estruturas também diferiu ($p\leq 0,01$), sendo os ligamentos mais rígidos que os tendões, e entre os tendões, o TFDP mais rígido que o TFDS (Tabela 1, Figura 6).

Tabela 1. Mediana $\pm$ IQR, valores máximos (Max), mínimos (Min) e intervalo de confiança (IC 95%) das velocidades de cisalhamento (m/s) do Tendão Flexor Digital Superficial (TFDS), Tendão Flexor Digital Profundo (TFDP), Ligamento Acessório (LA) e Ligamento Suspensor do Boletto (LSB) dos membros torácicos de 24 equinos saudáveis submetidos à avaliação ultrassonográfica pelo método de elastografia ARFI, em corte transversal e longitudinal.

	TFDS	TFDP	LA	LSB
VCtrans	$7,82\pm 0,48c$	$7,75\pm 0,40bc$	$7,69\pm 0,78b$	$8,07\pm 0,79a$
VCtrans Min-Max	5,8-8,8	5,7-8,8	6-8,7	5,3-9,6
VCtrans IC 95%	7,8 – 7,9	7,7 – 7,8	7,6 – 7,8	8 – 8,2
VClong	$7,81\pm 0,52c$	$7,92\pm 0,5b$	$8,22\pm 0,63a$	$8,32\pm 0,65a$
VClong Min-Max	6,9-8,7	7,1-8,6	6,8-9,4	6,7-9,7
VClong IC 95%	7,7 – 7,9	7,9 – 8,0	8,1 – 8,4	8,2 – 8,5

Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças entre as estruturas ($p\leq 0,05$). VCtrans = velocidade de cisalhamento nos cortes transversais. VClong = velocidade de cisalhamento nos cortes longitudinais.

A VC do TFDS, TFDP, LA e LSB não diferiu entre as regiões nos cortes transversais (Tabela 2). Para os cortes longitudinais, a VC da região proximal do TFDS apresentou-se maior do que a região distal e, para o TFDP a VC foi maior na

região proximal, seguida pela média e por último a distal. Não houve diferença entre os cortes longitudinais para os ligamentos (Tabela 3).

Tabela 2. Mediana $\pm$ IQR, valores mínimos e máximos e intervalo de confiança (IC 95%) das velocidades de cisalhamento (m/s) e profundidade média (cm) do Tendão Flexor Digital Superficial (TFDS), Tendão Flexor Digital profundo (TFDP), Ligamento Acessório (LA) e Ligamento Suspensor do Boleto (LSB) dos membros torácicos de 24 equinos saudáveis submetidos à avaliação ultrassonográfica pelo método de elastografia ARFI nas diferentes regiões em corte transversal.

		1A	1B	2A	2B	3A	3B
TFDS	Med $\pm$ IQR	7,8 $\pm$ 0,5	7,8 $\pm$ 0,4	7,9 $\pm$ 0,5	7,8 $\pm$ 0,4	7,9 $\pm$ 0,5	7,7 $\pm$ 0,6
	Mín-Máx	5,8-8,5	7,2-8,8	7,3-8,7	7,2-8,4	6,5-8,5	6,6-8,4
	IC 95%	7,7-8,0	7,7-8,0	7,6-7,9	7,8-8,0	7,6-8,1	
	Prof	0,63	0,61	0,54	0,51	0,43	0,40
TFDP	Med $\pm$ IQR	7,8 $\pm$ 0,5	7,8 $\pm$ 0,3	7,7 $\pm$ 0,4	7,7 $\pm$ 0,3	7,7 $\pm$ 0,4	7,7 $\pm$ 0,2
	Mín-Máx	5,7-8,5	6,9-8,8	6,9-8,8	7,3-8,4	7,3-8,3	7,5-8,5
	IC 95%	7,7-8,0	7,7-7,9	7,7-8,1	7,6-7,8	7,7-7,9	7,6-7,8
	Prof	1,12	1,1	1	0,94	0,93	0,97
LA	Med $\pm$ IQR	7,8 $\pm$ 0,8	7,8 $\pm$ 0,8	7,6 $\pm$ 0,6	7,7 $\pm$ 0,6		
	Mín-Máx	6,0-8,7	6,2-8,7	6,8-8,6	6,7-8,7		
	IC 95%	7,5-8,0	7,5-8,1	7,5-7,8	7,5-7,9		
	Prof	2,03	1,94	1,77	1,65		
LSB	Med $\pm$ IQR	8,0 $\pm$ 1	8,1 $\pm$ 0,7	8,1 $\pm$ 0,9	8 $\pm$ 0,7		
	Mín-Máx	5,3-8,8	6,7-9,6	6,3-8,8	7,1-9,3		
	IC 95%	7,7-8,2	7,8-8,3	7,9-8,3	7,9-8,3		
	Prof	2,8	2,74	2,67	2,63		

Tabela 3. Mediana $\pm$ IQR, valores mínimos e máximos e intervalo de confiança (IC 95%) das velocidades de cisalhamento (m/s) e profundidade média do Tendão Flexor Digital Superficial (TFDS), Tendão Flexor Digital profundo (TFDP), Ligamento Acessório (LA) e Ligamento Suspensor do Boleto (LSB) dos membros torácicos de 24 equinos saudáveis submetidos à avaliação ultrassonográfica pelo método de elastografia ARFI nas diferentes regiões de corte longitudinal.

		Prox	Med	Dist
TFDS	Med $\pm$ IQR	7,95 $\pm$ 0,49a	7,77 $\pm$ 0,45ab	7,72 $\pm$ 0,54a
	Mín-Máx	7,2-8,7	7,2-8,7	6,9-8,3
	IC 95%	7,8-8,1	7,6-7,9	7,5-7,9
	Prof	0,65	0,59	0,47
TFDP	Med $\pm$ IQR	8,02 $\pm$ 0,45a	7,95 $\pm$ 0,62b	7,77 $\pm$ 0,34c
	Mín-Máx	7,6-8,6	7,3-8,6	7,18,5
	IC 95%	7,9-8,2	7,7-8,1	7,7-7,9
	Prof	1,14	1,06	1,07
LA	Med $\pm$ IQR	8,22 $\pm$ 0,68	8,21 $\pm$ 0,57	
	Mín-Máx	7,1-9,4	6,8-9,2	
	IC 95%	8,0-8,4	8,1-8,4	
	Prof	1,98	1,76	
LSB	Med $\pm$ IQR	8,51 $\pm$ 0,66	8,27 $\pm$ 0,55	
	Mín-Máx	6,7-9,3	6,99,7	
	IC 95%	9,3	9,7	
	Prof	8,3-8,6	8,1-8,4	

Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças entre as regiões ($p \leq 0,05$).

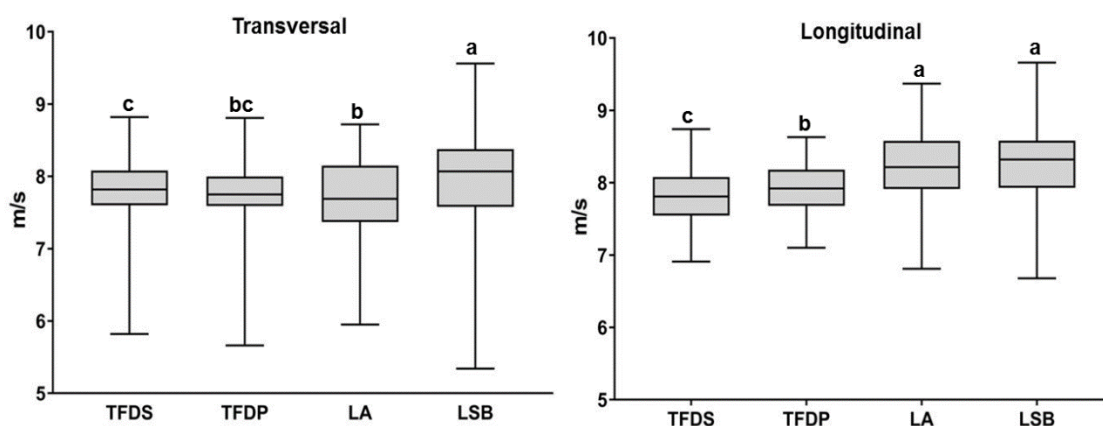


Figura 6. Gráficos box-plot contendo a mediana, amplitude inter-quartílica e valores mínimos e máximos das velocidades de cisalhamento (m/s) do Tendão Flexor Digital Superficial (TFDS), Tendão Flexor Digital profundo (TFDP), Ligamento Acessório (LA) e Ligamento Suspensor do Boleto (LSB) dos membros torácicos de equinos nas regiões de corte transversal e longitudinal.

Em relação à profundidade da avaliação elastográfica, esta variável foi similar entre os membros ($p=0,95$), direito ($1,1\pm 1,4$ cm) e esquerdo ($1,1\pm 1,4$ cm), e entre os cortes ($p=0,15$), transversal ($1,1\pm 1,4$ cm) e longitudinal ($1,1\pm 1,4$ cm). Entretanto, variou com relação à estrutura avaliada ($p\leq 0,01$), sendo na ordem TFDS ($0,50\pm 0,23$ cm), TFDP ($1,0\pm 0,3$ cm), LA ($1,9\pm 0,4$ cm) e LSB ($2,7\pm 0,2$ cm). Ao corte transversal, as regiões 3A e 3B apresentam menor profundidade ($p\leq 0,01$). Em corte longitudinal, a profundidade foi menor ($p\leq 0,01$) em região distal, e para região proximal e média não diferiu.

Em relação às raças utilizadas, a VC das estruturas estudadas foi significativamente maior nos cavalos da raça BH, seguida pelos de raça Puro Sangue Árabe e cruza árabe, sendo menor nos cavalos SRD ($p\leq 0,01$). Com relação ao sexo, a VC apresentou-se maior em cavalos do que nas éguas ($p=0,0047$). A VC não apresentou correlação com o peso corpóreo ($p=0,39$; $r=-0,02$). Em relação à idade dos animais, observou-se correlação positiva fraca com a VC ($p\leq 0,01$; $r=0,16$), sendo que quanto mais velho o animal, mais rígido o tecido, ou seja, maior a VC.

2.4 DISCUSSÃO

A elastografia ARFI demonstrou-se como método apropriado para avaliar os tecidos tendíneos e ligamentosos da porção distal dos membros torácicos de equinos. Os exames foram realizados com praticidade e alta reprodutibilidade, e possibilitou a determinação de características qualitativas da rigidez tecidual. Não foi encontrada variação intra-observacional para cada uma das medidas realizadas, o que mostra que mesmo que se tenha utilizado apenas um observador, as medidas são confiáveis.

A técnica foi realizada com sucesso e os resultados obtidos foram alcançados sem dificuldades. Optou-se realizar as avaliações elastográficas com os animais em posição quadrupedal e os membros apoiados no solo, formando um ângulo aproximado de 90° . Estudos realizados por Lustgarten et al. (2014) e Lustgarten et al. (2015) relataram dificuldades com as aferições realizadas com o membro flexionado, relatando maior presença de artefatos e dificuldade na obtenção das imagens.

Os elastogramas adquiridos tiveram aspectos semelhantes aos encontrados por Lustgarten et al. (2014), que avaliaram tendões e ligamentos de equinos utilizando a elastografia por compressão, verificando que os tendões e ligamentos são estruturas rígidas e não deformáveis, e os tecidos adjacentes mais macios.

Observou-se que as estruturas apresentaram-se mais rígidas em plano longitudinal em comparação ao transversal, diferindo do encontrado por Lustgarten et al. (2014) que, ao exame elastográfico por compressão dos tendões flexores, obtiveram elastogramas significativamente diferentes para os dois planos, observando que no plano longitudinal os tendões apresentaram menor rigidez quando comparados ao plano transversal. Miles (1996) afirma que a rigidez de tendões equinos é diferente quando avaliada em planos diferentes, sendo mais rígidos no plano proximodistal, quando as fibras são orientadas paralelamente. Embora a estrutura seja a mesma e, portanto com a mesma constituição, a teoria do módulo de Young, estima que para avaliar a tensão do tecido deve ser levado em consideração não apenas a composição das estruturas, mas também a maneira como os componentes individuais estão organizados (MILES, 1996).

Nos cortes longitudinais observou-se diferenças entre as regiões para os tendões flexores, sendo os TFDS e TFDP mais rígidos na porção proximal do que distal, diferindo do encontrado por Lustgarten et al. (2014) que não encontrou diferenças entre nenhum dos cortes realizados em ambos os tendões flexores. Agut et al. (2009) demonstraram que o TFDS é mais ecogênico na região proximal do que distal.

As diferenças de rigidez observadas nas estruturas ligamentares (mais rígidas) em relação aos tendões (menos rígidos) são justificadas pelas diferenças morfofuncionais entre estas estruturas. O LSB foi a estrutura que apresentou maior rigidez. Entre os tendões, não houve diferença no corte transversal, porém nos cortes longitudinais o TFDP apresentou-se mais rígido.

Tendões e ligamentos são estruturas de tecidos moles semelhantes que desempenham funções relacionadas, entretanto distintas (DAHLGREN, 2007). A função primária do tendão é transmitir a força de contração muscular para o osso, facilitando o movimento articular e deve ser capaz de resistir a altas forças de tração com alongamento limitado (RUMIAN et al., 2007). A principal função dos ligamentos

é evitar movimentos excessivos ou anormais nas articulações. Assim como os tendões, suportam altas forças de tração. Entretanto, os ligamentos recebem forças multiaxiais, enquanto os tendões geralmente recebem forças uniaxiais (RUMIAN et al., 2007). Como resultado dessas diferenças, os tendões e ligamentos têm ultraestrutura e aparência histológica semelhante porém com diferenças nas características organizacionais, estruturais, celulares, bioquímicas e moleculares. As fibras de colágeno no tendão estão dispostas num padrão estritamente paralelo, enquanto as do ligamento estão dispostas aleatoriamente e com ligações cruzadas menos maduras para acomodar a carga multiaxial. Nos ligamentos a porcentagem de colágeno total é ligeiramente inferior com maior proporção de colágeno de tipo III e teor mais elevado de glicosaminoglicano (GAG) (DAHLGREN, 2007).

Os ligamentos suportam mais tensão e carga do que os tendões. Riemersma et al. (1996), em estudo realizado com cinco pôneis, avaliaram a tensão e carga máximos suportados pelos TFDS, TFDP, LA e LSB ao passo e encontraram que os maiores valores de tensão ocorrem no LA, seguido pelo LSB, TFDS e TFDP. Com relação à carga máxima suportada, ao passo, os maiores valores foram para LSB, seguido de LA, TFDS e TFDP. E ao trote LSB, TFDS, LA e TFDP. Takahashi et al. (2014) também encontrou maior força no LSB do que no TFDS e TFDP durante a fase de apoio.

Comparando a ecogenicidade relativa dos tendões flexores e ligamento suspensor do boleto e acessório, o ligamento suspensor é a estrutura mais ecogênica e o tendão flexor digital superficial o menos ecogênico (AGUT et al., 2009). O LSB é a estrutura mais heterogênea, com as características bioquímicas dos ramos se aproximando mais às do TFDS do que às da própria estrutura na região média e proximal. Portanto, justifica-se tratar o LSB como uma estrutura com características específicas próprias (SOUZA et al., 2010).

Em relação às diferenças encontradas para raça, este fator isoladamente não deve ser considerado fonte de diferenças, visto que os animais utilizados no presente estudo provavelmente desempenharam atividades físicas distintas. Não foi encontrado na literatura compulsada características morfofuncionais das estruturas tendíneas e ligamentares de cavalos da raça BH, mas foi demonstrado que o cavalo

puro sangue árabe possui tendões e ligamentos de dimensões menores que o encontrado em outras raças (ÇELIMLI et al., 2004).

Em relação à diferença entre machos e fêmeas, não foi encontrado na literatura compulsada resultados semelhantes, sendo que os artigos que compararam diferenças morfofuncionais e estruturais dos tendões e ligamentos em equinos (AGUT et al., 2009) ou em tendões de seres humanos (RUAN et al., 2015) não encontraram diferença entre os gêneros.

Observou-se correlação fraca entre a velocidade de cisalhamento e idade dos animais, sendo que os tecidos se mostraram mais rígidos com o aumento da idade. Tal fato pode ser explicado pela queda na taxa de síntese de colágeno aumento na formação de ligações cruzadas (DAVISON, 1978, RUIZ-TORRES, 1978) e maior proporção de colágeno do tipo III (BIRCH et al., 1999) que ocorrem com o avanço da idade. O mesmo foi encontrado por Ruan et al. (2015) que avaliaram tendão de Aquiles humano por meio de elastografia ARFI, e demonstraram que nessa estrutura a elasticidade decresce com o passar da idade, ou seja, os tendões ficam mais rígidos. Drakonaki et al. (2009) também avaliaram tendão de Aquiles em humanos porém não encontraram correlações entre os elastogramas associado a idade e sexo. Em equinos, a ecogenicidade relativa do TFDS, TFDP, LA e LSB é significativamente maior em cavalos com idade entre dois e 16 anos do que naqueles com idade entre 19 e 25 anos (AGUT et al., 2009).

A potencial relevância deste trabalho se deve a sua futura aplicação no diagnóstico e acompanhamento das lesões tendíneas. O diagnóstico das desmo/tendinopatias é feito tradicionalmente baseando-se nas manifestações clínicas e avaliação ultrassonográfica (SMITH; MCILWRAITH, 2012). Entretanto, sinais clínicos de tendinite geralmente desaparecem antes da resolução histológica, indicando que a apresentação clínica não é um parâmetro confiável para monitorar a evolução das lesões (LACERDA-NETO et al., 2013). E, como citado anteriormente, as alterações ultrassonográficas nem sempre refletem exatamente as alterações apresentadas pelo tendão. Marxen et al. (2004) em estudo com tendinite induzida demonstrou que após 150 dias da indução da lesão, a ecogenicidade e o alinhamento das fibras observado ultrassonograficamente indicava estágio avançado de reparação tendínea, entretanto, histologicamente, o tendão ainda estava em fase

de reorganização. A elastografia avalia a rigidez tecidual e correlações entre a rigidez e hígidez tendíneas já são conhecidas (LACROIX et al., 2013, DRAKONAKI; ALLEN; WILSON, 2012). Sendo que tendões hígidos apresentam aparência macroscópica firme, enquanto tendões lesionados apresentam-se macios e gelatinosos (MARXEN et al., 2003; LACERDA-NETO et al., 2013).

Este trabalho é pioneiro na utilização da técnica de elastografia ARFI em equinos. Os resultados aqui encontrados trazem informações importantes em relação à rigidez tecidual dos tendões e ligamentos dos equinos. Entretanto, novos estudos são necessários para que se possa estabelecer valores de referência confiáveis para esta técnica, avaliando animais de diferentes raças e idades.

2.5 CONCLUSÃO

A elastografia ARFI é um método aplicável e reprodutível para avaliação dos tendões e ligamentos dos membros torácicos de equinos, podendo vir a ser uma importante ferramenta futura no diagnóstico precoce de lesões tendíneas. Os resultados obtidos demonstram que o ligamento suspensor do boleto é a estrutura mais rígida entre as que foram avaliadas. As características obtidas acerca das propriedades mecânicas destas estruturas poderão ser utilizadas para ensaios em equinos com afecções musculoesqueléticas e também em outras espécies animais.

2.6 REFERÊNCIAS

AGUT, A., MARTÍNEZ, M. L., SÁNCHEZ-VALVERDE, M. A., SOLER, M., RODRÍGUEZ, M. J. Ultrasonographic characteristics (cross-sectional area and relative echogenicity) of the digital flexor tendons and ligaments of the metacarpal region in Purebred Spanish horses. **The Veterinary Journal**, v. 180, n. 3, p.377-383, 2009.

BIRCH, H. L., BAILEY, J. V. B., BAILEY, A. J., GOODSHIP A. E. Age-related changes to the molecular and cellular components of equine flexor tendons. **Equine Veterinary Journal**, v. 31, n. 5, p. 391-396, 1999.

BRUM, J., BERNAL, M., GENNISSON, J. L., TANTER, M. In vivo evaluation of the elastic anisotropy of the human Achilles tendon using shear wave dispersion analysis. **Physics in Medicine and Biology**, v. 59, p. 505–523, 2014.

CARVALHO, F., CINTRA, T. C. F., CHAMMAS, M. C. Elastography: Principles and considerations for clinical research in veterinary medicine. **Journal of Veterinary Medicine and Animal Health**, v.7, n.3, p. 99-110, 2015

COMSTOCK, C. Ultrasound elastography of breast lesions. **Ultrasound Clinics**, v.6, p.407-415, 2011.

ÇELİMLİ, N., SEYREK-INTAS, D., KAYA, M. Morphometric measurements of flexor tendons and ligaments in Arabian horses by ultrasonographic examination and comparison with other breeds. **Equine Veterinary Education**, v.16, n.2, p. 81-85, 2004.

DAHLGREN, L. A. Pathobiology of Tendon and Ligament Injuries. **Clinical Techniques in Equine Practice**, v. 6, n. 3, p.168-173, 2007.

DAVISON, P.F., Bovine tendons. Ageing and collagen crosslinking. **Journal of Biology and Chemistry**, v. 253, p. 5635–5641, 1978.

DRAKONAKI, E. E., ALLEN, G. M., WILSON, D. J. Real-time elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. **Clinical Radiology**, v. 64, p. 1196-1202, 2009.

DRAKONAKI, E. E., ALLEN, G. M., WILSON, D. J. Ultrasound elastography for musculoskeletal applications. **British Journal of Radiology**, v.85, p.1435–1445, 2012.

DUDEA, S.M.; GIURGIU, C.R.; DUMITRIU, D.; et al. Value of ultrasound elastography in the diagnosis and management of prostate carcinoma. **Medical Ultrasonography**, v.13, p.45-53, 2011.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., PAVAN, L., CASTANHEIRA, T. L., SIMÕES, A. P. R., CARVALHO, C. F., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. ARFI elastography as complementary diagnostic method of mammary neoplasm in female dogs – preliminary results. **Journal of Small Animal Practice**, v. 55, p. 504–508, 2014a.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., CRIVELLENTI, L. Z., CRIVELLENTI, S. B., SIMÕES, A. P. R., BRITO, M. B. S., GARCIA, P. H. S., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse (ARFI) elastography of the spleen in healthy adult cats – a preliminary study. **Journal of Small Animal Practice**, v. 56, p. 180-183, 2014b.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., SIMÕES, A. P. R., USCATEGUI, R. R., MACIEL, G. S., CARVALHO, C. F., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse elastography of prostate and testes of healthy dogs: preliminary results. **Journal of Small Animal Practice**, v. 56, p. 320-324, 2015.

FELICIANO, M. A. R., MARONEZI, M. C., SIMÕES, A. P. R., MACIEL, G. S., PAVAN, L., GASSER, B., SILVA, P., USCATEGUI, R. R., CARVALHO, C. F., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse (ARFI) elastography of testicular disorders in dogs: preliminary results. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 283-291, 2016.

GODDI, A.; BONARDI, M.; ALESSI, S. Breast elastography: a literature review. **Journal of Ultrasound**, p.1-7, 2012.

HOLDSWORTH, A., BRADLEY, K., BIRCH, S., BROWNE, W. J., BARBERET, V. Elastography of the normal canine liver, spleen and kidneys. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 55, p. 620-662, 2014.

KIRBERGER, R. Imaging artifacts in diagnostic ultrasound- A review. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 36, p. 297-306, 1995.

LACERDA-NETO, J. C., FREITAS, J. M. R., POGGIANI, F. M., DIAS, D. P. M., GRAVENA, K., BERNARDI, N. S., RIBEIRO, G., PALMEIRA-BORGES, V. Serial

superficial digital flexor tendon biopsies for diagnosing and monitoring collagenase-induced tendonitis in horses. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 33, n. 6, p. 710-718, 2013.

LACROIX, A. S., DUENWALD-KUEHL, S. E., LAKES, R. S., VANDERBY, R. Relationship between tendon stiffness and failure: a metaanalysis. **Applied Physiology**, v.115, p.43–51, 2013.

LUSTGARTEN, M., REDDING, W. R., LABENS, R., MORGAN, M., DAVIS, W., SEILER, G. S. Elastographic characteristics of the metacarpal tendon in horses without clinical evidence of tendon injury. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 55, n. 1, p. 92–101, 2014.

LUSTGARTEN, M., REDDING, W. R., LABENS, R., DAVIS, W., DANIEL, T. M., GRIFFITH, E., SEILER, G. S. Elastographic evaluation of naturally occurring tendon and ligament injuries of the equine distal limb. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 2015.

MARONEZI, M. C., FELICIANO, M. A. R., CRIVELLENTI, L. Z., SIMÕES, A. P. R., BARTLEWSKI, P. M., GILL, I., CANOLA, J. C., VICENTE, W. R. R. Acoustic radiation force impulse elastography of the spleen in healthy dogs of different ages. **Journal of Small Animal Practice**, v. 56, p. 393-397, 2015.

MARXEN, S., LACERDA-NETO, J. C., MORAES, J. R. E., RIBEIRO, G., QUEIROZ-NETO, A. Efficacy of polysulphated glycosaminoglycan in the intratendinous treatment of experimental equine tendinitis. **Brazilian Journal of Morphological Sciences**, v. 20, n. 1, p. 43-46, 2003.

MARXEN, S., LACERDA-NETO, J. C., CANOLA, J. C., MORAES, J. R. E., RIBEIRO, G. Intralesional polysulphated glycosaminoglycan as treatment of equine collagenase induced tendinitis: clinical, ultrasonographic and histopathologic evaluation. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, n.6, p.701-708, 2004.

MILES, C. A. Ultrasonic properties of tendon: Velocity, attenuation, and backscattering in equine digital flexor tendons. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 99, p. 3225–3232, 1996.

RIEMERSMA, D. J., VAN DEN BOGERT, A. J., JANSEN, M. O., SCHAMHARDT, H. C.. Tendon strain in the forelimbs as a function of gait and ground characteristics and in vitro limb loading in ponies. **Equine Veterinary Journal**, v. 28, n. 2, p. 133-138, 1996.

RUAN, Z., ZHAO, B., QI, H., ZHANG, Y., ZHANG, F., WU, M., SHAO, G. Elasticity of healthy Achilles tendon decreases with the increase of age as determined by acoustic radiation force impulse imaging. **International journal of clinical and experimental medicine**, v. 8, n. 1, p. 1043-1050, 2015.

RUIZ-TORRES A, Cross-Linking of Collagen Depending on Age. **Gerontology**, v. 24, p. 337-342, 1978.

RUMIAN, A. P., WALLACE, A. L., BIRCH, H. L. Tendons and ligaments are anatomically distinct but overlap in molecular and morphological features—a comparative study in an ovine model. **Journal of Orthopaedic Research**, p. 458-464, 2007.

SMITH, R. K. W. Assessment and treatment of tendon injury. In BEVA Regional CPD London. **Meeting...** London: Department of Farm Animal and Equine Medicine and Surgery, The Royal Veterinary College Hawkshead Lane North Mymms. 1998. p. 10-14.

SMITH, R. K. W., MCILWRAITH, C. W. Consensus on equine tendon disease: Building on the 2007 Havemeyer symposium. **Equine Veterinary Journal**, v. 44, p. 2–6, 2012.

SOUZA, M. V., VAN WEEREN, P. R., VAN SCHIE, H. T. M., VAN DE LEST, C. H. A. Regional differences in biochemical, biomechanical and histomorphological characteristics of the equine suspensory ligament. **Equine Veterinary Journal**, v. 42, p.611– 620, 2010.

TAKAHASHI, T., MUKAI, K., OHMURA, H., AIDA, H., HIRAGA, A. In vivo measurements of flexor tendon and suspensory ligament forces during trotting using the thoroughbred forelimb model. **Journal of Equine Science**, v. 25, n. 1, p. 15–22, 2014.

TANG L., XU H.X., BO X.W. et al. A novel two-dimensional quantitative shear wave elastography for differentiating malignant from benign breast lesions. **International Journal of Clinical and Experimental Medicine**, v.8, p.10920-10928, 2015.

VAN SCHIE, H. T. M., DOCKING, S. I., DAFFY, J., PRAET, E, ROSENGARTEN, S., COOK, J. L. Ultrasound tissue characterisation, an innovative technique for injury-prevention and monitoring of tendinopathy. **British Journal of Sports Medicine**, v. 47, p. 14, 2013.