

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA**

**AVALIAÇÃO DE MODELO TRIDIMENSIONAL NÃO INVASIVO
DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL EM OVINOS HÍGIDOS**

FELIPE STEFAN AGOSTINHO

Botucatu – SP

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

**AVALIAÇÃO DE MODELO TRIDIMENSIONAL NÃO INVASIVO
DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL EM OVINOS HÍGIDOS**

FELIPE STEFAN AGOSTINHO

Tese apresentada junto ao Programa de
Pós-Graduação em Biotecnologia Animal
para a obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Profa. Titular Sheila Canevese Rahal

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

Agostinho, Felipe Stefan.

Avaliação de modelo tridimensional não invasivo da articulação coxofemoral em ovinos hígidos / Felipe Stefan Agostinho. - Botucatu, 2015

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

Orientador: Sheila Canevese Rahal

Capes: 50501003

1. Ovino. 2. Imagem tridimensional. 3. Cinemática.
4. Articulação de quadril. 5. Modelos matemáticos.

Palavras-chave: Cinemática; Locomoção; Ovino; Quadril.

Nome do autor: **Felipe Stefan Agostinho**

TÍTULO: **AVALIAÇÃO DE MODELO TRIDIMENSIONAL NÃO INVASIVO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL EM OVINOS HÍGIDOS**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Titular Sheila Canevese Rahal
Presidente e Orientadora
Departamento de Cirurgia e Anestesiologia Veterinária
FMVZ – UNESP – BOTUCATU

Profa. Dra. Carlos Roberto Teixeira
Membro
Departamento de Cirurgia e Anestesiologia Veterinária
FMVZ – UNESP – BOTUCATU

Dra. Lidia Mitsuko Matsubara
Membro
Departamento de Cirurgia e Anestesiologia Veterinária
FMVZ – UNESP – BOTUCATU

Professor Assistente Doutor Joel Mesa Hormaza
Membro
Departamento de Física e Biofísica
IBB – UNESP – BOTUCATU

Prof. Dr. André Luis Selmi
Membro
Departamento de Medicina Veterinária
Universidade Anhembi-Morumbi – São Paulo

Agradecimentos

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)** pelo suporte financeiro na forma de Bolsa de Estudo (2012/12826-8) e auxílio financeiro do equipamento de cinemática (processo 2012/02173-7).

À Professora Sheila Canevese Rahal pela oportunidade e apoio durante a realização da pesquisa

Aos familiares, amigos e colegas que me acompanharam e apoiaram durante esses anos

Aos docentes e funcionários da FMVZ - UNESP – Botucatu, que tornam possível o desenvolvimento e plena realização de nossos projetos

À minha esposa Isabella Agostinho, pelo permanente apoio e acima de tudo pela paciência.

À Montilla, minha cachorra, que mais uma vez caminhou inúmeras vezes na esteira, permitindo nossa familiarização com o sistema utilizado no presente projeto.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	II
Resumo.....	III
Abstract.....	VI
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 <i>Articulação coxofemoral.....</i>	<i>5</i>
2.2 <i>Conceitos da análise cinemática em biomecânica.....</i>	<i>6</i>
2.3 <i>Análise cinemática articular tridimensional.....</i>	<i>9</i>
2.4 <i>Ovinos.....</i>	<i>12</i>
3 OBJETIVOS.....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1 Animais e ambiente de experimentação.....	18
4.2 Análise cinemática.....	19
4.3 Análise estatística.....	31
5 RESULTADOS.....	32
6 DISCUSSÃO.....	44
7 CONCLUSÕES.....	50
8 REFERÊNCIAS.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Localização dos marcadores e clusters para modelo cinemático da articulação coxofemoral de ovinos hígidos da raça Santa Inês.....	22
Tabela 2 – Comparação dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulo mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de rotação interna/externa, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos com o sistema de coordenada articular (SCA), em ovinos hígidos da raça Santa Inês	38
Tabela 3 - Comparação dos ângulos máximos ($^{\circ}$) de extensão, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.....	38
Tabela 4 – Comparação dos ângulos mínimos ($^{\circ}$) de flexão, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.....	38
Tabela 5 – Comparação dos deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de flexão/extensão, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.....	39
Tabela 6 - Comparação dos ângulos máximos ($^{\circ}$) de abdução, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.....	39
Tabela 7 – Comparação dos ângulos mínimos ($^{\circ}$) de adução, entre as articulações coxofemorais, direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.....	39

Tabela 8 – Comparação dos deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de abdução/adução, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês..... 40

Tabela 9 – Comparação dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de flexão/extensão das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês..... 40

Tabela 10 – Comparação dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de abdução/adução das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês..... 40

Tabela 11 – Valores de P e coeficientes de correlação de Spearman (ρ) dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de flexão/extensão, das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês..... 43

Tabela 12 – Valores de P e coeficientes de correlação de Spearman (ρ) dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de abdução/adução, das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês..... 43

Lista de Figuras

Figura 1 – Representação de <i>cluster</i> confeccionado a partir de 2 marcadores e uma agulha hipodérmica.....	20
Figura 2 – Marcadores e <i>clusters</i> posicionados para a análise cinemática da articulação coxofemoral de ovino da raça Santa Inês. Animal posicionado sobre esteira.....	21
Figura 3 – Modelo tridimensional dinâmico, reconstruído a partir da captura estática demonstrando em azul o segmento da pelve, em vermelho os segmentos do fêmur e tibia direita e em amarelo os segmentos do fêmur e tibia esquerda.....	23
Figura 4 – Ângulo α representado após as transformações.....	24
Figura 5 – Ângulo β representado após as transformações.....	25
Figura 6 – Origem dos eixos dos sistemas de coordenadas locais (SCL).....	26
Figura 7 – Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de flexão/extensão obtido pelo modelo sagital linear.....	28
Figura 8 – Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de abdução/adução obtido pelo modelo sagital linear	29
Figura 9 – Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de flexão/extensão obtido pelo modelo sagital segmentar.....	30
Figura 10 – Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de abdução/adução obtido pelo modelo sagital segmentar.....	31
Figura 11 – Gráficos temporais de flexão/extensão do sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS).....	34
Figura 12 – Gráficos temporais de abdução/adução do sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS).....	35

Figura 13 – Gráficos temporais de rotação interna/externa do sistema de coordenada articular (SCA)..... 36

Figura 14 - Comparação dos ângulos mínimos (A), ângulos máximos (B) e deslocamentos angulares (C) de flexão/extensão, e dos ângulos mínimos (D), ângulos máximos (E) e deslocamentos angulares (F) de abdução/adução, das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês..... 41

Figura 15 - Observe o deslocamento cranial do marcador do quadríceps pela movimentação da pele..... 42

AGOSTINHO, F.S. Avaliação de modelo tridimensional não invasivo da articulação coxofemoral em ovinos hígidos. Botucatu, 2015. 57p. Tese (Doutorado em Biotecnologia Animal – Cirurgia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

O trabalho teve por objetivos propor e avaliar modelo cinemático tridimensional não invasivo da articulação coxofemoral de ovinos, usando sistema de coordenada articular, bem compará-lo e correlacioná-lo a dois modelos sagitais. Para tanto, foram utilizados oito ovinos hígidos de porte semelhante, não castrados, fêmeas, com idade entre 2 e 4 anos. Para o cálculo dos ângulos foram aplicados três modelos matemáticos, um sistema de coordenada articular (SCA) e dois modelos sagitais, sendo um linear (MSL) e um segmentar (MSS). Os modelos SCA, MSL e MSS permitiram a captura dos ângulos de flexão/extensão e abdução/adução. Adicionalmente o modelo SCA permitiu a captura dos ângulos de rotação interna/externa. Os ângulos máximos, mínimos e deslocamentos angulares para cada uma das variáveis foram avaliados. Na comparação entre SCA e MSL não foram observadas diferenças significativas para flexão/extensão e abdução/adução. Já nas comparações de MSL/MSS e SCA/MSS, excetuando-se o deslocamento angular em flexão/extensão entre SCA/MSS, foram observadas diferenças significativas para flexão/extensão e abdução/adução, nas demais variáveis. Os valores dos ângulos de rotação interna/externa apresentaram alta variabilidade. Não houve correlação significativa no deslocamento angular de abdução/adução entre MSL e MSS, porém todas as demais correlações entre modelos foram significativas. Foi possível concluir que os ângulos de flexão/extensão e abdução/adução adquiridos com o sistema de coordenada articular foram similares com o modelo sagital linear, mas não com o modelo sagital segmentar. Os dados de rotação interna/externa determinados pelo sistema de coordenada articular podem não ser aplicáveis.

Palavras-chave: Locomoção; Quadril; Ovino; Cinemática.

AGOSTINHO, F.S. Evaluation of a noninvasive three-dimensional model of the hip joint in sound sheep. Botucatu, 2015. 57p. Tese (Doutorado em Biotecnologia Animal – Cirurgia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

SUMMARY

The aim of this study was to develop and evaluate a noninvasive three-dimensional model of the hip joint in sound sheep using a joint coordinate system, and to compare and correlate it with two sagittal models. Eight sound sheep of similar size, intact, female, aged from 2 to 4 years were used. Three models were used to angle calculations including joint coordinate system (SCA), and sagittal linear (MSL) and sagittal segmental model (MSS). The SCA, MSL and MSS models were able to capture flexion/extension and abduction/adduction angles whereas SCA model also was able to capture internal/external rotation angle. Maximum angle, minimum angle and angular displacement were calculated for all variables. Comparing SCA to MSL, significant differences were not observed. Differences were observed in all comparisons between SCA/MSS and MSL/MSS, except for flexion/extension displacement between SCA/MSS that was similar. The values of internal/external rotation angles showed high variability. The correlations were significant for both flexion/extension and abduction/adduction angles in the three models, except for abduction/adduction displacement between MSL/MSS. In conclusion, the flexion/extension and abduction/adduction angles obtained with joint coordinate system were similar to sagittal linear, but not with sagittal segmental model. The internal/external rotation angle data obtained by joint coordinate system may not be useful.

Key words: Locomotion; Hip; Sheep; Kinematic.

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Em biomecânica os estudos de análise cinemática do movimento podem ser efetuados de modo sagital, que geralmente é usado para avaliar a flexão e extensão articular de maneira bidimensional, usando modelos lineares ou modelos segmentares; ou de forma tridimensional, que proporciona informação em todas as direções do espaço, ou seja, flexão/extensão, rotação interna/externa, abdução/adução (ROBERTSON e CALDWELL, 2004; TORRES et al., 2010). Em Medicina Humana existem vários métodos para determinar os ângulos articulares de forma tridimensional. Entre os três mais usados estão o de Cardan/Euler, o sistema de coordenadas articulares e o de eixo helical (HAMILL e SELBIE, 2004).

Devido à complexidade da análise tridimensional e a necessidade de um número maior de câmeras, o método tem sido pouco utilizado em ovinos e cães, podendo ser citados especialmente estudos com a articulação do joelho, tais como: a força de contato da articulação tíbio-femoral de ovinos com auxílio da cinemática tridimensional (TAYLOR et al., 2006); a caracterização do movimento tridimensional do joelho intacto de ovinos durante o caminhar, caminhar inclinado e ao trote (TAPPER et al., 2006); análise cinemática tridimensional do joelho de ovinos após a secção do ligamento cruzado cranial e ligamento colateral medial (TAPPER et al., 2008); a comparação entre modelos sagitais e o tridimensional por sistema de coordenadas articulares no estudo do joelho de cães hípidos (TORRES et al., 2010).

FU et al. (2010) foram os primeiros a estabelecerem um modelo cinemático tridimensional do membro pélvico de cães por meio do uso do sistema de coordenadas articulares. Esse foi definido baseado nas recomendações da Sociedade Internacional de Biomecânica. A localização dos

marcadores, segundo os autores, foi baseada em cinco considerações: visibilidade, repetitividade, não colinearidade, movimento de pele e reconstrução dos planos clínicos.

Independente da forma de análise cinemática, os marcadores precisam ser fixados, seja na pele com o emprego de fitas adesivas ou cola (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001; GORDON-EVANS, 2012), considerado como método não invasivo; ou sobre o sistema esquelético por métodos invasivos (LUNDBERG, 1996; TAYLOR et al., 2006; TAPPER et al., 2006; TAPPER et al., 2008). O ideal da análise cinemática é observar o movimento dos segmentos ósseos, mais do que o movimento combinado do osso e tecido mole (LUNDBERG, 1996). Apesar da maior precisão dos marcadores fixados de forma invasiva, essa metodologia pode se tornar uma limitação para estudos de longo prazo, além de ser questionável do ponto de vista ético e não adequado para estudos clínicos (SELLERS e CROMPTON, 1994; LUNDBERG, 1996). Para limitar as variações ao se colocar os marcadores sobre a pele, a aplicação deve ser realizada por um único investigador, que deve seguir as marcas anatômicas pré-determinadas para a espécie em estudo (GORDON-EVANS, 2012). Além disso, alguns autores têm sugerido o emprego de ajustamentos matemáticos dos dados (FU et al., 2010; GORDON-EVANS, 2012).

Sendo assim, o presente trabalho visou avaliar a articulação coxofemoral, por meio de análise cinemática tridimensional não invasiva, propondo sistema de coordenadas articular, em estudo experimental em ovino. Além disso, os ângulos de extensão/flexão e abdução/adução foram também analisados por dois modelos sagitais, que foram comparados e correlacionados com os obtidos pelo modelo tridimensional. A hipótese foi que os três modelos permitirão a obtenção de valores representativos da flexão/extensão e abdução/adução, os quais podem diferir em valores brutos, porém apresentam correlação.

REVISÃO DA LITERATURA

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Articulação coxofemoral*

A articulação coxofemoral é do tipo sinovial, formada pela cabeça do fêmur com o acetábulo (PASQUINI et al., 2003; LIEBICH et al., 2009). Os seus três principais estabilizadores são o ligamento da cabeça femoral, a cápsula articular e a borda acetabular dorsal (HOLSWORTH e DeCAMP, 2003). Por sua vez, os músculos que proporcionam suporte e função para essa articulação são: os flexores, responsáveis pela fase de balanço da locomoção; os extensores, que são os de maior atuação e importantes na fase de propulsão da locomoção; os rotatórios externos e internos; e os abdutores e adutores (WENDELBURG, 1998).

Por ter um desenho de bola e soquete (esferoidal), a articulação coxofemoral apresenta a maior amplitude de movimento de todas as articulações do membro pélvico (WENDELBURG, 1998). Essa articulação apresenta três graus de liberdade, ou seja, flexão-extensão, abdução-adução e rotação interna-externa; além da circundação (WENDELBURG, 1998; PASQUINI et al., 2003; WHITING e ZERNICHE, 2008). A translação lateral consiste em quarto grau de liberdade que, quando em excesso, pode promover a incongruência articular (WENDELBURG, 1998). Segundo Perry (2005), a mobilidade multidirecional da articulação coxofemoral faz com seja susceptível a disfunções em todos os três planos de movimento. No plano sagital os desvios potenciais incluem extensão inadequada e flexão excessiva ou inadequada, e nos outros planos podem ocorrer adução excessiva, abdução e rotação transversa (interna ou externa).

A articulação coxofemoral pode ser acometida por diversas afecções, incluindo as de origem traumática, hereditária, congênita, degenerativa, infecciosa e neoplásica (WALLACE e OLMSTEAD, 1995). Em pequenos animais podem ser citadas com mais frequentes: as luxações de origem traumática, em que o deslocamento da cabeça femoral do acetábulo pode ocorrer especialmente nas direções craniodorsal, caudodorsal ou ventral; a displasia coxofemoral, resultante de um desenvolvimento ou crescimento anormal da articulação coxofemoral e considerada a mais importante causa de osteoartrite em cães; as fraturas da cabeça ou colo femoral; a necrose asséptica da cabeça e colo femorais, que ocorre em cães jovens de raças pequenas; as fraturas acetabulares (WALLACE e OLMSTEAD, 1995; WENDELBURG, 1998; HOLSWORTH e DeCAMP, 2003; PIERMATTEI et al., 2006; SCHULZ, 2007). Doenças similares ocorrem em pacientes humanos, porém com particularidades relacionadas à espécie (WALLACE e OLMSTEAD, 1995; LaVELLE, 2003; WHITING e ZERNICHE, 2008).

2.2 *Conceitos da análise cinemática em biomecânica*

A análise cinemática permite avaliar vários parâmetros, incluindo os ângulos articulares, a velocidade angular, dados temporais, a velocidade do indivíduo, a velocidade segmentar de cada porção do membro, o comprimento e a frequência do passo (McLAUGHLIN, 2001; WHITTLE, 2007; GORDON-EVANS, 2012).

Embora a análise da locomoção possa ser realizada de forma visual e subjetiva, existem vários sistemas de registro de dados cinemática (SELLERS e CROMPTON, 1994; GILLETTE e ANGLE, 2008; CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001), sendo o sistema óptico um dos mais usados nos estudos clínicos e experimentais (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001; GILLETTE e ANGLE, 2008). Este utiliza câmeras de vídeo para capturar o movimento dos marcadores passivos (reflexivos) ou ativos (diodos emissores de luz), que são aplicados em pontos anatômicos pré-determinados (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001; GILLETTE e ANGLE, 2008). Há também um sistema de videogrametria (Dvideow) desenvolvido na UNICAMP, em que o registro é

executado por luz branca com câmeras de vídeo semiprofissionais e tem sido citado como alternativa viável aos sistemas baseado em infravermelhos (ARAÚJO et al., 2005).

O número e a localização dos marcadores são dependentes do propósito da pesquisa (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001; AGOSTINHO et al., 2011). Os marcadores são rastreados em diferentes planos de espaço e tempo, que revelam seus respectivos valores posicionais x, y e z, a partir dos quais programas de software usam fórmulas matemáticas para calcular os dados a serem analisados (GILLETTE e ANGLE, 2008).

Um dos problemas da análise tridimensional é que cada marcador precisa estar visível por no mínimo duas câmeras durante o movimento (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001). Em Medicina Veterinária uma das complicações é a perda da visibilidade dos marcadores mediais durante o movimento quadrupedal (FU et al., 2010). Para vencer essa dificuldade, segundo Clayton e Schamhardt (2001), pode ser usado o método de segmentação virtual, em que os marcadores são empregados de duas formas: marcadores de rastreamento e marcadores virtuais. Três marcadores virtuais são unidos a cada segmento para definir o sistema de coordenada segmentar: dois são orientados ao longo do eixo longo do segmento e o terceiro é perpendicular aquele eixo. Três marcadores de rastreamento não-colineares são colocados no segmento em posições apropriadas para rastrear o movimento do segmento no sistema de coordenada global. As coordenadas dos marcadores de rastreamento são usadas em uma transformação, que converte o sistema de coordenada global para um sistema de coordenada segmentar. Registra-se então em posição de estação as áreas com os marcadores virtuais e de rastreamentos no local, após a qual os marcadores virtuais são removidos. Posteriormente são feitos os registros desejados apenas com os marcadores de rastreamento.

O artefato do tecido mole no método não invasivo pode induzir a erros, devido à inércia ou à deformação e deslizamento da pele, especialmente nas articulações proximais (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001; WHITTLE, 2007; KIM et al., 2011). Pinos de Schanz foram inseridos bicorticalmente no fêmur, tíbia e metatarso no membro pélvico direito de ovinos, para analisar o posicionamento dos marcadores reflexivos de pele em relação ao osso

subjacente, sendo verificado que os erros foram fortemente associados à quantidade de tecido mole presente (TAYLOR et al.; 2005). A avaliação cinemática *in vivo* da articulação do joelho de ovinos, com o emprego de marcadores rigidamente unidos aos ossos, se mostrou mais precisa do que a flexão-extensão efetuada de forma passiva por pesquisadores, indicando que a última pode introduzir variabilidade e erros potenciais ao se determinar a carga tecidual articular (DARCY et al., 2008). Por outro lado, o uso de aparelhos transcutâneos associados com pinos ósseos pode induzir desconforto e alterar o controle do movimento, ou restringir a movimentação da pele e do tecido mole, tendo como consequência a interferência na execução do movimento (LUNDBERG, 1996).

Kim et al. (2011) determinaram os comprimentos do fêmur e tíbia, baseado em marcadores de pele durante os ciclos da locomoção, em seis cães ao trote em esteira (2 m/segundo). Foram calculadas as cinemáticas angulares do coxal, joelho e tarso baseado no marcador do joelho de forma convencional ou posição virtual. Os comprimentos do fêmur e tíbia não foram constantes durante o ciclo da locomoção e os comprimentos mudaram em padrões repetíveis em cada cão. Houve concordância entre os ângulos articulares no tarso, mas não no joelho e coxal, nos quais houve tendência de calcular ângulos menores pelo método convencional. Os padrões de deslocamento do método convencional foram repetíveis durante o ciclo da locomoção. Segundo os autores, o movimento da pele causou os artefatos e isso deve ser considerado durante a análise cinemática do membro pélvico canino.

De acordo com Malek et al. (2012), a colocação de marcadores em pontos anatômicos representa uma fonte de erros na cinemática tridimensional. Os marcadores denominados técnicos permanecem no sujeito durante a captura do movimento, ao passo que os denominados anatômicos são suplementares, usados para ajudar na definição do quadro técnico durante o início da calibração. Embora diversos métodos possam ser usados para a determinação de centros articulares, um dos mais utilizados baseia-se na colocação dos marcadores lateral e medial posicionados na linha articular de flexão e extensão. O centro articular é determinado nestes dois pontos, porém os marcadores mediais são difíceis de visualizar pelas câmeras. Em virtude desses problemas, os autores desenvolveram um apontador, que foi

comparado aos marcadores de pele convencionais. O apontador foi preciso para a localização de pontos virtuais e foi ao menos equivalente método convencional, para a detecção de pontos anatômicos no cão.

Groen et al. (2012) avaliaram a sensibilidade da análise cinemática utilizando a colocação padrão do marcador comparado com o modelo de análise locomotora do membro inferior otimizado (OLGA). Com o sistema OLGA utiliza-se uma trilha estática para construir o modelo e, na sequência, otimiza-se a localização dos centros articulares e orientações segmentais usando uma trilha dinâmica. Além disso, são usados vários filtros e algoritmos. Foram usados pacientes humanos saudáveis em seis sessões. A primeira sessão foi a padrão e as seguintes utilizaram-se deslocamentos de 10 mm do marcador. A média dos quadrados das diferenças foram calculadas para as cinemáticas das sessões de deslocamento com respeito a primeira sessão. O sistema OLGA reduziu os erros relacionados aos deslocamentos dos marcadores da coxa e joelho, mas não os erros devido aos deslocamentos dos marcadores do tornozelo. Desta forma, o sistema OLGA não compensou todos os efeitos, indicando que a colocação precisa do marcador permanece de importância crucial para a adequada análise da locomoção tridimensional.

2.3 *Análise cinemática articular tridimensional*

As trajetórias tridimensionais de marcadores fixados no rádio e terceiro metacarpo do membro direito de três cavalos saudáveis foram avaliados, por Clayton et al. (2004), utilizando seis câmeras. Para tanto, pinos de Steinmann foram inseridos percutaneamente nos ossos do rádio e terceiro metacarpiano. As cinemáticas articulares foram calculadas entre dois segmentos usando o método espacial. Os movimentos do carpo (flexão e extensão) foram similares entre os cavalos, com exceção da abdução/adução.

Araújo et al. (2005) realizaram estudo tridimensional com o sistema Dvideow, em três mulheres adultas saudáveis. Foram avaliados os ângulos articulares do tornozelo, joelho e quadril, bem como a orientação da pelve. Seguinte a reconstrução tridimensional das coordenadas dos marcadores, nas coletas estáticas e durante a locomoção, os dados foram

processados pelo Matlab. Durante toda a fase de apoio notou-se adução, ou valgo dos joelhos, e rotação externa; ao passo que no balanço verificou-se diminuição da amplitude de adução e rotação externa. Os quadris exibiram posicionamento neutro durante a fase de apoio em relação à rotação, e na fase de balanço houve rotação externa. O contato inicial foi efetuado em flexão e a amplitude diminuiu progressivamente até atingir extensão para preparar o membro inferior para o balanço. Depois notou-se aumento progressivo da flexão para o avanço do membro. A acurácia do método foi de 0,2%.

Tapper et al. (2006) caracterizaram o movimento articular tridimensional do joelho direito de oito ovinos Suffolk hípidos, fêmeas, 3 anos de idade, durante o caminhar, caminhar inclinado e trote em esteira. Além disso, foi verificada a variabilidade intra-indivíduos e entre indivíduos. Os ovinos foram treinados diariamente por 8 semanas antes do estudo. Placas ósseas de aço foram implantadas cirurgicamente na tíbia e fêmur, quatro semanas antes do teste. No dia do exame, foi usado um anestésico de curta ação e postes de aço foram unidos cirurgicamente as placas ósseas. Marcadores reflexivos foram unidos a extremidade de cada poste. Um marcador circular foi fixado no lado lateral do casco direito para determinar as fases de apoio e balanço. Utilizou-se sistema com quatro câmeras. Sistemas de coordenadas anatômicas foram estabelecidos para cada osso e o movimento articular foi calculado dentro do sistema de coordenada articular. Com isso foram obtidos os ângulos de flexão/extensão, abdução/adução e rotação externa/interna; e posições articulares em três direções, ou seja, médio-lateral, posterior/anterior e inferior/superior. As origens dos sistemas de coordenadas anatômicas foram localizadas no centro das inserções do ligamento cruzado cranial dentro da tíbia e fêmur. As posições articulares representam as distâncias entre essas inserções nas direções específicas. A movimentação cinemática foi similar entre os métodos de locomoção e a variabilidade intra-sujeito foi pequena. Os padrões de movimento foram similares aos relatados para o modelo de joelho canino.

A cinemática dinâmica tridimensional foi usada, por Tapper et al. (2007), para avaliar o impacto da transecção combinada dos ligamentos cruzado cranial e colateral medial no joelho de oito ovinos, Suffolk misto, fêmeas, três anos de idade, após 20 dias de pós-operatório. O procedimento

tridimensional foi o previamente descrito. Embora o desvio tibial anterior tenha sido observado em todos os animais com transecção, ocorreu alta variabilidade entre ovinos, na posição inicial, na magnitude das mudanças e nas mudanças com o tempo. Desta forma, a estatística precisa ser interpretada com cuidado e mudanças individuais precisam ser consideradas.

Torres et al. (2010) avaliaram o joelho, de seis cães hígidos adultos, de forma tridimensional usando o sistema de coordenada articular e compararam com os modelos linear e segmental. Foram usados 10 marcadores que foram capturados por sistema cinemático de seis câmeras arranjadas ao redor de uma plataforma de locomoção. Os dados foram registrados e analisados pelo programa de análise de movimento Motus da Vicon. Inicialmente foi coletada uma trilha estática e depois quatro marcadores foram removidos durante as subsequentes trilhas dinâmicas. Estes marcadores foram matematicamente reconstruídos da trilha estática inicial e foram usados como marcadores virtuais durante as trilhas dinâmicas. Cada modelo proporcionou dados equivalentes de flexão e extensão, porém o método tridimensional proporcionou dados adicionais de abdução/adução e interno/externo. Diferenças na forma de onda sagital foram encontradas entre os métodos e dias de teste para cada cão no caminhar e trote com análise de Fourier e GIFA (Generalized Indicator Function Analysis). Após a normalização diferenças foram menores com análise de Fourier e não se alteraram com GIFA. As diferenças entre métodos detectados com a GIFA foram atribuídas a variações na localização dos marcadores. Além disso, enquanto GIFA identificou diferenças individuais, quando todos os cães foram combinados nenhuma diferença significativa existiu entre os métodos.

FU et al. (2010) avaliaram modelo cinemático tridimensional do membro pélvico canino, por uso de um sistema de coordenada articular. Um total de 17 marcadores reflexivos foram posicionados no membro pélvico direito de seis cães, que foram captados com uso de oito câmeras. Inicialmente a trilha estática ou anatômica foi registrada com todos os marcadores visíveis. Depois quatro marcadores foram removidos durante as subsequentes trilhas dinâmicas. Estes marcadores removidos foram matematicamente reconstruídos da trilha estática. Para a pélvis o sistema de coordenadas locais foi definido pela asa do ílio direito, asa do ílio esquerdo, tuberosidade isquiática direita,

tuberosidade isquiática esquerda, sendo que a origem foi na asa ilíaca direita para o membro direito e a asa ilíaca esquerda para o membro esquerdo. Três vetores de unidade não ortogonais descreveram o movimento articular. Os cães foram estudados ao caminhar e ao trote. Sistemas de coordenadas global e local foram estabelecidos e foi produzido um modelo de corpo rígido segmental do membro pélvico. Medidas cinemáticas articulares tridimensionais dinâmicas foram coletadas da coxofemoral, joelho e tarso nos planos sagital (flexão/extensão), transverso (rotação interna/externa) e frontal (abdução/adução).

Beveridge et al. (2011) usaram modelo ovino para avaliar o efeito da meniscectomia lateral completa na cinemática do joelho. Nove ovinos foram submetidos a artrotomia unilateral (n=4) ou artrotomia e meniscectomia (n=5). Cinemática foi obtida antes da cirurgia e de forma seriada até 20 semanas pós-operatória. O exame cinemático tridimensional foi o previamente descrito de placa e poste com marcador, com o uso de quatro câmeras. No final de 20 semanas, a meniscectomia causou abdução aumentada do joelho e translação tibial medial. As localizações do novo contato tibiofemoral no compartimento meniscectomizado qualitativamente correspondeu as localizações sujeito-específico de dano condral precoce.

Frank et al. (2012) realizaram estudo em ovinos com a suposição de que o grau de desenvolvimento da osteoartrite, seguinte a completa lesão do ligamento colateral medial/ligamento cruzado cranial, pode variar diretamente com o grau de anormalidade biomecânica entre indivíduos. Três grupos foram usados: 17 normais, 9 com a lesão e 9 “sham”, compostos de fêmeas, de 3 a 4 anos, Suffolk misto. Por análise cinemática tridimensional foram avaliadas por 100 passadas de cada animal, antes da cirurgia e com 4 e 20 semanas de pós-cirúrgico, usando o sistema previamente descrito de poste implantável. A análise de regressão linear revelou que mudanças em translação médio-lateral foram relacionadas com o nível de degradação articular, representado pelo escore de osteoartrite macroscópica. Mesmo injúrias idênticas dos ligamentos resultaram em variações entre animais em instabilidade e osteoartrite.

2.4 Ovinos

Muitas vezes para melhor compreender a afecção ou o tratamento mais adequado faz-se necessário o uso da experimentação animal, sendo a espécie dependente da natureza da questão a ser pesquisada (SUMNER et al., 2001; POTES et al., 2008; ARNEY, 2009). O ovino tem obtido cada vez mais notoriedade com modelo experimental para humanos por ser tratar de animal de produção e não de estimação, dócil, facilmente disponível, além de ser ainda possível controlar a variabilidade entre animais (POTES et al., 2008; ARNEY, 2009). Adicionalmente, há atualmente uma restrição muito grande pelos Comitês de Ética em experimentação quanto ao emprego de cães. Por esse motivo, pesquisadores nacionais têm efetuado vários estudos experimentais em ovinos (TEIXEIRA et al, 2007; HETTE et al., 2008a, 2008b; HETTE et al., 2009; GOVONI et al., 2012; FARIA et al., 2014), particularmente nos da raça Santa Inês, por serem facilmente obtidos no Brasil, além de serem resistentes, deslanados e com peso às vezes próximo a de um cão de porte grande. Nesse sentido, os mesmos podem ser usados como modelo experimental não somente visando testes para humanos, mas também para cães.

Em outro contexto, é possível observar que as pesquisas envolvendo a articulação coxofemoral de ovinos geralmente a avaliam por métodos de imagem e com respeito ao aspecto histológico e/ou mecânico, com pouca ênfase a análises objetivas da locomoção (MEULEN et al., 2002; McGEE et al., 2004; CARBONE et al., 2006). Vale salientar que o padrão da locomoção do quadrúpede e as diferenças geométricas podem gerar forças e movimentos na articulação coxofemoral que diferem dos humanos. Em um estudo (BERGMANN et al., 1999) usando implante de telemetria foi observado que na locomoção, ao caminhar, a direção do fêmur do ovino variou em relação à de humanos, porém as forças articulares mostraram direções similares relativas ao osso. Foi ainda referido que os quadrúpedes podem variar a carga na articulação coxofemoral para uma maior extensão, provavelmente pela divisão do centro de gravidade não apenas para o lado, mas também para frente e para trás. Sendo assim, estudos do movimento articular dinâmico, tais como os efetuados por meio de análise cinemática podem auxiliar nessa compreensão (GILLETTE e ANGLE, 2008; GORDON-EVANS, 2012).

Padrões cinemáticos obtidos no plano sagital foram avaliados, por Faria et al. (2014), em ovinos hígidos da raça Santa Inês com dois grupos de idade, tanto para os membros torácicos como pélvicos. Dentro de cada grupo, não foram observadas diferenças entre os membros direito e esquerdo. No grupo 1 (idade de 8 a 18 meses) os valores de ângulo máximo, ângulo mínimo e deslocamento angular da articulação coxofemoral foram, respectivamente, 156,48 ($\pm 9,01$), 89,22 ($\pm 6,26$) e 18,30 ($\pm 7,32$). Para o grupo 2 (mais de 5 anos de idade) os valores de ângulo máximo, ângulo mínimo e deslocamento angular da articulação coxofemoral foram, respectivamente, 107,63 ($\pm 5,52$), 91,81 ($\pm 5,32$) e 15,82 ($\pm 2,79$).

OBJETIVOS

3 OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo foram:

- propor e avaliar modelo cinemático tridimensional não invasivo da articulação coxofemoral de ovinos hígidos da raça Santa Inês, usando sistema de coordenada articular;
- obter os ângulos mínimo, máximo e deslocamento angular de flexão/extensão e abdução/adução por dois modelos sagitais (linear e segmentar), para compará-los e correlacioná-los com os obtidos pelo modelo tridimensional.

MATERIAL E MÉTODOS

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada no trabalho foi aprovada pela Câmara de Ética em Experimentação Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista (Unesp) – Botucatu (nº.157/2012) (Anexo 1). O estudo foi efetuado no Centro Veterinário de Análise de Movimento (CEVAM) da mesma instituição.

4.1 Animais e ambiente de experimentação

Foram utilizados oito ovinos hígidos de porte semelhante, não castrados, fêmeas, com idade entre 2 e 4 anos, com massa corpórea entre 26,7 e 32,8 kg (média = 30,1 kg DP= 1,9 kg). A idade foi estimada pela avaliação da dentição, em que dois a seis dentes incisivos decíduos correspondem a animais entre 24 e 48 meses (BRAGA, 2011). Todos os animais foram selecionados de uma única propriedade e numerados de 1 a 8. O cabrestamento foi efetuado na própria propriedade por 30 dias e, após esse período, os ovinos foram transportados à universidade e confinados equitativamente em 4 baias.

Todos os animais foram submetidos a exame clínico geral, ortopédico (palpação e movimentação passiva) e radiográfico para descartar quaisquer alterações osteomusculares que pudessem interferir com o experimento. Antes da realização do exame cinemático, os animais foram treinados a se locomoverem em esteira, sendo conduzidos sempre pelo mesmo condutor. Para tanto, foram inicialmente adaptados ao novo ambiente e

condutor por aproximadamente uma semana, sendo diariamente conduzidos com o cabresto. Após esse período, foram efetuados três a quatro treinos em esteira, a cada 48 horas. Em torno de sete dias antes das gravações, todos os animais foram casqueados.

4.2 Exames radiográficos e protocolo anestésico

Para realização dos exames radiográficos, os animais foram submetidos a anestesia geral inalatória. Para tanto, os ovinos foram mantidos em jejum por um período de 48 horas. Como medicação pré-anestésica foi utilizado maleato de acepromazina (Acepran® - Vetnil, Louveira/SP) na dose de 0,05 mg/kg, por via intramuscular. A anestesia foi induzida com propofol (Propovan® - Cristália, Itapira/SP) na dose de 5mg/kg, por via endovenosa, e mantida com isofluran (Isoforine® - Cristália, Itapira/SP) por via inalatória.

Foram efetuadas as seguintes projeções radiográficas, ventrodorsal, craniocaudal e médio-lateral. A projeção ventrodorsal compreendeu a pélvis e o terço proximal da tíbia, com os membros pélvicos paralelos, estendidos caudalmente e rotacionados medialmente, com as patelas posicionadas no sulco troclear. As articulações fêmoro-tíbio-patelar e tibiotársica foram abrangidas na projeção craniocaudal. Para a projeção mediolateral o ovino foi mantido em decúbito lateral, com o membro a ser radiografado mantido em posição anatômica, tendo sido incluídos os ossos do fêmur e tíbia. Os exames foram realizados em equipamento digital GE Health DR-F. A técnica variou entre 60 e 90/KV e 5,0 e 6,4 mAs, na dependência do tamanho de cada ovino.

As imagens foram avaliadas por radiologista, para descartar a presença de alterações que pudessem interferir com o estudo, tais como: má-formação, incongruência articular, sinais de doença articular degenerativa, fraturas ou fissuras.

4.3 Análise cinemática

Para a análise da cinemática foi utilizado o Sistema Vicon com oito câmeras, com frequência de 120Hz e com sensor de 1.0 megapixel (Peak

Performance Technologies Inc.; Colorado, USA). As câmeras foram posicionadas em círculo ao redor da área de captura.

A calibração do equipamento foi realizada de forma dinâmica utilizando haste de calibração com cinco pontos de Led e distâncias pré-estabelecidas. Foi determinado um espaço de teste tridimensional de 4 m em comprimento, 2,5 m em largura e 2 m em altura, no qual estava posicionada uma esteira originalmente produzida para cães, com dimensões totais de 70 cm x 200 cm com área útil de 50 x 160 cm (Esteira Master - Gesan Equipamentos Médicos Esportivos; Mooca, SP).

Foram utilizados oito marcadores refletores esféricos (1,0 cm em diâmetro) e dois *clusters* com 2 marcadores unidos por uma agulha hipodérmica 30x7 (Figura 1), que foram aplicados por um único pesquisador, utilizando adesivo de cianocrilato. Os marcadores foram posicionados, nos lados direito e esquerdo, nas seguintes localizações: ponto dorsal da crista ilíaca, proeminência lateral da tuberosidade isquiática, trocânter maior do fêmur e região central do quadríceps. Os *clusters* foram colocados, nos lados direito e esquerdo, no epicôndilo lateral do fêmur (Figura 2). Inicialmente foi realizada uma captura estática com todos os marcadores visíveis. Na sequência, os marcadores externos dos clusters foram removidos para a captura das trilhas dinâmicas. Os marcadores e suas posições estão descritos na Tabela 1.



Figura 1 – Representação de *cluster* confeccionado a partir de dois marcadores e uma agulha hipodérmica.

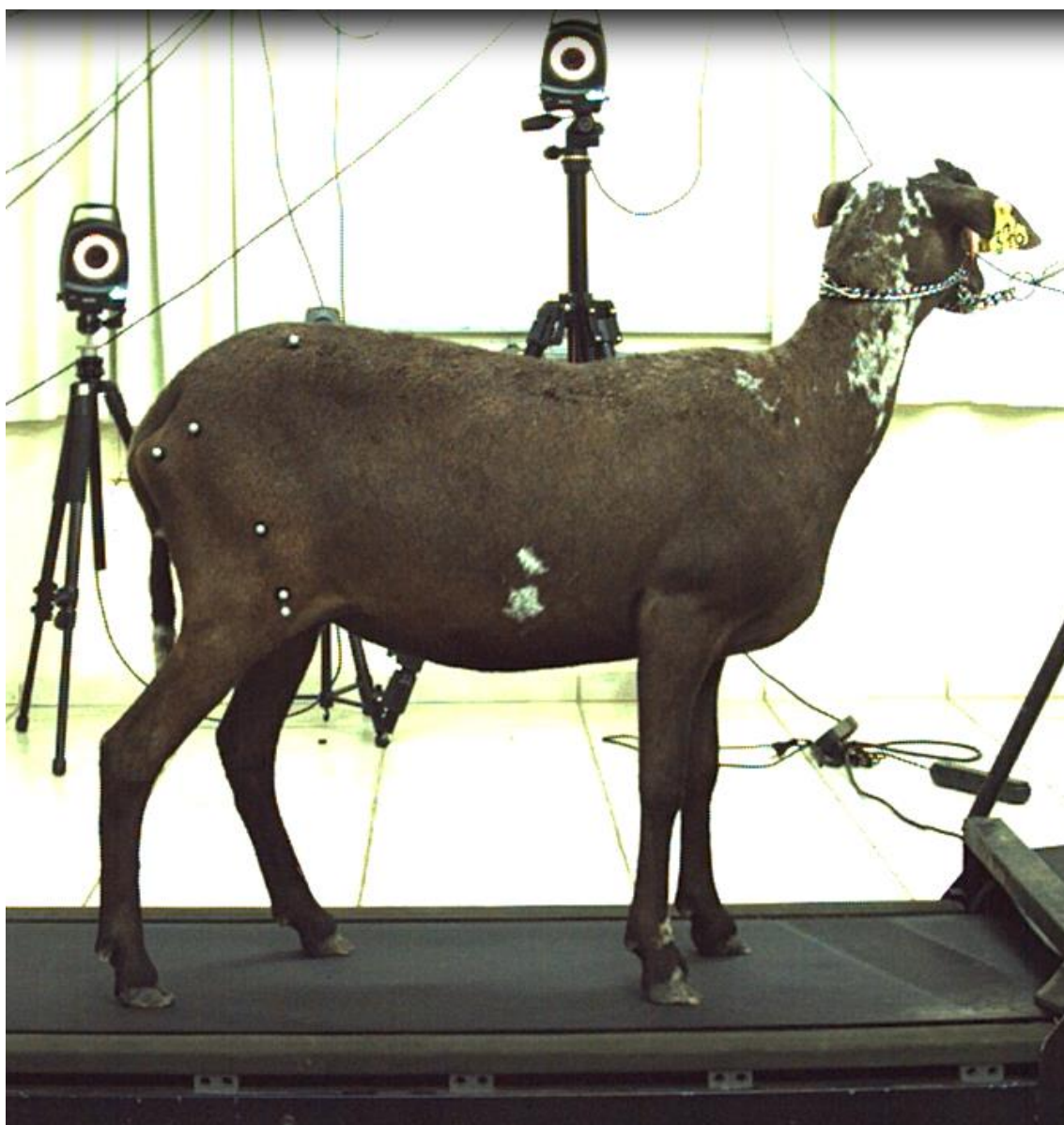


Figura 2 – Marcadores e *clusters* posicionados para a análise cinemática da articulação coxofemoral de ovino da raça Santa Inês. Animal posicionado sobre esteira.

Tabela 1 – Localização dos marcadores e *clusters* para modelo cinemático da articulação coxofemoral de ovinos hígidos da raça Santa Inês.

Segmento	Marcador/Cluster	Localização
Pélvis	cid	Crista ilíaca direita
	tid	Tuberosidade isquiática direita
	cie	Crista ilíaca esquerda
	tie	Tuberosidade isquiática esquerda
Fêmur	tmd	Trocânter maior direito
	eldd**	Epicôndilo lateral distal direito
	elpd ⁺	Epicôndilo lateral proximal direito
	qd	Quadríceps direito
	tme	Trocânter maior esquerdo
	elde**	Epicôndilo lateral distal esquerdo
	elpe ⁺	Epicôndilo lateral proximal esquerdo
	qe	Quadríceps esquerdo

*Marcadores removidos após a captura estática.

⁺Marcadores dos clusters

Os animais foram então estimulados a caminhar na esteira, em velocidade constante de 1 m/s. Uma vez que a velocidade foi alcançada, aguardou-se um período de 1 minuto e, em seguida, foi realizada a captura. Após a captura dinâmica, as trilhas foram processadas e as trajetórias dos marcadores removidos foram reconstituídas matematicamente a partir da captura estática, formando a trilha dinâmica tridimensional (Figura 3). O início da fase de apoio e o início da fase de balanço foram determinados mediante a identificação visual, usando os registros dos vídeos.

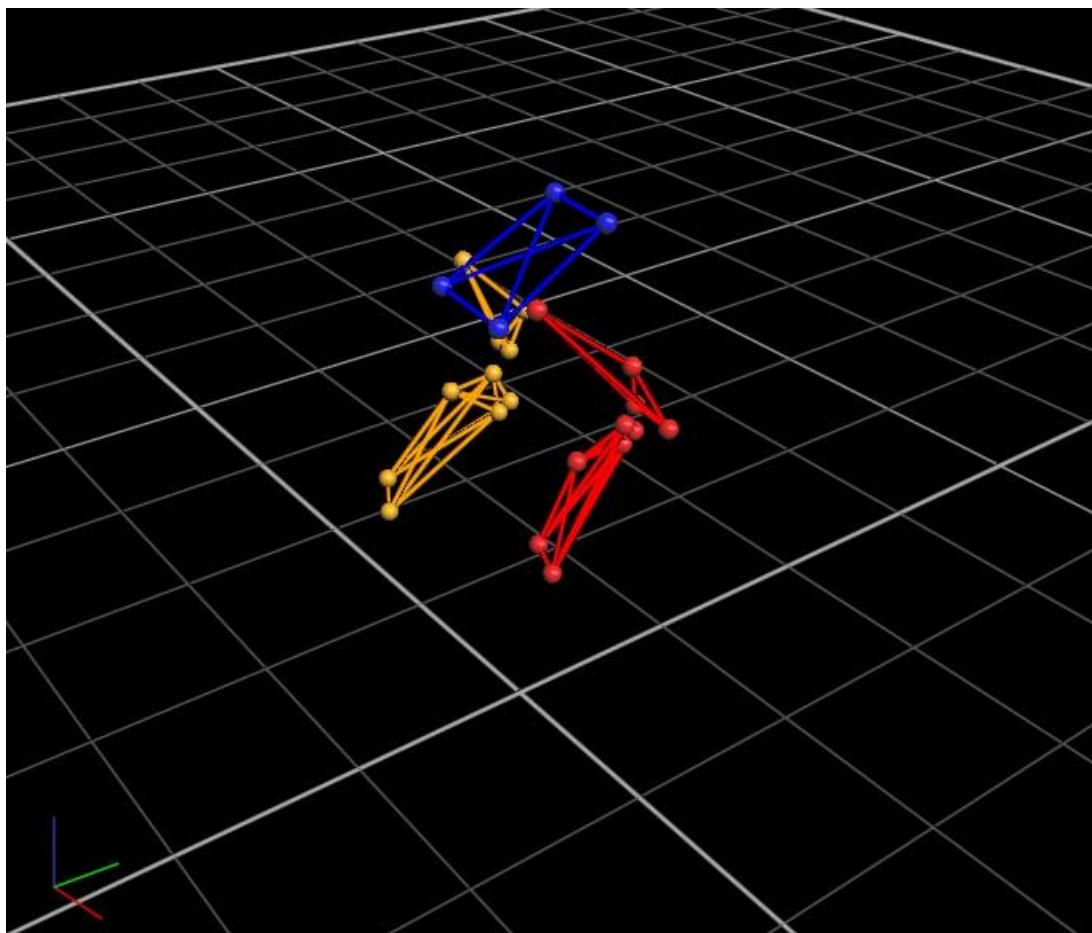


Figura 3 – Modelo tridimensional dinâmico reconstruído a partir da captura estática demonstrando em azul o segmento da pelve, em vermelho os segmentos do fêmur e tibia direita e em amarelo os segmentos do fêmur e tibia esquerda.

Para o cálculo dos ângulos foram aplicados três modelos matemáticos, um sistema de coordenada articular (SCA) e dois modelos sagitais, sendo um linear (MSL) e um segmentar (MSS). Os modelos MSL e MSS permitiram a captura dos ângulos de flexão/extensão e abdução/adução, ao passo que o modelo SCA permitiu a captura dos ângulos de rotação interna/externa, abdução/adução e flexão/extensão das articulações coxofemorais de forma simultânea. Para cada um dos modelos, em cada animal, os 10 primeiros passos válidos de cada lado foram normalizados de contato a contato do membro, em 50 frames pelo programa de análise de movimento Polygon® (Vicon) e, em seguida, exportados para tabelas do Excel para elaboração dos gráficos e obtenção dos ângulos.

Os valores obtidos para os ângulos máximos e mínimos de flexão e extensão, para todos os modelos foram transformados pela fórmula: Ângulo (α) = 180° - Valor obtido. O ângulo α está representado na Figura 4. Os ângulos de abdução/adução do modelo SCA foram transformados pela fórmula: Ângulo (β) = 90° + Valor obtido, ao passo que dos modelos MSL e MSS foram transformados pela fórmula: Ângulo (β) = 180° - Valor obtido. O ângulo β está representado na Figura 5.

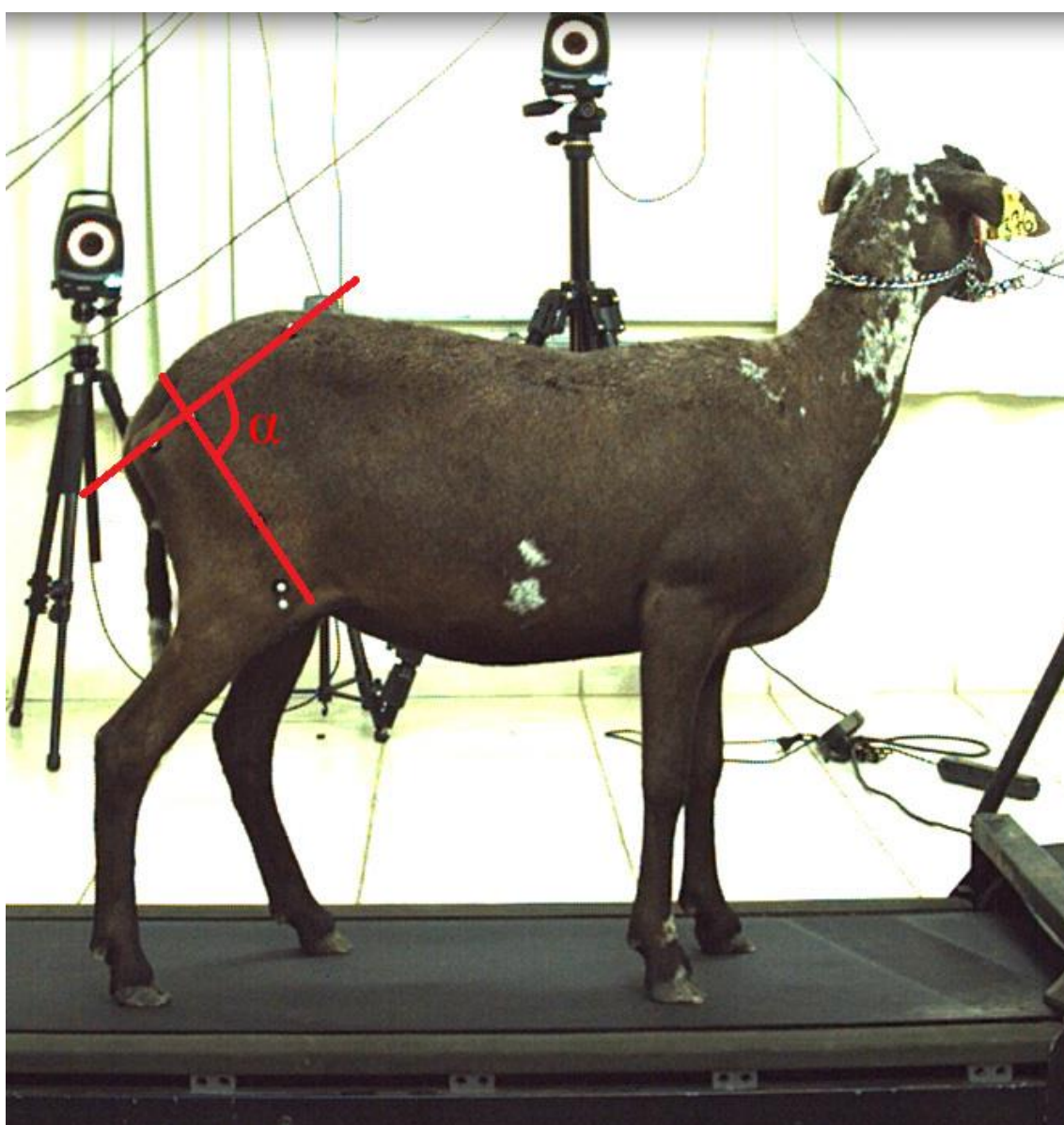


Figura 4 – Ângulo α representado após as transformações.

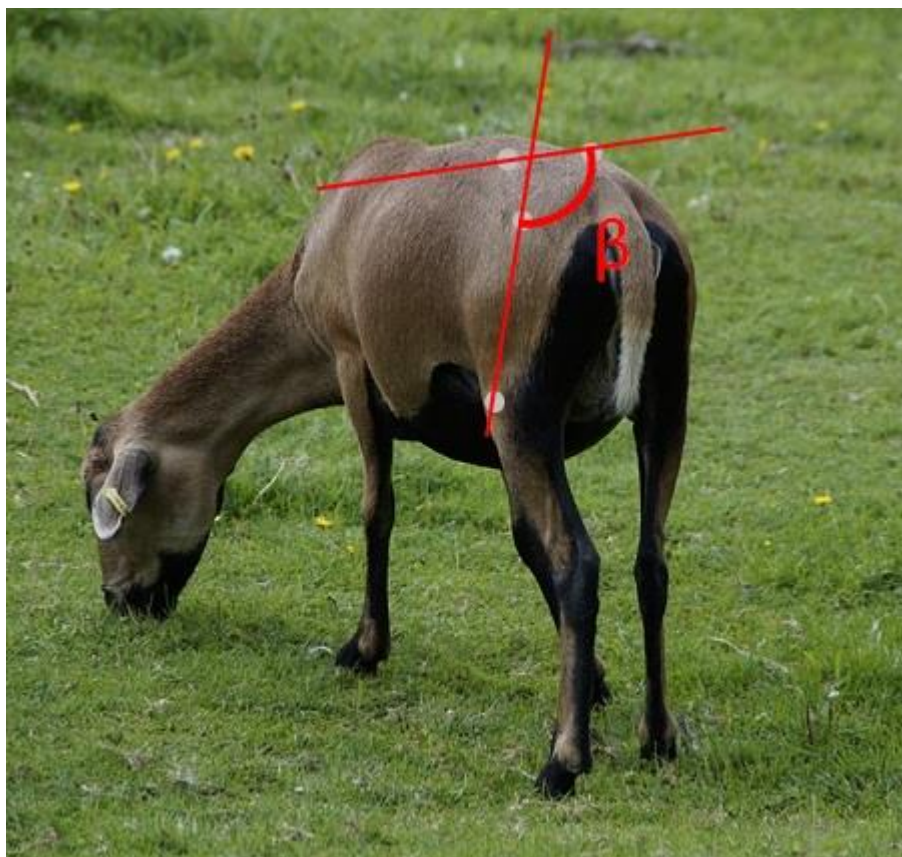


Figura 5 – Ângulo β representado após as transformações.

Sistema tridimensional de coordenada articular (SCA)

Neste modelo os segmentos da pélvis e do fêmur foram definidos com base no estabelecido por outros autores (FU et al., 2010). A localização dos marcadores nos segmentos corpóreos foi determinada com base em cinco parâmetros principais: repetibilidade, visibilidade, não colinearidade, movimento da pele e reconstrução dos planos clínicos.

Os cálculos dos ângulos da articulação coxofemoral foram realizados pela interação dos vetores de 4 sistemas de coordenadas locais (SCL), sendo 2 para a pélvis e 1 para cada fêmur. A origem dos SCL da pélvis foi no ponto dorsal da crista ilíaca (direita e esquerda) e o do fêmur situado sobre o trocânter maior (direito e esquerdo) (Figura 6).

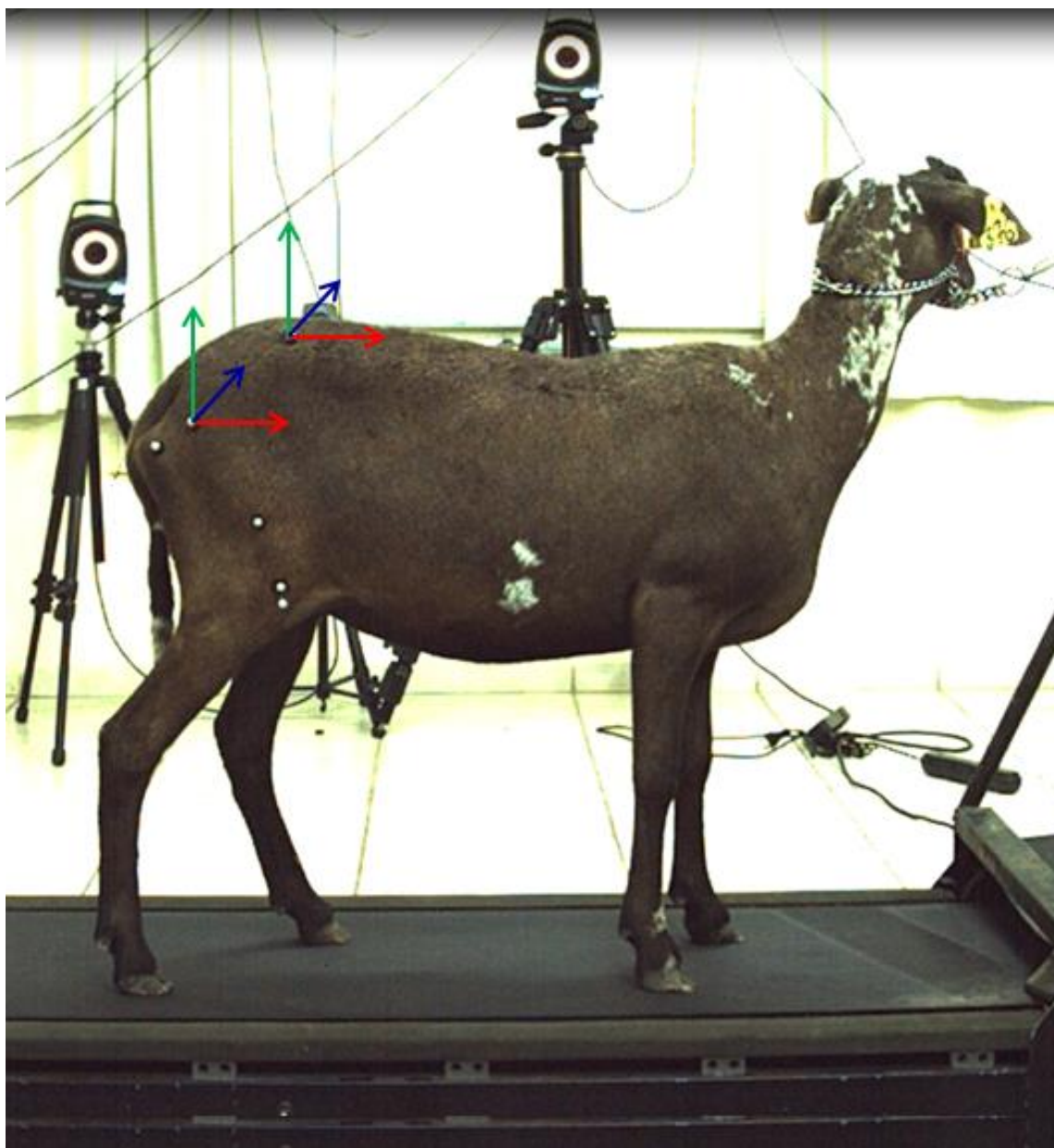


Figura 6 – Representação da origem dos eixos dos sistemas de coordenadas locais (SCL).

Os eixos de SCL da pélvis foram definidos, utilizando os marcadores listados na Tabela 1, onde pelas seguintes fórmulas:

$$Y_{cd} = t_{id} - c_{id}$$

$$Y_{ce} = t_{ie} - c_{ie}$$

$$X_{cd} = c_{id} - c_{ie} \times Y_{cd}$$

$$X_{ce} = c_{ie} - c_{id} \times Y_{cd}$$

$$Z_{cd} = Y_{cd} \times X_{cd}$$

$$Z_{ce} = Y_{ce} \times X_{ce}$$

Onde Y_{cd} = Vetor Y do coxal direito, Y_{ce} = Vetor Y do coxal esquerdo, X_{cd} = Vetor X do coxal direito, X_{ce} = Vetor X do coxal esquerdo, Z_{cd} = Vetor Z do coxal direito e Z_{ce} = Vetor Z do coxal esquerdo.

Os eixos de SCL dos fêmures foram definidos pelas seguintes fórmulas:

$$Y_{fd} = e_{lpd} - t_{md}$$

$$Y_{fe} = e_{lpe} - t_{me}$$

$$X_{fd} = (e_{ldd} - e_{lpd}) \times Z_d$$

$$X_{fe} = (e_{lde} - e_{lpe}) \times Z_e$$

$$Z_{fd} = Y_{cd} \times X_{cd}$$

$$Z_{fe} = Y_{ce} \times X_{ce}$$

Onde Y_{fd} = Vetor Y do fêmur direito, Y_{fe} = Vetor Y do fêmur esquerdo, X_{fd} = Vetor X do fêmur direito, X_{fe} = Vetor X do fêmur esquerdo, Z_{fd} = Vetor Z do fêmur direito e Z_{fe} = Vetor Z do fêmur esquerdo.

Modelo sagital linear (MSL)

Os ângulos de flexão/extensão pelo modelo sagital linear foram calculados pela intersecção da linha formada pelos pontos dorsal da crista ilíaca para a tuberosidade isquiática e pela linha formada pelos pontos trocânter maior do fêmur e epicôndilo lateral do fêmur, tanto para o lado direito

quanto para o lado esquerdo (Figura 7). Já os ângulos de abdução/adução foram determinados pela intersecção da linha formada pelos pontos dorsal da crista ilíaca direita e dorsal da crista ilíaca esquerda com a linha formada pelos pontos trocânter maior do fêmur e epicôndilo lateral do fêmur, tanto para o lado direito quanto para o lado esquerdo (Figura 8).

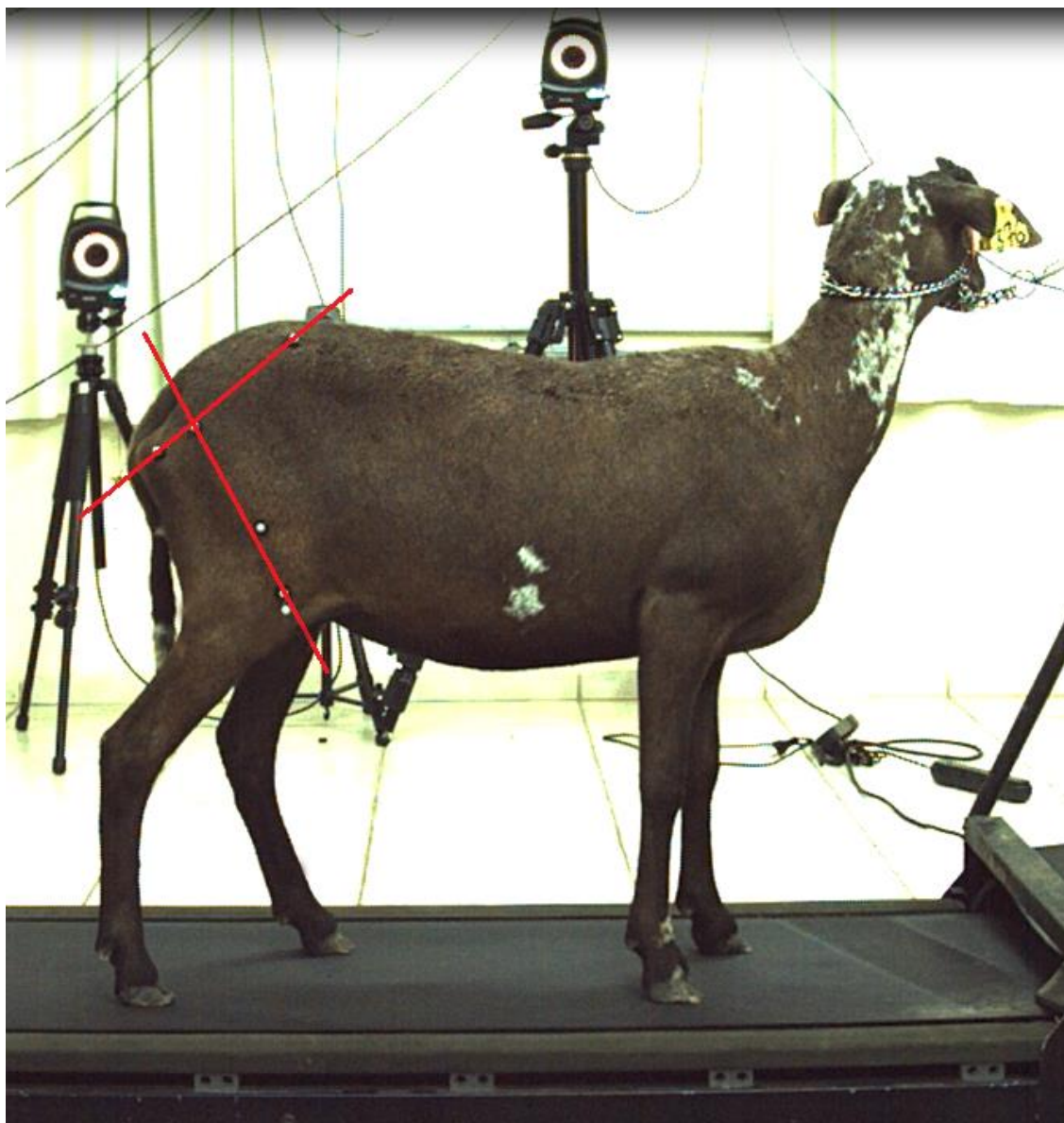


Figura 7 – Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de flexão/extensão obtido pelo modelo sagital linear.

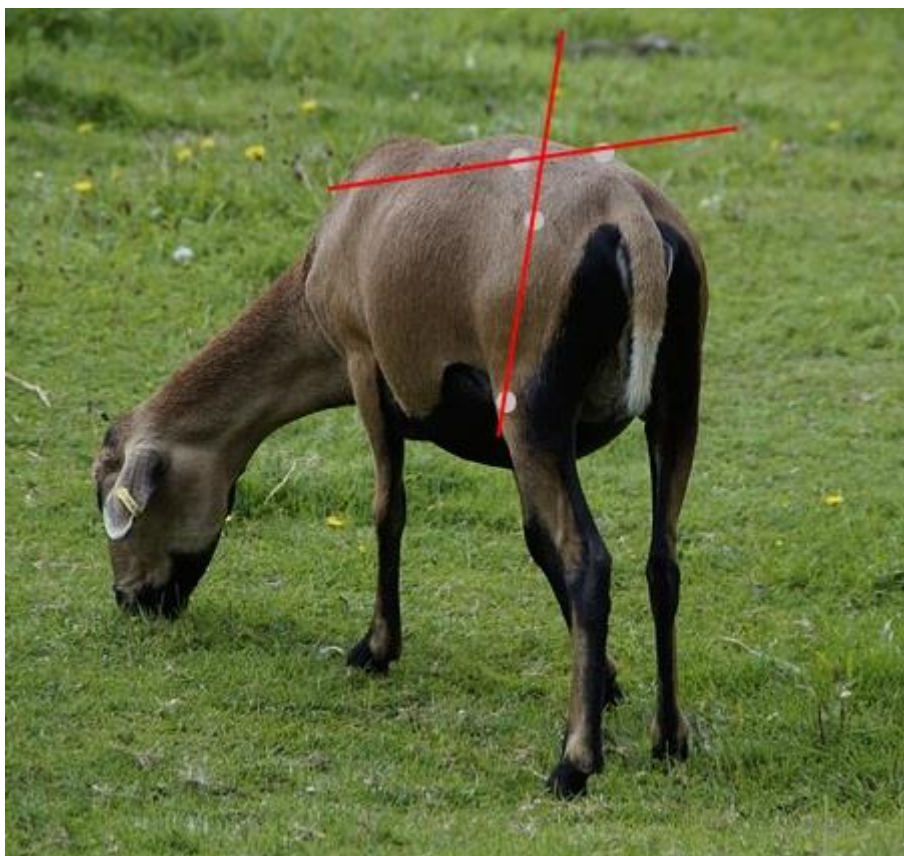


Figura 8 - Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de abdução/adução obtido pelo modelo sagital linear.

Modelo sagital segmentar

Os ângulos de flexão/extensão pelo modelo sagital segmentar foram calculados pela intersecção da linha formada pelos pontos dorsal da crista ilíaca para o trocãter maior e pela linha formada pelos pontos trocãter maior do fêmur e epicôndilo lateral proximal do fêmur, tanto para o lado direito quanto para o lado esquerdo (Figura 9). Já os ângulos de abdução/adução foram calculados pela intersecção da linha formada pelos pontos dorsal da crista ilíaca direita e dorsal da crista ilíaca esquerda e pela linha formada pelos pontos epicôndilo lateral proximal do fêmur e crista iliaca, tanto para o lado direito quanto para o lado esquerdo (Figura 10).

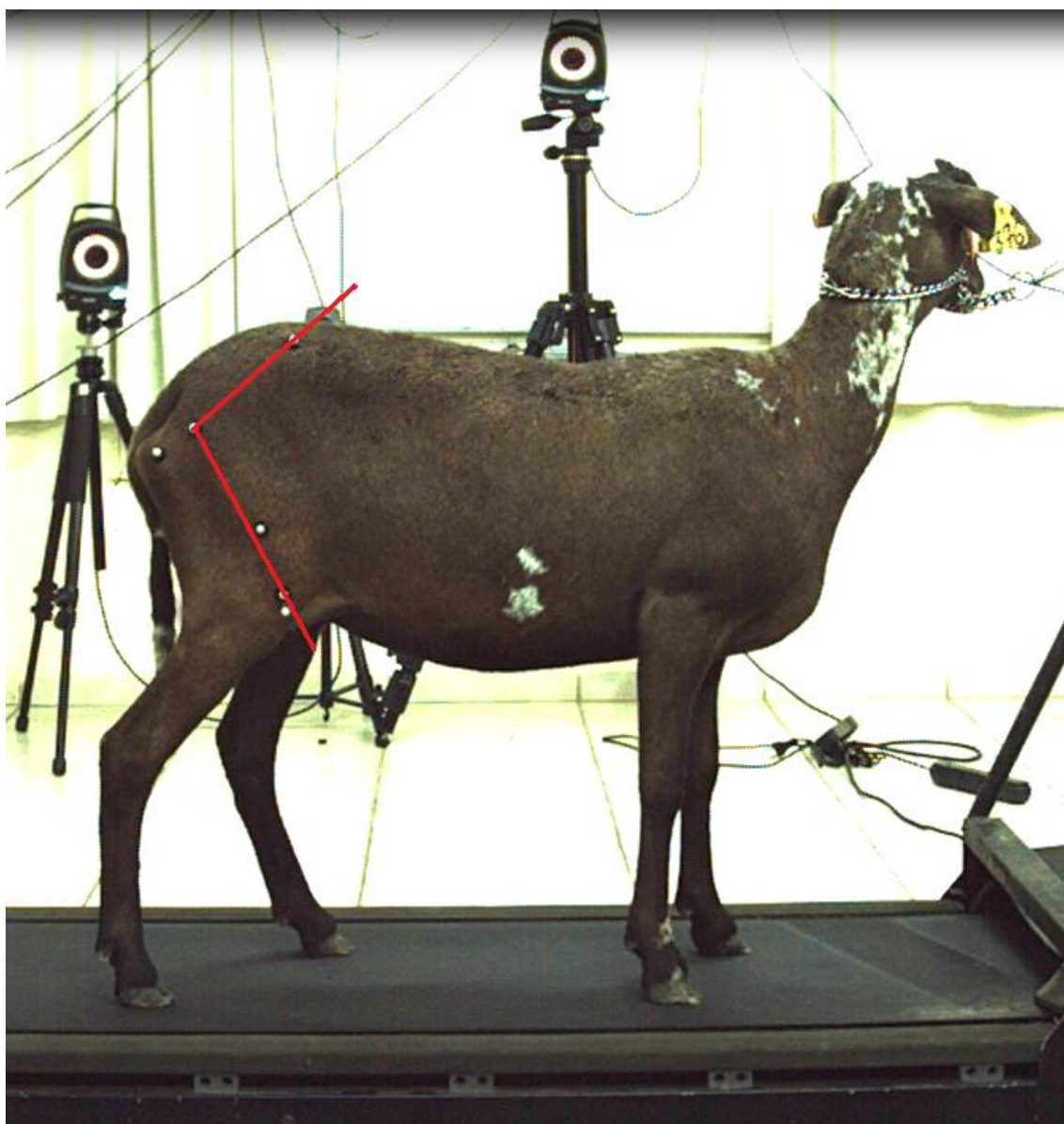


Figura 9 - Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de flexão/extensão obtido pelo modelo sagital segmentar.

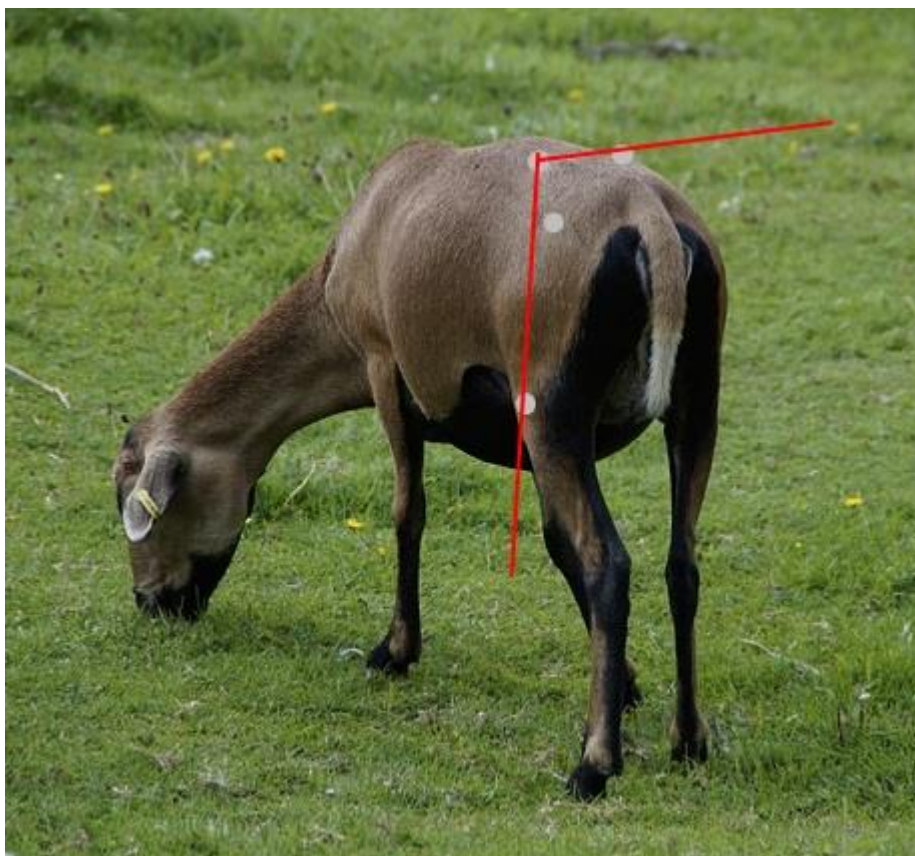


Figura 10 - Representação das linhas utilizadas para o cálculo dos ângulos de abdução/adução obtido pelo modelo sagital segmentar

4.3 *Análise estatística*

Para avaliação da normalidade foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. Para comparação das variáveis cinemáticas entre os membros pélvicos direito e esquerdo dentro de cada modelo (sistema de coordenada articular, modelo sagital linear e modelo sagital segmentar) foi aplicado o teste de Mann-Whitney. Já para a comparação entre os modelos foi usada análise de Friedman seguida pelo teste de Dunn para comparações múltiplas. Diferenças foram consideradas estatisticamente significantes com $p < 0,05$. Para o teste de Dunn o valor de p foram categorizados em: NS ($p > 0,05$), S* ($0,01 < p < 0,05$), S** ($0,001 < p < 0,01$), S*** ($p < 0,001$). Para avaliar a correlação linear entre os três modelos de captura foi utilizado o teste de correlação de Spearman. Foi considerado uma correlação significativa quando $p < 0,05$. Os valores descritivos foram expressos como Média $\pm$ Erro padrão da média.

RESULTADOS

5 RESULTADOS

Os gráficos temporais dos movimentos de flexão/extensão e abdução/adução para os três modelos e rotação interna/externa para o modelo SCA estão dispostos, respectivamente, nas Figuras 11, 12 e 13.

A articulação coxofemoral flexionou e estendeu uma vez durante o ciclo. O ângulo máximo (extensão) ocorreu no final da fase de apoio para então iniciar a flexão. O ângulo mínimo (flexão) foi observado quase no término da fase de balanço, dando início à flexão um pouco antes do contato do membro ao solo.

Foram detectados dois picos de abdução e adução durante o ciclo. O primeiro pico de abdução ocorreu quase no final da fase de apoio e o segundo pico (ângulo máximo) foi notado pouco antes do término da fase de apoio. Já o primeiro pico de adução (ângulo mínimo) ocorreu no primeiro terço da fase de apoio e o segundo pico foi ao término da mesma fase.

Por sua vez, a rotação interna e a externa foram vistas uma vez durante o ciclo. O ângulo máximo (rotação externa) ocorreu ao fim da fase de balanço para então iniciar a rotação interna. O ângulo mínimo (rotação interna) foi observado pouco antes do término da fase de apoio, dando início à rotação externa pouco antes do contato do membro ao solo.

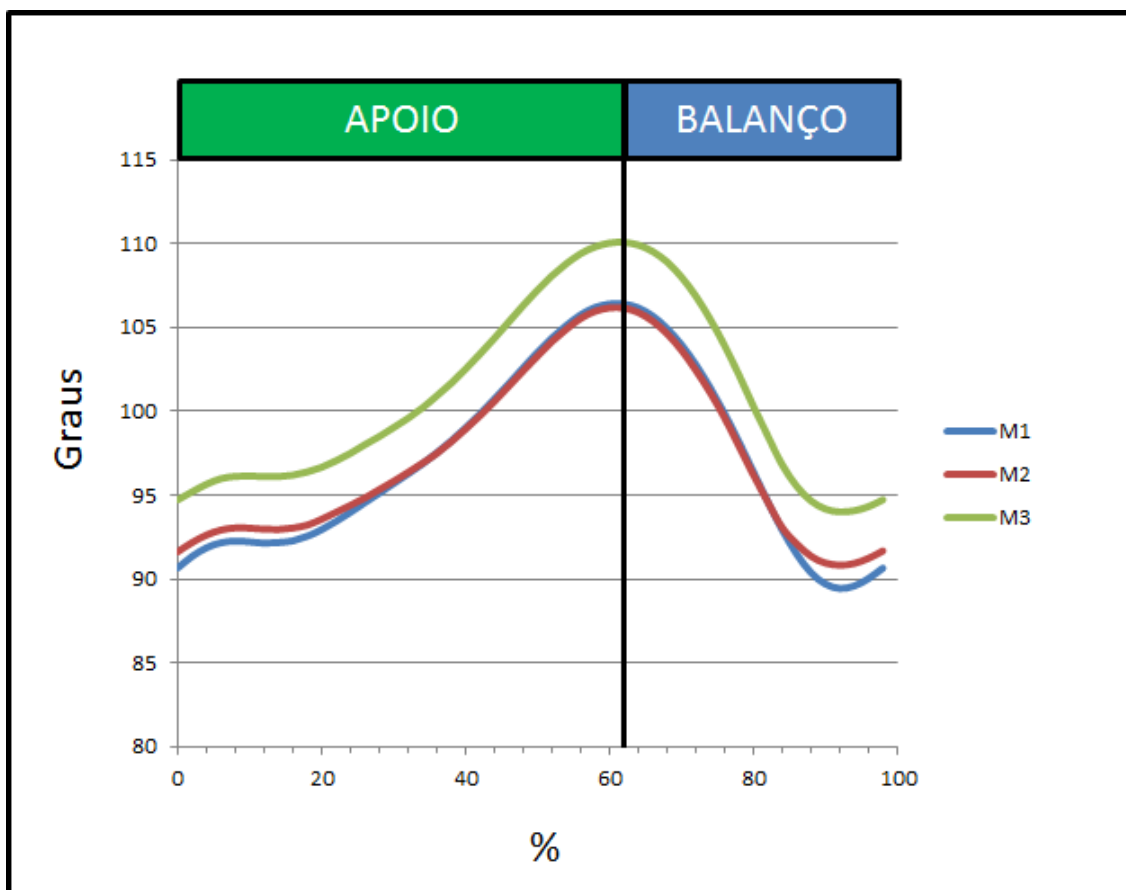


Figura 11 – Gráficos temporais de flexão/extensão do sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS).

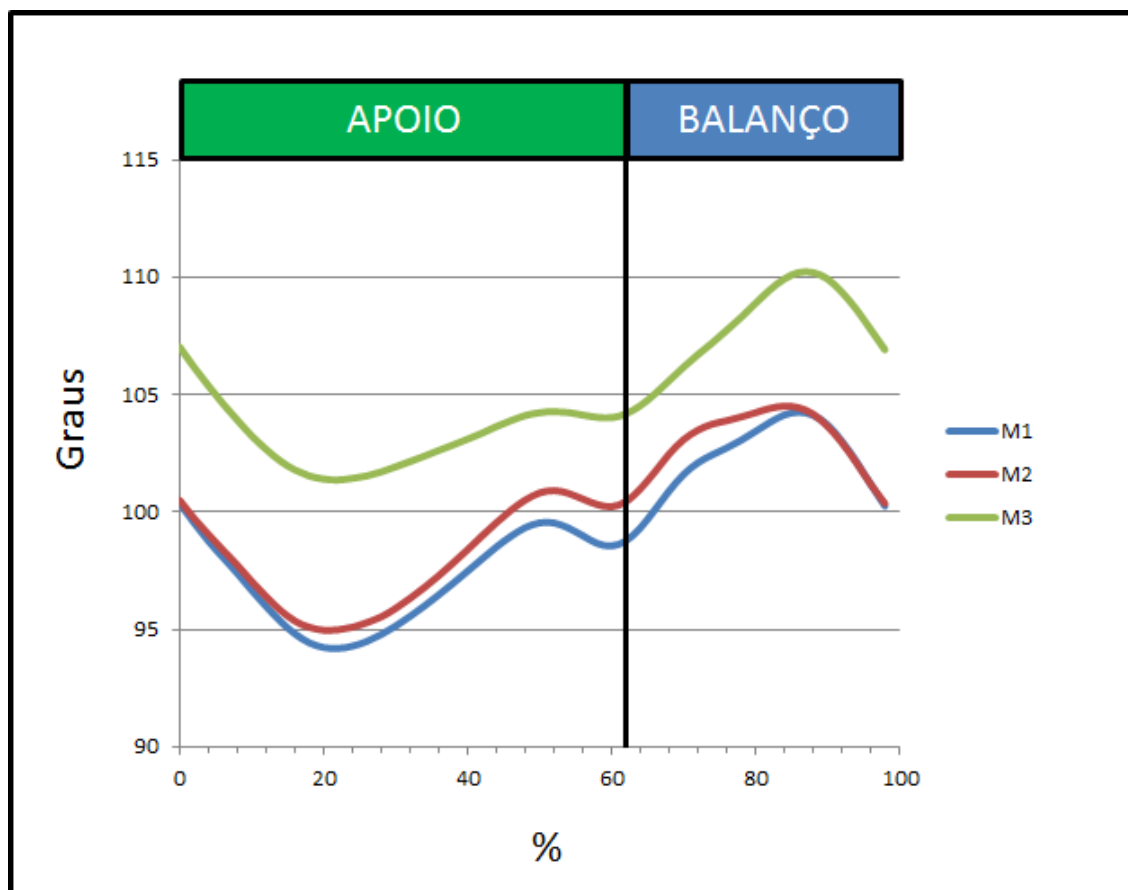


Figura 12 – Gráficos temporais de abdução/adução do sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS).

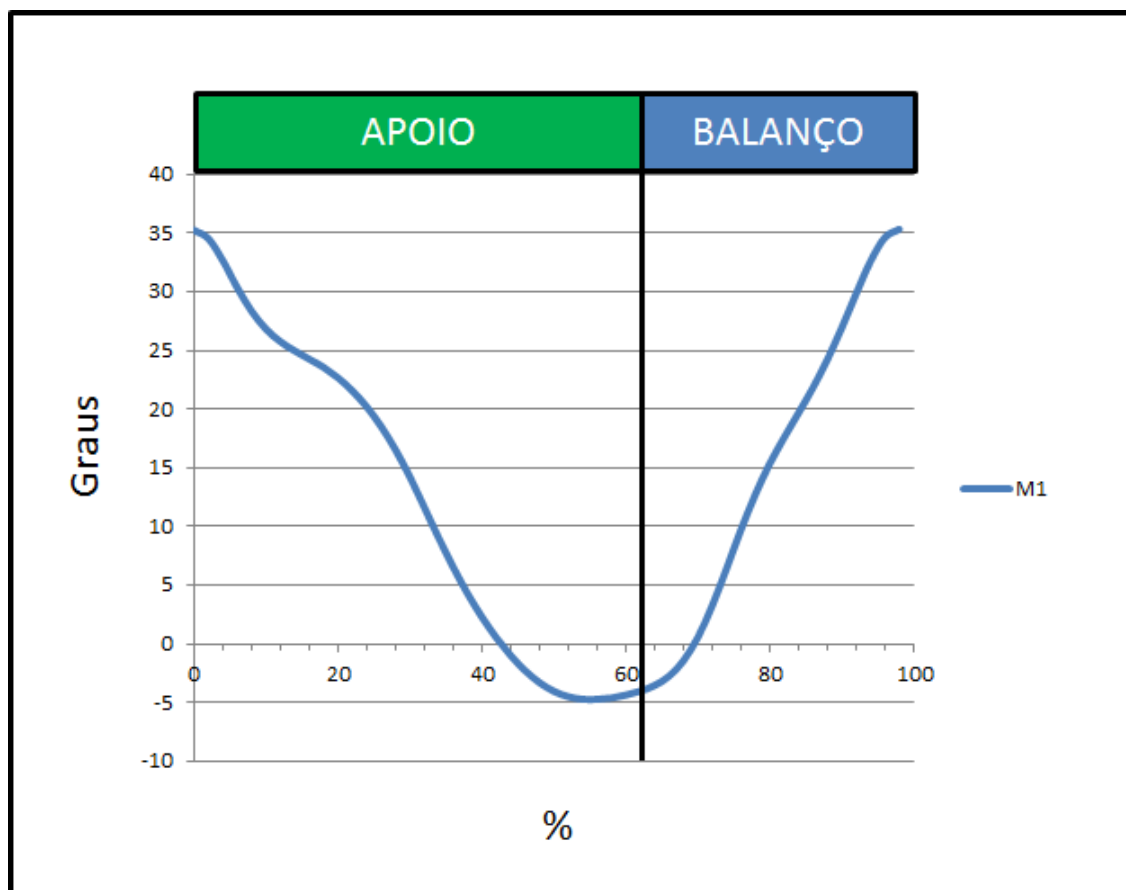


Figura 13 – Gráficos temporais de rotação interna/externa do sistema de coordenada articular (SCA).

Não foram observadas diferenças significativas entre os lados direito e esquerdo para todas as variáveis avaliadas, nos modelos SCA, MSL e MSS. Os valores dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de rotação interna/externa para os lados direito e esquerdo, obtidos por meio do modelo SCA estão dispostos na Tabela 2. Os valores de ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de flexão/extensão para os lados direito e esquerdo, obtidos para cada um dos modelos estão dispostos nas Tabelas 3, 4 e 5. Os valores de ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de abdução/adução para os lados direito e esquerdo, obtidos para cada um dos modelos estão dispostos nas Tabelas 6, 7 e 8.

Ao se comparar os ângulos de flexão/extensão entre os três modelos não foi observada diferença significativa entre SCA e MSL para nenhuma variável avaliada. Foi detectada diferença significativa entre SCA e MSS para o ângulo máximo ($MSS > SCA$) e ângulo mínimo ($MSS > SCA$). Já

entre MSL e MSS foi verificada diferença significativa para ângulo máximo (MSS>MSL), ângulo mínimo (MSS>MSL) e deslocamento angular (MSS>MSL). Os valores das médias ($\pm$ erro padrão da média) e os níveis de significância das comparações encontram-se na Tabela 9. Os gráficos das comparações estatísticas estão dispostos na Figura 14.

Ao se comparar os ângulos de abdução/adução entre os três modelos não foi observada diferença significativa entre SCA e MSL para nenhuma variável avaliada. Foi notada diferença significativa entre SCA e MSS para o ângulo máximo (MSS>SCA), ângulo mínimo (MSS>SCA) e deslocamento angular (SCA>MSS). Já entre MSL e MSS foi detectada diferença significativa para ângulo máximo (MSS>MSL), ângulo mínimo (MSS>MSL) e deslocamento angular (MSL>MSS). Os valores das médias ($\pm$ erro padrão da média) e os níveis de significância das comparações encontram-se na Tabela 10. Os gráficos das comparações estatísticas estão dispostos na Figura 14. Na Figura 15 está ilustrado o deslocamento cranial do marcador do quadríceps pela movimentação da pele.

Na correlação dos ângulos máximos, mínimos e deslocamentos de flexão/extensão, entre os modelos, foi identificada correlação significativa para todas as variáveis entre SCA e MSL, SCA e MSS, MSL e MSS. Os valores de P e os coeficientes de correlação encontram-se na Tabela 11.

Na correlação dos ângulos máximos, mínimos e deslocamentos de abdução/adução, entre modelos, foi observada correlação significativa para todas as variáveis entre SCA e MSL, SCA e MSS. Já entre MSL e MSS foi detectada correlação significativa para o ângulo máximo e ângulo mínimo. Os valores de P e os coeficientes de correlação estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 2 - Comparação dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulo mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de rotação interna/externa, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos com o sistema de coordenada articular (SCA), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Significância
	Média $\pm$ EP	Média $\pm$ EP	
Ângulo Máximo	33,33 $\pm$ 4,56	37,63 $\pm$ 2,63	0,33
Ângulo Mínimo	-8,87 $\pm$ 3,48	0,09 $\pm$ 2,13	0,08
Deslocamento	42,21 $\pm$ 3,13	37,54 $\pm$ 2,10	0,28

Tabela 3 - Comparação dos ângulos máximos ($^{\circ}$) de extensão, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Nível de Significância
	Média $\pm$ EP	Média $\pm$ EP	
SCA	106,06 $\pm$ 1,48	105,43 $\pm$ 1,33	0,72
MSL	105,80 $\pm$ 1,45	105,47 $\pm$ 1,15	0,80
MSS	109,38 $\pm$ 1,63	108,81 $\pm$ 1,35	0,80

Tabela 4 - Comparação dos ângulos mínimos ($^{\circ}$) de flexão, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Nível de Significância
	Média $\pm$ EP	Média $\pm$ EP	
SCA	91,55 $\pm$ 0,64	90,90 $\pm$ 0,48	0,72
MSL	91,60 $\pm$ 0,61	91,26 $\pm$ 0,32	0,88
MSS	93,31 $\pm$ 1,08	92,87 $\pm$ 0,80	0,88

Tabela 5 - Comparação dos deslocamentos angulares (°) de flexão/extensão, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Nível de Significância
	Média ± EP	Média ± EP	
SCA	14,51 ± 1,31	14,53 ± 1,27	0,96
MSL	14,20 ± 1,26	14,21 ± 1,07	0,96
MSS	16,07 ± 1,08	15,93 ± 1,15	0,88

Tabela 6 - Comparação dos ângulos máximos (°) de abdução, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Nível de Significância
	Média ± EP	Média ± EP	
SCA	105,28 ± 0,61	103,79 ± 1,02	0,44
MSL	105,68 ± 0,61	104,15 ± 0,80	0,28
MSS	110,86 ± 0,74	109,52 ± 0,53	0,23

Tabela 7 - Comparação dos ângulos mínimos (°) de adução, entre as articulações coxofemorais, direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hípidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Nível de Significância
	Média ± EP	Média ± EP	
SCA	94,78 ± 0,67	93,37 ± 1,23	0,57
MSL	95,18 ± 0,67	94,21 ± 0,91	0,38
MSS	101,47 ± 0,68	100,77 ± 0,59	0,57

Tabela 8 - Comparação dos deslocamentos angulares (°) de abdução/adução, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos por meio de sistema de coordenada articular (SCA), modelo sagital linear (MSL) e modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Nível de Significância
	Média ± EP	Média ± EP	
SCA	10,51 ± 0,31	10,41 ± 0,59	0,88
MSL	10,50 ± 0,29	9,94 ± 0,45	0,38
MSS	9,38 ± 0,36	8,75 ± 0,36	0,23

Tabela 9 - Comparação dos ângulos máximos (°), ângulos mínimos (°) e deslocamentos angulares (°) de flexão/extensão das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	SCA	MSL	MSS	Significância		
	Média ± EP	Média ± EP	Média ± EP	SCA/MSL	SCA/MSS	MSL/MSS
Ângulo Máximo	105,75 ± 1,37a	105,63 ± 1,27a	109,10 ± 1,45b	NS	S**	S***
Ângulo Mínimo	91,22 ± 0,56a	91,43 ± 0,47a	93,09 ± 0,83b	NS	S**	S**
Deslocamento	14,52 ± 1,25ab	14,2 ± 1,13a	16,00 ± 1,08b	NS	NS	S***

Letras iguais em uma mesma linha significam que não houve diferença estatística

Tabela 10 - Comparação dos ângulos máximos (°), ângulos mínimos (°) e deslocamentos angulares (°) de abdução/adução das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	SCA	MSL	MSS	Significância		
	Média ± EP	Média ± EP	Média ± EP	SCA/MSL	SCA/MSS	MSL/MSS
Ângulo Máximo	104,54 ± 0,85a	104,91 ± 0,82a	110,19 ± 0,67b	NS	S***	S***
Ângulo Mínimo	94,07 ± 0,99a	94,70 ± 0,79a	101,12 ± 0,63b	NS	S***	S***
Deslocamento	10,46 ± 0,45a	10,21 ± 0,38a	9,06 ± 0,37b	NS	S**	S**

Letras iguais em uma mesma linha significam que não houve diferença estatística

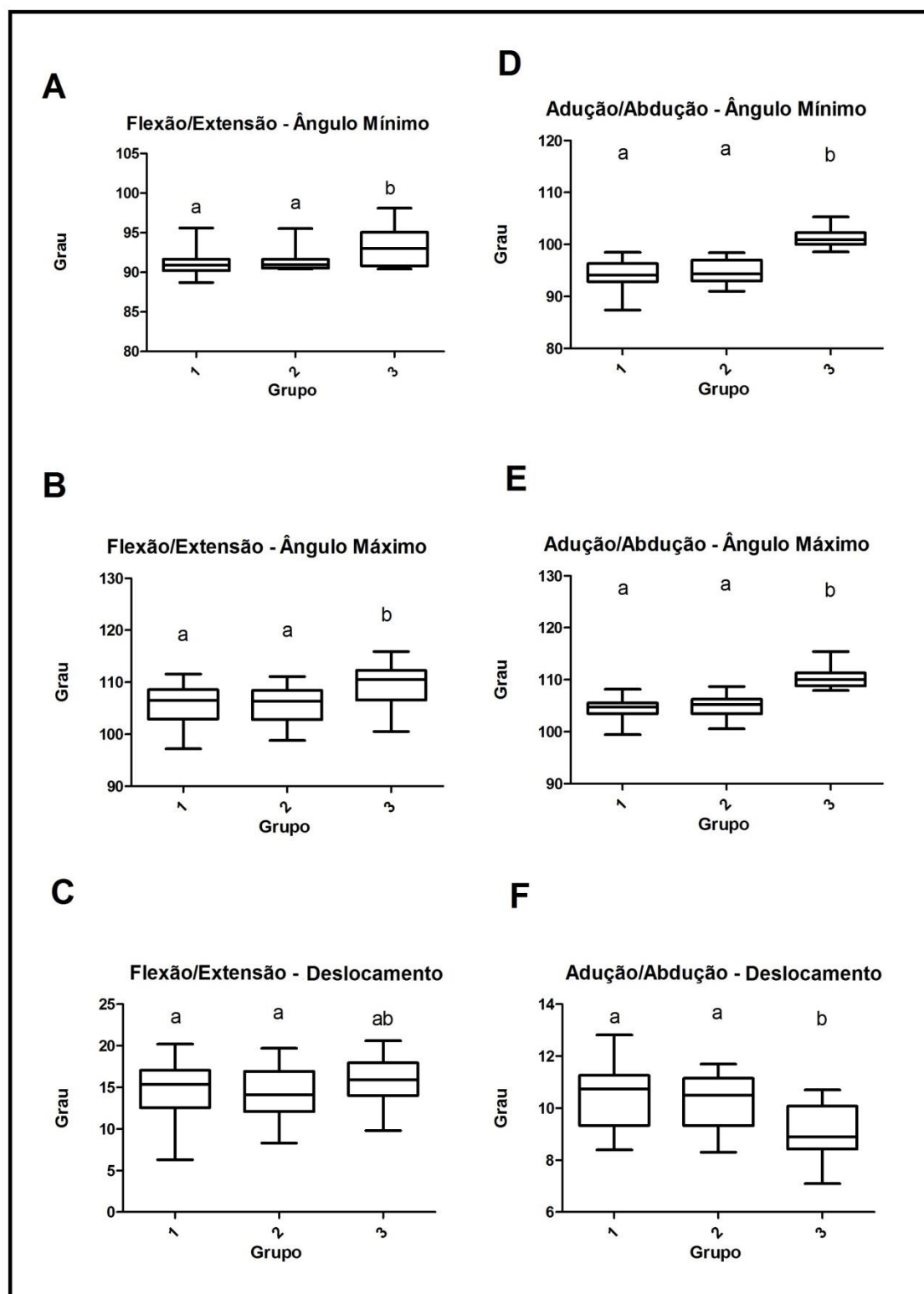


Figura 14 – Comparação dos ângulos mínimos (A), ângulos máximos (B) e deslocamentos angulares (C) de flexão/extensão, e dos ângulos mínimos (D), ângulos máximos (E) e deslocamentos angulares (F) de abdução/adução, das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

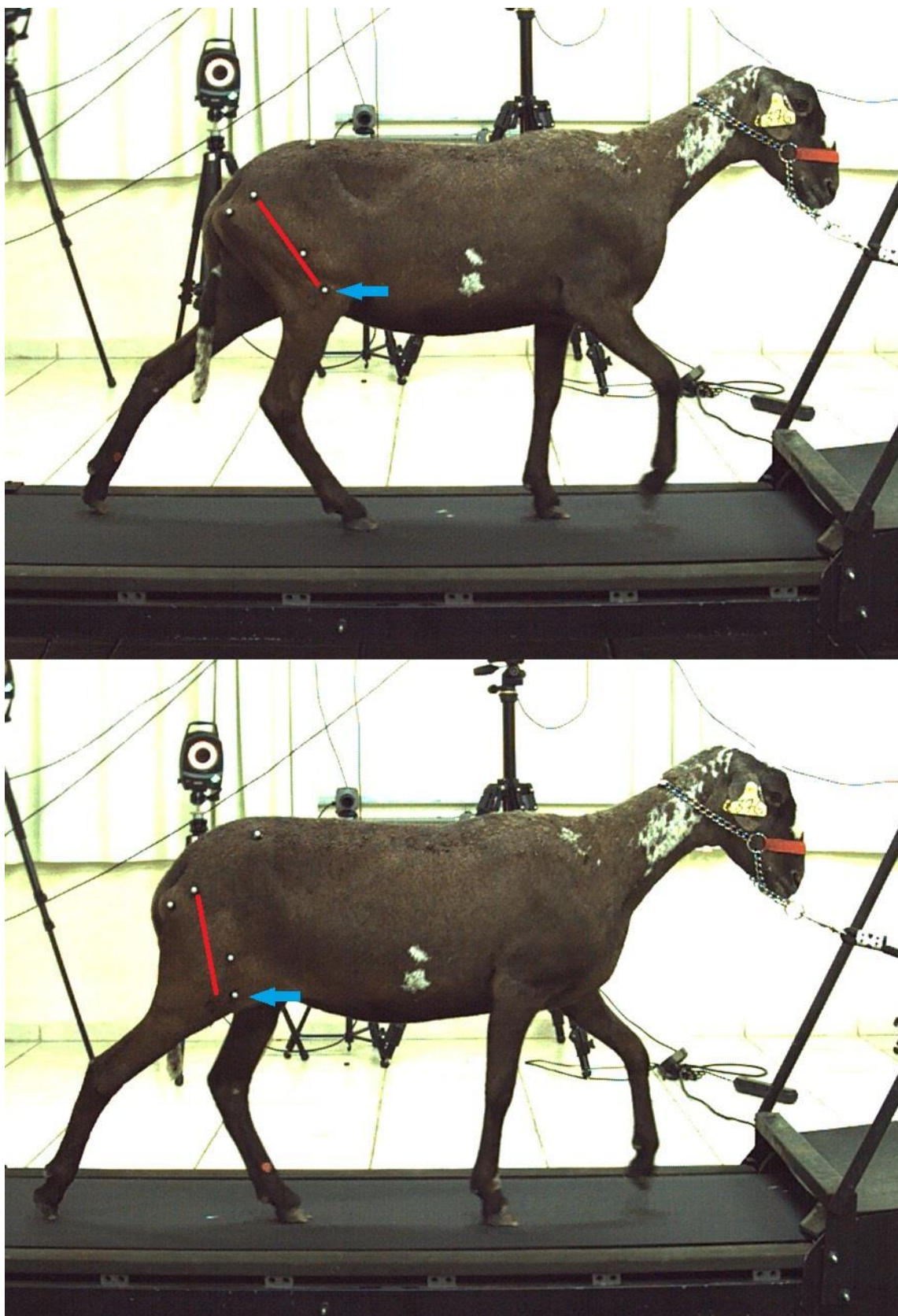


Figura 15 - Observe o deslocamento cranial do marcador do epicôndilo lateral (seta azul) em relação a posição do fêmur (linha vermelha) pela movimentação da pele.

Tabela 11 – Valores de P e coeficientes de correlação de Spearman (ρ) dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de flexão/extensão, das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	SCA/MSL		SCA/MSS		MSL/MSS	
	Nível de Significância	Rho	Nível de Significância	rho	Nível de Significância	rho
Ângulo Máximo	<0,001	0,993	<0,001	0,923	<0,001	0,934
Ângulo Mínimo	0,005	0,665	0,019	0,58	<0,001	0,818
Deslocamento	<0,001	0,965	<0,001	0,772	<0,001	0,801

Tabela 12 – Valores de P e coeficientes de correlação de Spearman (ρ) dos ângulos máximos ($^{\circ}$), ângulos mínimos ($^{\circ}$) e deslocamentos angulares ($^{\circ}$) de abdução/adução, das articulações coxofemorais, entre o sistema de coordenada articular (SCA), o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS), em ovinos hígidos da raça Santa Inês.

	SCA/MSL		SCA/MSS		MSL/MSS	
	Nível de Significância	Rho	Nível de Significância	rho	Nível de Significância	rho
Ângulo Máximo	<0,001	0,884	<0,001	0,869	<0,001	0,809
Ângulo Mínimo	<0,001	0,981	<0,001	0,851	<0,001	0,878
Deslocamento	0,002	0,712	0,003	0,692	0,096	0,43

DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

A experimentação animal muitas vezes se faz necessária para melhor compreender determinada afecção ou tratamento, sendo a espécie escolhida dependente da natureza da questão a ser pesquisada (SUMNER et al., 2001; POTES et al., 2008; ARNEY, 2009). No presente estudo optou-se pelo uso de ovinos por serem animais de produção e não de estimação, serem considerados dóceis, facilmente disponíveis e com possibilidade de controlar a variabilidade entre animais (POTES et al., 2008; ARNEY, 2009). Contudo, deve-se ressaltar que, especialmente para estudos com análise da locomoção, a espécie exige treinamento prévio, bem como adaptação ao ambiente e treinador (AGOSTINHO et al., 2011; FARIA et al., 2014; VALENTIN et al., 2014), como os adotados na presente pesquisa.

Os estudos envolvendo a articulação coxofemoral de ovinos geralmente incluem avaliações por métodos de imagem e abordagens com respeito ao aspecto histológico e/ou mecânico (MEULEN et al., 2002; McGEE et al., 2004; CARBONE et al., 2006), com pouca ênfase nas análises cinemáticas (TAYLOR et al., 2006; FARIA et al., 2014), fato que distingue a proposta do atual estudo.

Vale citar que na análise cinemática, o número e o posicionamento dos marcadores são dependentes do propósito da pesquisa (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001; AGOSTINHO et al., 2011). No atual estudo, tanto o número como o posicionamento foram estabelecidos com base no modelo cinemático tridimensional de coordenada articular, descrito para cães (FU et al., 2010), e possibilitou que os três modelos propostos fossem avaliados e comparados. Além disso, optou-se pelo uso de marcadores de 1,0 cm por

apresentaram a mesma visibilidade dos marcadores de 1,8 cm e por mostrarem menor mobilidade no local de fixação.

Na análise tridimensional cada marcador precisa estar visível, por no mínimo duas câmeras, durante o movimento (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001). Isso é considerado um problema durante a locomoção quadrupedal, em virtude da perda da visibilidade dos marcadores mediais (FU et al., 2010), fato observado na presente pesquisa. Para vencer essa dificuldade tem sido recomendado o emprego do método de segmentação virtual, em que os marcadores são empregados de duas formas: marcadores de rastreamento e marcadores virtuais (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001). No entanto, devido à conformação do ovino, o marcador medial do joelho teve sua visibilidade comprometida, a despeito da utilização do método de segmentação virtual e uso de oito câmeras, o que requereu o desenvolvimento de *cluster* com 2 marcadores, que foi fixado no ponto do epicôndilo lateral do fêmur. O marcador distal desse *cluster* substituiu a função do marcador medial do fêmur, na formação do eixo Xf.

Nos três modelos cinemáticos não foram observadas diferenças significativas, entre os lados direito e esquerdo, para todas as variáveis analisadas. O mesmo foi verificado em estudo de padrões cinemáticos das articulações dos membros torácicos e pélvicos, obtidos no plano sagital, de ovinos hígidos em dois diferentes grupos de idade (FARIA et al., 2014). Contudo, animais hígidos podem ter assimetrias, como detectado em pesquisa com cães da raça Labrador Retriever, nos quais foi aplicado método de dinâmica inversa, ou seja, combinação de dados morfométricos com aqueles obtidos em plataforma de força e cinemática sagital (COLBORNE et al., 2011).

Os valores obtidos de ângulo máximo, ângulo mínimo e deslocamento angular de abdução/adução e flexo-extensão não mostraram diferenças entre o sistema de coordenada articular (SCA) e o modelo sagital linear (MSL). Com relação à flexo-extensão, os dados foram próximos aos adquiridos pela cinemática não invasiva no plano sagital, por Faria et al. (2014), em ovinos adultos hígidos, com valores de $107,63^\circ (\pm 5,52)$, $91,81^\circ (\pm 5,32)$ e $15,82^\circ (\pm 2,79)$, para ângulo máximo, ângulo mínimo e deslocamento angular, respectivamente. Por outro lado, Taylor et al. (2006) citaram valores médios de

flexo-extensão de aproximadamente 90° e 120°, em três ovinos mestiços Merino, avaliados por cinemática tridimensional invasiva, cujos formatos gráficos assemelharam-se ao do presente estudo. Vale citar que o valor de ângulo mínimo (SCA: 91,22° ± 1,6; MSL: 91,43 ± 1,35) no atual estudo foi similar ao de Taylor et al. (2006), mas não o valor do ângulo máximo (SCA: 105,75° ± 3,88; MSL: 105,63° ± 3,6). Essa diferença provavelmente esteja associada à movimentação do marcador do epicôndilo lateral do fêmur, que ocorre pelo deslizamento cranial da pele durante o movimento de extensão do membro. Isso está associado à conformação anatômica do ovino, cuja pele da região abdominal se conecta a porção cranial do membro pélvico.

Considerando os três modelos, a variabilidade entre indivíduos foi de 3,88° a 4,11° para o ângulo máximo e de 1,6° a 2,35° para o ângulo mínimo. Por sua vez, em pesquisa que caracterizou o movimento articular tridimensional do joelho de ovinos hígidos da raça Suffolk, por método invasivo, foi observado que a variabilidade para o ângulo de flexão intra-indivíduos foi de 2° e entre indivíduos de 5,2° (TAPPER et al., 2006). Desta forma, os dados obtidos de flexo-extensão na atual pesquisa podem ser considerados representativos deste movimento articular.

É importante ressaltar que as similaridades dos dados em todas as variáveis no sistema de coordenada articular (SCA) e no modelo sagital linear (MSL) têm relação com o posicionamento dos eixos utilizados no cálculo do sistema de coordenada articular, que coincidem com as linhas que conectam os pontos anatômicos no modelo sagital linear. Para o coxal, o eixo Yc do modelo SCA, utilizado para o cálculo de flexão/extensão, equipara com a linha formada pelos pontos dorsal da crista ilíaca e proeminência lateral da tuberosidade isquiática do modelo MSL. Já o eixo Zc do modelo SCA, utilizado para o cálculo de abdução/adução, se aproxima da linha formada pelos marcadores posicionados nas cristas ilíacas direita e esquerda no modelo MSL. Para o fêmur, o eixo Yf do modelo SCA equipara com a linha formada pelos marcadores do trocânter maior do fêmur e epicôndilo lateral do fêmur de MSL, que é utilizado tanto para o cálculo da flexão/extensão quanto para abdução/adução. Além do mais, os resultados das correlações e as semelhanças visuais dos traçados gráficos dos ângulos reforçam esses

achados. Em estudo cinemático que avaliou o joelho de cães hípidos, comparando o sistema de coordenada articular com os modelos linear e segmentar, os traçados gráficos dos ângulos de flexão e extensão no plano sagital foram considerados equivalentes com os três modelos após a normalização pelo método de análise de função (GIFA), tanto ao trote como ao caminhar, porém pela análise de Fourier não houve diferença apenas ao trote (TORRES et al., 2010).

Contudo, ao se comparar os ângulos de flexão/extensão do sistema de coordenada articular (SCA) e o modelo sagital segmentar (MSS), assim como o modelo sagital linear (MSL) e o modelo sagital segmentar (MSS) foram detectadas diferenças em quase todas as variáveis, inclusive no deslocamento angular, porém com correlação significativa de todas as variáveis entre os modelos. Os maiores ângulos obtidos em MSS se devem a intersecção mais cranial das linhas, devido ao marcador posicionado no trocânter maior.

Com relação aos ângulos de abdução/adução diferenças foram observadas para todas as variáveis entre os modelos SCA e MSS e MSL e MSS. Adicionalmente, não houve correlação entre o deslocamento angular de MSL e MSS, bem como o formato gráfico dos ângulos de abdução/adução do modelo sagital segmentar (MSS) não correspondeu ao dos demais modelos. As diferenças nos ângulos máximos e mínimos estão associadas às mudanças da intersecção das linhas para a crista ilíaca, ao passo que as diferenças e ausência de correlação do deslocamento angular podem estar associados à movimentação de pele, principalmente no marcador do epicôndilo lateral do fêmur.

Vale citar que uma das vantagens do sistema de coordenada articular em relação aos modelos sagital linear e sagital segmentar é a possibilidade de avaliação de medidas cinemáticas de rotação interna-externa (TORRES et al., 2010; FU et al., 2010). Por ter um desenho de bola e soquete, a articulação coxofemoral apresenta a maior amplitude de movimento de todas as articulações do membro pélvico (WENDELBURG, 1998), com três graus de liberdade, ou seja, flexão-extensão, abdução-adução e rotação interna-externa; além da circundação (WENDELBURG, 1998; PASQUINI et al., 2003; WHITING e ZERNICHE, 2008).

Contudo, os valores de rotação interna-externa obtidos no atual estudo pelo sistema de coordenada articular requerem uma abordagem crítica. Primeiramente, os desvios-padrão das variáveis avaliadas (ângulos máximo e mínimo, e deslocamento angular) mostraram-se bastante elevados, em ambas articulações coxofemorais, com um valor máximo de 12,09° observado no ângulo máximo de rotação interna-externa. Por sua vez, o ângulo mínimo de rotação interna-externa apresentou diferença em média de 8,96° entre os lados, que embora estatisticamente não significativa, clinicamente poderia representar alteração. Além disso, o deslocamento angular foi 42,21 ($\pm$ 8,87) em um dos membros, o que parece não ser condizente com a biomecânica do ovino. Um fato a ser considerado é que o artefato do tecido mole no método não invasivo pode induzir a erros, devido à inércia ou à deformação e deslizamento da pele (CLAYTON e SCHAMHARDT, 2001; WHITTLE, 2007; KIM et al., 2011). O marcador localizado na região do músculo quadríceps é o mais afetado pela movimentação da pele durante a locomoção da ovelha. No momento da extensão do membro há uma tração natural da pele, que desloca o marcador em direção cranial. Esse artefato de captura promove um valor superestimando do deslocamento angular, uma vez que esse marcador é empregado para reconstrução da trajetória do marcador distal do *cluster*. Provavelmente o uso de técnicas invasivas com marcadores unidos aos segmentos ósseos (LUNDBERG, 1996; TAYLOR et al.; 2005; TAYLOR et al., 2006; TAPPER et al., 2006; DARCY et al., 2008; TAPPER et al., 2008) poderia reduzir esse tipo de variação. Contudo, deve-se considerar que o uso de aparelhos transcutâneos associados com pinos ósseos pode induzir desconforto e alterar o controle do movimento, ou restringir a movimentação da pele e do tecido mole, tendo como consequência a interferência na execução do movimento (LUNDBERG, 1996).

Sendo assim, os três modelos não invasivos avaliados forneceram dados representativos dos ângulos do coxal. Mais estudos são necessários para estabelecer um modelo que permita a obtenção de dados mais fidedignos de rotação interna-externa da articulação coxofemoral.

CONCLUSÕES

7 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos foi possível concluir que:

- a- O modelo tridimensional não invasivo - sistema de coordenada articular - permitiu obter dados de flexão/extensão, abdução/adução e rotação interna/externa da articulação coxofemoral de ovinos hígidos da raça Santa Inês;
- b- Os ângulos de flexão/extensão e abdução/adução adquiridos com o sistema de coordenada articular foram similares com o modelo sagital linear, mas não com o modelo sagital segmentar;
- c- Os dados de rotação interna/externa determinados pelo sistema de coordenada articular podem não ser aplicáveis.

REFERÊNCIAS

8 REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, F.S.; RAHAL, S.C.; MIQUELETO, N.S.M.L.; VERDUGO, M.R.; INAMASSU, L.R.; EI-WARRAK, A.O., 2011. Kinematic analysis of Labrador Retrievers and Rottweilers trotting on a treadmill. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, v.24, p.185-191, 2011.
- ARAÚJO, A.G.N.; ANDRADE, L.M.; BARROS, R.M.L. System for kinematical analysis of the human gait based on videogrammetry. *Rev. Fisioter. Pesqui.*, v.2, n.1, p.3-10, 2005.
- ARNEY, D.R. Sheep behaviour, needs, housing and care. *Scand. J. Lab. Anim. Sci.*, v.36, n.1, p.69-73, 2009.
- BERGMANN, G.; GRAICHEN, F.; ROHLMANN, A. Hip joint forces in sheep. *J. Biomech.*, v.32, p.769-777, 1999.
- BEVERIDGE, J.E.; SHRIVE, N.G.; FRANK, C.B. Meniscectomy causes significant in vivo kinematic changes and mechanically induced focal chondral lesions in a sheep model. *J. Orthop. Res.*, v.29, n.9, p.1397-1405, 2011.
- BRAGA, R. M. *Criação de ovinos: orientações básicas para o criador* (Documentos / Embrapa Roraima, 46). Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2011. 23p.
- CARBONE, A.; HOWIE, D.W.; McGEE, M.; FIELD, J.; PEARCY, M.; SMITH, N.; JONES, E. Aging performance of a compliant layer bearing acetabular prosthesis in a ovine hip arthroplasty model. *J. Arthroplasty*, v.21, n.6, p.899-906, 2006.
- CLAYTON, H.M.; SCHAMHARDT, H.C. Measurement techniques for gait analysis. In: BACK, W.; CLAYTON, H.M. *Equine Locomotion*. Philadelphia: Saunders. 2001. p.55-76.
- CLAYTON, H.M.; SHA, D.; STICK, J.A.; MULLINEAUX, D.R. Three-dimensional carpal kinematics of trotting horses. *Equine Vet. J.*, v.36, n.8, p.671-676, 2004.

- COLBORNE, G.R.; GOOD, L.; COZENS, L.E.; KIRK, L.S. Symmetry of hind limb mechanics in orthopedically normal trotting Labrador Retrievers. *Am. J. Vet. Res.*, v.72, n.3, p.336-344, 2011.
- DARCY, S.P.; ROSVOLD, J.M.; BEVERIDGE, J.E.; CORR, D.T.; BROWN, J.J.Y.; SUTHERLAND, C.A.; MARCHUCK, L.L.; FRANK, C.B.; SHRIVE, N.G. A comparison of passive flexion-extension to normal gait in the ovine stifle joint. *J. Biomech.*, v.41, p.854-860, 2008.
- FARIA, L.G.; RAHAL, S.C.; AGOSTINHO, F.S.; MINTO, B.W.; MATSUBARA, L.M.; KANO, W.T.; CASTILHO, M.S.; MESQUITA, L.R. Kinematic analysis of forelimb and hind limb joints in clinically healthy sheep. *BMC Vet. Res.*, v.10, n.294, p.1-5, 2014.
- FILED, J.R.; ABERMAN, H.; CARNONE, A.; SHARPE, N. SMITH, D. DUNLOP, D. W. HOWIE. An ovine model for total hip replacement: operative procedure and complications. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, v.14, p. 1-37, 2001.
- FRANK, C.B.; BEVERIDGE, J.E.; HUEBNER, K.D.; HEARD, B.J.; TAPPER, J.E.; O'BRIEN, J.O. E.; SHRIVE, N.G. Complete ACL/MCL deficiency induces variable degrees of instability in sheep with specific kinematic abnormalities correlating with degrees of early osteoarthritis. *J. Orthop. Res.*, v.30, n.3, p.384-392, 2012.
- FU, Y-C.; TORRES, B.T.; BUDSBERG, S.C. Evaluation of a three-dimensional kinematic model for canine gait analysis. *Am. J. Vet. Res.*, v.71, p.1118-1122, 2010.
- GILLETTE, R.L.; ANGLE, T.C. Recent developments in canine locomotor analysis: a review. *Vet. J.*, n.178, p.165-176, 2008.
- GORDON-EVANS, W.J. Gait analysis. In: TOBIAS, K.M.; JOHNSTON, S.A. *Veterinary surgery small animal*. St. Louis: Elsevier Saunders. 2012. p.1190-1196.
- GOVONI, V.M.; RAHAL, S.C.; AGOSTINHO, F.S.; CONCEIÇÃO, R.T.; TSUNEMI, M.H.; EL-WARRAK, A.O. Goniometric measurements of the forelimb and hind limb joints in sheep. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, v.4, n., p., 2012.
- GROEN, B.E.; GEURTS, M.; NIENHUIS, B.; J. DUYSSENS, J. Sensitivity of the OLGA and VCM models to erroneous marker placement: Effects on 3D-gait kinematics. *Gait & Posture*, v.35, p.517-521, 2012.

- HAMILL, J.; SELBIE, W.S. Three-dimensional kinematics. In: ROBERTSON, D.G.E.; CALDWELL, G.E.; HAMILL, J.; KAMEN, G.; WHITTLESEY, S.N. *Research methods in biomechanics*. Champaign: Human kinetics, 2004. p.35-52.
- HETTE, K.; RAHAL, S.C.; VOLPI, R.S.; FERREIRA, D.O.L.; TEIXEIRA, C.R. Artroscopia do joelho de ovinos. *Pesq. Vet. Bras.*, v.28, n.2, p.119-123, 2008a.
- HETTE, K.; RAHAL, S.C.; MAMPRIM, M.J.; VOLPI, R.S.; SILVA, V.C.; FERREIRA, D.O.L. Avaliações radiográfica e ultra-sonográfica do joelho de ovinos. *Pesq. Vet. Bras.*, v.28, n.9, p.393-398, 2008b.
- HETTE, K.; RAHAL, S.C.; VOLPI, R.S.; PEREIRA-JUNIOR, O.C.M.; MAMPRIM, M.J.; COLOMBI da SILVA, V. Radiographic measurement of tibial joint angles in sheep. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, v.22, n.3, p.204-209, 2009.
- HOLSWORTH, I.G.; DeCAMP, C.E. Coxofemoral luxation. In: SLATTER, D. *Textbook of small animal surgery*. Philadelphia: Saunders, 2003. p.2002-2008.
- KIM, S.Y.; KIM, J.Y.; HAYASHI, K.; KAPATKIN, A.S. Skin movement during the kinematic analysis of the canine pelvic limb. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, v.24, n.5, p.326-332, 2011.
- LaVELLE, D.G. Fractures of hip. In: CANALE, ST. *Campbell's operative orthopaedics*. Philadelphia: Mosby, 2003. p.2873-2938.
- LIEBICH, H-G; KÖNIG, H.E.; MAIERI, J. Coxofemoral or hip joint (articulatio coxae). In: KÖNIG, H.E.; LIEBICH, H-G. *Veterinary anatomy of domestic mammals*. Stuttgart: Schattauer, 2009. p.237-238.
- LUNDBERG, A. On the use of bone and skin markers in kinematics research. *Hum. Mov. Sci.*, v.15, p.411-422, 1996.
- MALEK, S.; MOENS, N.M.M.; MONTEITH, G.J. The precision and repeatability of a custom-made pointer device for determination of virtual landmarks in canine three-dimensional kinematics. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, v.25, p.102-108, 2012.
- McGEE M.A.; FINDLAY D.M.; HOWIE, D.W.; CARBONE, A.; WARD, P.; STAMENKOV, R.; PAGE, T.T.; BRUCE, W.J.; WILDENAU, C.I.; TOTH, C. The use of OP-1 in femoral impaction grafting in a sheep model. *J Orthop. Res.*, v.22, p.1008-1015, 2004.
- McLAUGHLIN, R.M. Kinetic and kinematic gait analysis in dogs. *Vet. Clin. North Am, Small Anim. Pract.*, v.31, n.1, p.193-201, 2001.

- MEULEN, M.C.H.; GARY S. BEAUPRÉ, G.S.; SMITH, R.L.; GIDDINGS, V.L.; ALLEN, W.A.; ATHANASIOU, K.A.; ZHU, C.F.; MANDELL, J.A.; SONG, Y.; POSER, R.D.; GOODMAN, S.B. Factors influencing changes in articular cartilage following hemiarthroplasty in sheep. *J. Orthop. Res.*, v.20, p.669–675, 2002.
- PASQUINI, C.; SPURGEON, T.; PASQUINI, S. Joints. In_. *Anatomy of domestic animal*. USA: Sudz Publishing, 2003. p.103-132.
- PERRY, J. Desvios da marcha – quadril. In:_. *Análise de marcha: marcha patológica*. São Paulo: Manole, 2005. p.71-88.
- PIERMATTEI D.L.; FLO G., DeCAMP C. *Brinker, Piermattei and Flo's handbook of small animal orthopedics and fracture repair*. 4.ed. Philadelphia: Saunders, 2006. 818p.
- POTES, J.C.; REIS, J.C.; SILVA, F.C.; RELVAS, C.; CABRITA, A.S.; SIMÕES, J.A. The sheep as an animal model in orthopaedic research. *Exp. Pathol. Health Sci.*, v.2, n.2, p.29-32, 2008.
- ROBERTSON, D.G.E.; CALDWELL, G.E. Planar kinematics. In: ROBERTSON, D.G.E.; CALDWELL, G.E.; HAMILL, J.; KAMEN, G.; WHITTLESEY, S.N. *Research methods in biomechanics*. Champaign: Human kinetics, 2004. p.9-34.
- SCHULZ, K. Coxofemoral joint. In: FOSSUM, T.W. *Small animal surgery*. 3ed. St. Louis: Mosby, 2007. p.1233-1253.
- SELLERS, W.I.; CROMPTON, R.H. A system for 2- and 3D kinematic and kinetic analysis of locomotion, and its application to analysis of the energetic efficiency of jumping locomotion. *Z. Morph. Anthropol.*, v.80, n.1, p.99-108, 1994.
- SUMNER, D.R.; TURNER; T.M., URBAN, R.M. Animal models relevant to cementless joint replacement. *J. Musculoskel. Neuron. Interact.*, v.1, n.4, p. 333-345, 2001.
- TAPPER, J.E.; FUKUSHIMA, S.; AZUMA, H.; SUTHERLAND, G.; MARCHUK, L.; THORNTON, G.M.; RONSKY, J.L.; ZERNICKE, R.; SHRIVE, N.G.; FRANK, C.B. Dynamic in vivo three-dimensional (3D) kinematics of the anterior cruciate ligament/medial collateral ligament transected ovine stifle joint. *J. Orthop. Res.*, v.26, p.660-672, 2008.
- TAPPER, J.E.; FUKUSHIMA, S.; AZUMA, H.; THORNTON, G.M.; RONSKY, J.L.; SHRIVE, N.G.; FRANK, C.B. Dynamic in vivo kinematics of the intact ovine stifle joint. *J. Orthop. Res.*, v.24, p.782-792, 2006.

- TAYLOR, W.R.; EHRIG, R.M.; DUDA, G.N.; SCHELL, H.; SEEBECK, P.; HELLER, M.O. On the influence of soft tissue coverage in the determination of bone kinematics using skin markers. *J. Orthop. Res.*, v.23, n.4, p.726-734, 2005.
- TAYLOR, W.R.; EHRIG, R.M.; HELLER, M.O.; SCHELL, H.; SEEBECK, P.; DUDA, G.N. Tibio-femoral joint contact forces in sheep. *J. Biomech.*, v.39, p.791-798, 2006.
- TEIXEIRA, C.R.; RAHAL, S.C.; VOLPI, R.S.; TAGA, R.; CESTARI, T.M.; GRANJEIRO, J.M.; VULCANO, L.C.; CORREA, M.A. Tibial segmental bone defect treated with bone plate and cage filled with either xenogeneic composite or autologous cortical bone graft. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, v.20, n.4, p.269-276, 2007.
- TORRES, B.T.; PUNKE, J.P.; FU, Y-C.; NAVIK, J.A.; SPEAS, A.L., SORNBORGER A.; BUDSBERG, S.C. Comparison of canine stifle kinematic data collected with three different targeting models. *Vet. Surg.*, v.39, p.504–512, 2010.
- VALENTIN, S.; ESSIGBECK, A.; WOLFRAM, I.; LICKA, T. Kinematic parameters of sheep walking on a treadmill. *Vet. J.*, v.202, p.657–658, 2014.
- WALLACE, L.J.; OLMSTEAD, M.L. Disabling conditions of the canine coxofemoral joint. In: OLMSTEAD, M.L. *Small animal orthopedics*. St. Louis: Mosby, 1995. p.361-393.
- WENDELBURG, K.L. Disorders of the hip joint in the canine athlete. In: Bloomberg, M.S.; Dee, J.F.; Taylor, R.A. *Canine sports medicine and surgery*. Saunders: Philadelphia, 1998. p.174-195.
- WHITING, W.C.; ZERNICHE, R.F. Lower-extremity injuries. In:_. *Biomechanics of musculoskeletal injury*. 2ed. Illinois: Human Kinetics, 2008. p.154-201.
- WHITTLE, M.W. *Gait analysis: an introduction*. 4 ed. Elsevier: Edinburgh, 2007. 255p.

ARTIGO SUBMETIDO
AO PERIÓDICO
THE VETERINARY
JOURNAL

Evaluation of a noninvasive three-dimensional model of the hip joint in sound sheep

F.S. Agostinho^a, S.C. Rahal^{a,*}, P.L.T. Justolin^a, D.P. Doiche^b, M.J. Mamprim^b

^b Department of Animal Reproduction and Veterinary Radiology, School of Veterinary Medicine and Animal Science – Univ Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP, Brazil

* Corresponding author. Tel.: +55 14 38802041
E-mail address: sheilacr@fmvz.unesp.br (S.C. Rahal).

Abstract

The aim of this study was to evaluate a noninvasive three-dimensional model of the hip joint in sheep using a joint coordinate system, and to compare and correlate it with two sagittal models. Eight structurally sound intact sheep of similar size and aging from 2 to 4 years were used. Three different models for angle calculations were used, including a joint coordinate system (M1), a sagittal linear (M2) and a sagittal segmental model (M3). The M1, M2 and M3 models were able to capture flexion/extension and abduction/adduction angles; whereas M1 model was also able to capture internal/external rotation angle. Maximum angle, minimum angle and angular displacement were calculated for all variables. There was no statistical difference between M1 and M2. However, with the exception of flexion/extension displacement between M1 and M3, statistically significant differences were observed between M1 and M3, and M2 and M3. The values of internal/external rotation angles showed high variability. The correlations were significant for both, flexion/extension and abduction/adduction angles in the three models. There was no significant correlation for abduction/adduction displacement between M2 and M3. In conclusion, the flexion/extension and abduction/adduction angles obtained with joint coordinate system were similar to sagittal linear, but not with sagittal segmental model. Therefore, the internal/external rotation angle data obtained by joint coordinate system may not be useful for hip joint characterization.

Keywords: Hip joint; Coordinate system; Sagittal model

Introduction

Kinematic analysis may be performed in sagittal or three-dimensional plane. The first is usually used to evaluate flexion or extension angles in 2 dimensions using linear or segmental models (Robertson and Caldwell, 2004). The second is a more complete analysis, which provides information in all directions of the space such as flexion/extension, internal/external rotation, abduction/adduction (Robertson and Caldwell, 2004; Torres et al., 2010). Currently, there are several methods for determining three-dimensional joint angles in human medicine. The three most commonly used are Cardan/Euler, joint coordinate system, and helical axis (Hamill and Selbie, 2004).

Due to the complexity of three-dimensional analysis and the number of cameras required, there is a lack of studies in veterinary medicine. However, few studies have been done in evaluating the use of three-dimensional kinematic analysis in sheep and dog, especially in stifle joint (Taylor et al., 2006; Tapper et al., 2006; Tapper et al., 2008; Torres et al., 2010). In addition, Fu et al. (2010) developed three-dimensional kinematic model of the hind limb in dogs using a joint coordinate system.

Regardless of the kinematic analysis used, the markers need to be fixed to the skin by using double-sided adhesive tape or glue, when non-invasive method is used (Clayton and Schamhardt, 2001; Gordon-Evans, 2012), or directly fixed to the skeleton, when invasive method is used (Lundberg, 1996; Taylor et al., 2006; Tapper et al., 2006; Tapper et al., 2008). Ideally, kinematic analysis should evaluate the motion of bone segments, besides the combined movement of bone and soft tissue (Lundberg, 1996). Despite the greater accuracy from invasively fixed markers, this method have some limitations on long-term studies, as well as its applicability for clinical studies and ethical barriers (Sellers and Crompton, 1994;

Lundberg, 1996). Non-invasive skin markers have to be positioned in a consistent manner by the same investigator and following predetermined species-specific anatomical locations (Gordon-Evans, 2012). In addition, some authors have suggested the use of mathematical adjustments of the data (Fu et al., 2010; Gordon-Evans, 2012).

Therefore, the goal of this study was to evaluate a non-invasive three-dimensional model of the hip joint in structurally sound sheep using a joint coordinate system. In addition, the extension/flexion and abduction/adduction angles were evaluated using two sagittal models that were compared and correlated to the three-dimensional model. The first hypothesis was that the three-dimensional model would be able to perform a non-invasive evaluation of this joint. The second hypothesis was that representative values of flexion/extension and abduction/adduction could be obtained with the three models, interchangeably.

Materials and methods

All procedures of the current study were approved by the Ethics Committee of our Veterinary School (nº. 157/2012). Eight clinically healthy intact Santa Ines sheep, aging from 2 to 4 years old and with average body mass of 30.3 ± 1.9 (ranging from 26.7 to 32.8 kg) were used. The sheep were judged to be healthy based on complete physical and orthopedic examination. Radiographic evaluations of the hind limbs were performed to complement the clinical examination.

Before data collection, the sheep passed through a series of training. Firstly, they were trained in being led by a halter, then they were trained on how to walk in a straight line in a predetermined area once a day for approximately one week by a single handler, and lastly

three or four treadmill training were performed every 48 hours. Food was used to motivate the sheep to walk in all of the training sessions. Hoof trimming was done in the week before the assessments.

Data collection

Kinematic data was collected using an 8-camera system with a 1.0 megapixel sensor capable of 1000Hz full frame resolution (three Vicon[®] MX-3+, and five Vicon[®] Bonita - T10S cameras; Vicon[®], Oxford Metrics Group). The cameras were positioned in circle around the area of capture. For each analysis, the system was calibrated by a dynamic procedure according to manufacturer's guidelines. A three-dimensional testing space (4 m length x 2.5 m width x 2 m height) was established, where a treadmill (70 cm x 200 cm) was positioned at the center of the area of capture.

Each sheep was tagged with eight retroreflective spherical markers (1.0 cm diameter) and 2 clusters (two markers together by a hypodermic needle 30x7) placed by the same investigator using cyanoacrylate adhesive. Markers were placed in both sides on the skin over the dorsal point of the iliac crest, lateral prominence of the ischial tuberosity, greater trochanter of the femur, and central portion of the quadriceps muscle. The clusters were placed in both sides on the skin over the lateral epicondyle of the femur.

A preliminary statistical trial of every sheep was conducted to ensure all markers were visible. After this, the external markers of the clusters were removed in order to perform the dynamic trials. The markers and their locations are described in Table 1. Sheep were then recorded walking on the treadmill at a constant velocity of 1 m/s in the predetermined testing space. The trajectories of removed markers were mathematically reconstructed from the

preliminary statistical trial, and tridimensional dynamic trial was developed. The demarcation between stance and swing phases was established individually for each trial by visual identification from the digital video recordings.

Three models were used to angle calculations, including Joint Coordinate System (M1), Sagittal Linear Model (M2), and Sagittal Segmental Model (M3). Flexion/extension and abduction/adduction angles were obtained using M2 and M3 models. Flexion/extension, abduction/adduction and internal/external rotation angles were obtained simultaneously using M1 model. For each model and every sheep, the first 10 valid gait cycles for each side were normalized by motion analysis program (Vicon Polygon software) and then exported as tables in Microsoft Excel® 2010 to create graphs and obtain the angles. The maximum and minimum values of flexion and extension for all models were transformed by the formula: Angle (α) = $180^\circ - \text{Value obtained}$. The angles of abduction/adduction of the model M1 were transformed by the formula: Angle (β) = $90^\circ + \text{value obtained}$, and the models M2 and M3 were transformed by the formula: Angle (β) = $180^\circ - \text{Value obtained}$.

Three-dimensional model (M1)

A joint coordinate system for pelvis and femur segments was established based on a previous study (FU et al., 2010). Calculation of the three-dimensional joint angles for the hip were performed by the vector interaction of 4 systems of joint coordinates, two for pelvis and one for each femur. The origin for the joint coordinate system in the pelvis was at the iliac crest (right and left), and in the femur at the greater trochanter (right and left). The axes of the joint coordinate system of the pelvis were defined using the markers in Table 1 as follows:

$$Y_{rh} = V_{RITB} - V_{RIC}$$

$$Y_{lh} = V_{LITB} - V_{LIC}$$

$$X_{rh} = (V_{RIC} - V_{LIC}) \times Y_{rh}$$

$$X_{lh} = (V_{LIC} - V_{RIC}) \times Y_{lh}$$

$$Z_{rh} = Y_{rh} \times X_{rh}$$

$$Z_{lh} = Y_{lh} \times X_{lh}$$

146

147 The axes of the joint coordinate system of the femur were defined as follows:

$$Y_{rf} = V_{RPLEP} - V_{RGT}$$

$$Y_{lf} = V_{LPLEP} - V_{LGT}$$

$$X_{rf} = (V_{RDLEP} - V_{RPLEP}) \times Y_{rf}$$

$$X_{lf} = (V_{LDLEP} - V_{LPLEP}) \times Y_{lf}$$

$$Z_{rf} = Y_{rf} \times X_{rf}$$

$$Z_{lf} = Y_{lf} \times X_{lf}$$

154

155 *Sagittal linear model (M2)*

156 In this model, the flexion/extension angles were determined by the intersection
 157 between the line connecting the dorsal point of the iliac crest to the ischial tuberosity, and the
 158 line connecting the greater trochanter of the femur to the proximal lateral epicondyle of the
 159 femur, for both right and left side. The abduction/adduction angles were determined by the
 160 intersection between the line connecting the dorsal point of the right iliac crest to the dorsal
 161 point of the left iliac crest, and the line connecting the greater trochanter of the femur to the
 162 proximal lateral epicondyle of the femur, for both right and left side.

163

164 *Sagittal segmental model (M3)*

165 In this model, the flexion/extension angles were determined by the intersection
 166 between the line connecting the dorsal point of the iliac crest to the greater trochanter of the
 167 femur, and the line connecting the proximal lateral epicondyle of the femur to the greater
 168 trochanter of the femur. The abduction/adduction angles were determined by the intersection
 169 between the line connecting the dorsal point of both iliac crests, and the line connecting the

proximal lateral epicondyle of the femur to the dorsal point of the iliac crest, for both right and left side.

Statistical methods

The normality of the data was checked using Shapiro–Wilk test. To analyze kinematic parameters between the models, Friedman test was used followed by Dunn's multiple comparison. Differences were considered statistically significant at $P < 0.05$.

For Dunn's multiple comparison P -value were classified into statistically non-significant (NS) ($P > 0.05$), statistically significant with $0.01 < P < 0.05$ (S*), statistically significant with $0.001 < P < 0.01$ (S**), and statistically significant with $P < 0.001$ (S***). To assess the linear correlation among the three models the Spearman's correlation coefficient was used. Correlation was determined significant at $P < 0.05$. The angle values were expressed as means $\pm$ standard deviation (SD).

Results

The cranial marker displacement due to skin movement is illustrated in Figure 1. The graphs of flexion/extension and abduction/adduction angles for the three models and internal/external rotation angles for M1 model are in Figure 2.

Comparing the flexion/extension angles among the three models no significant differences were observed between M1 and M2 in all variables. Significant differences were detected between M1 and M3 for maximum angle ($M3 > M1$), and minimum angle ($M3 > M1$). In addition, statistical differences were also observed between M2 and M3 in maximum angle

(M3>M2), minimum angle (M3>M2) and angular displacement (M3>M2). The data and significance values are in Table 2.

Comparing the abduction/adduction angles among the three models no significant differences were observed between M1 and M2 in all variables. Significant differences were detected between M1 and M3 for maximum angle (M3>M1), minimum angle (M3>M1), and angular displacement (M1>M3). Statistical differences were also observed between M2 and M3 in maximum angle (M3>M2), minimum angle (M3>M2), and angular displacement (M2>M3). The data and significance values are in Table 3.

The correlation of flexion/extension and abduction/adduction between M1/M2, M1/M3, and M2/M3 showed significant positive correlation in all variables, except for abduction/adduction angular displacement. The P and Rho values are in Tables 4 and 5.

Discussion

Studies of the hip joint in sheep usually include imaging methods, and histological and/or mechanics evaluations (Meulen et al., 2002; McGee et al., 2004; Carbone et al., 2006), but few studies had included kinematics analysis (Taylor et al., 2006; Faria et al., 2014). The number as well as position of the markers in kinematic analysis are dependent on the purpose of the research (Clayton and Schamhardt, 2001; Agostinho et al., 2011). In the present study, the number and position were determined based on three-dimensional kinematic model using the joint coordinate system previously described in dogs (Fu et al., 2010) that allowed the evaluation and comparison of the three proposed models. In three-dimensional kinematic, each marker must be visible by at least two cameras for capturing motion (Clayton and Schamhardt, 2001). This might be considered a problem during quadrupedal motion since the visibility of

medial markers could be compromised (Fu et al., 2010), as observed in the present study. To overcome this difficulty the use of a virtual targeting method has been recommended, where markers are used in two ways: tracking markers and virtual markers (Clayton and Schamhardt, 2001).

However, despite of using virtual targeting method and eight cameras the medial marker of the stifle had its visibility compromised on the static capture, due to the animal conformation. Thus, it was required the use of a cluster with two markers set in lateral epicondyle of the femur. The distal marker of this cluster replaced the medial femoral marker in the formation of Xf axis.

There was no statistical difference between joint coordinate system (M1) and sagittal linear model (M2) to maximum angle, minimum angle or angular displacement, for both, abduction/adduction and flexion/extension. The values of flexion/extension were close to those obtained in a non-invasive kinematic study performed in sagittal plane using healthy adult sheep, whose values for maximum angle, minimum angle and angular displacement were $107.63^{\circ} (\pm 5.52)$, $91.81^{\circ} (\pm 5.32)$ and $15.82^{\circ} (\pm 2.79)$, respectively (Faria et al., 2014). On the other hand, mean values of flexion/extension angles of approximately 90° and 120° were reported in three Merino-mix sheep using invasive three-dimensional kinematics (Taylor et al., 2006), whose format of graphic resemble those obtained in the present study. The minimum angle values (M1: $91.22^{\circ} \pm 1.6$; M2: 91.43 ± 1.35) obtained in the present study were similar to reported by Taylor et al. (2006), but the maximum angle values (M1: $105.75^{\circ} \pm 3.88$; M2: $105.63^{\circ} \pm 3.6$) were different. This difference is probably associated with the femoral lateral epicondyle marker displacement due to skin movement during limb extension. This is

associated with anatomic conformation of sheep, where the skin on the abdomen area connect to the cranial portion of the hind limb.

Considering the three models, the inter-individual variability ranged from 3.88° to 4.11° for maximum angle, and from 1.6° to 2.35° for minimum angle. In a study that characterized the joint motion of the stifle joint in Suffolk sheep using invasive kinematic it was observed an intra-individual variability of 2° and an inter-individual variability of 5.2° for flexion angle (Tapper et al., 2006). Therefore, the data of flexion/extension angles obtained in the present study may be considered representative of this joint movement.

The similarities in all variables between the joint coordinate system (M1) and sagittal linear model (M2) are related to marker positions used in M1 calculation, which coincide to the lines that connect the anatomical points in M2. For the hip, the Yc axis of M1 model used to calculate flexion/extension matched the line connecting the dorsal point of the iliac crest to the ischial tuberosity in M2 model. The Zc axis of M1 model used to calculate abduction/adduction matched the line connecting the dorsal point of both, right and left iliac crest. For the femur, the Y axis of M1 model matched the line connecting the greater trochanter and proximal lateral epicondyle of the femur in M2 model, which is used to calculate flexion/extension as well as abduction/adduction. In addition, the results of correlations and the similarities of the waveforms in graphs reinforce these findings. A kinematic study in dogs that compared the joint coordinate system with linear and segmental models of the stifle joint observed that the graphic tracings of extension and flexion angles in the sagittal plane were equivalent after normalization by GIFA analysis both for trot and walk. This difference was seen only on trot, but not in Fourier analysis (Torres et al., 2010).

The comparison of flexion/extension angles between joint coordinate system (M1) and sagittal segmental model (M3), as well as the comparison between sagittal linear model (M2) and sagittal segmental model (M3) showed significant differences in all variables, including angular displacement. In addition, significant correlation was observed in all variables between models. The greater angles obtained in M3 model are associated with intersection of the lines positioned more cranially, due to the marker being placed over the greater trochanter of the femur.

Differences were observed for all variables between M1 and M3 models, and M2 and M3 models, for abduction/adduction angles. In addition, the angular displacement showed no correlation between M2 and M3, and the waveform of the abduction/adduction angles in M3 model did not match the other models. The differences in maximum and minimum angles are associated with the dislocation of the intersection site to the iliac crest lines, while the differences and absence of correlation of the angular displacement correlation may be associated with the skin movement, especially in the lateral epicondyle of the femur marker.

One of the advantages of the joint coordinate system in comparison to the sagittal segmental and sagittal linear models is the possibility to evaluate internal/external rotation (Torres et al., 2009; Fu et al., 2010). By having a ball and socket design, the hip joint has the greatest range of motion of all joints of the hind limb (Wendelburg, 1998) with three degrees of freedom, i.e., flexion/extension, abduction/adduction and internal/external rotation; besides circumduction (Wendelburg, 1998; Pasquini et al., 2003; Whiting and Zerniche, 2008).

However, internal-external rotation values obtained in the present study by the joint coordinate system require a careful analysis. The first concern is the high standard deviations

in all variables (maximum and minimum angles, and angular displacement) in both hip joints, with a maximum value of 12.09° observed in maximum angle of internal/external rotation. Besides, the minimum angle of internal-external rotation showed a mean difference of -8.78° between the sides. Although not statistically significant, this value could represent a clinical alteration. In addition, the angular displacement of 39.87° seems to be inconsistent with biomechanics of the sheep. The soft tissue artefact in non-invasive method may induce reading errors, due the inertia or deformation, and skin movement (Clayton and Schamhardt, 2001; Whittle, 2007; Kim et al., 2011). The marker placed in the quadriceps muscle region is the one most affected by skin movement. During limb extension a natural pull of the skin occurs, which moves the marker cranially. This capture artefact promotes an overestimated value of the angular displacement, since this marker is used to reconstruct the trajectory of the distal cluster marker. Probably, the use of invasive techniques with markers attached to bone segments might reduce this variation (Lundberg, 1996; Taylor et al., 2005; Taylor et al., 2006; Tapper et al., 2006; Darcy et al., 2008; Tapper et al., 2008). However, the use of transcutaneous devices associated with bone pins can induce discomfort and change the control of the movement, or can restrict the movement of the skin and soft tissues that consequently would cause interference in the movement execution (Lundberg, 1996).

Conclusions

The flexion/extension and abduction/adduction angles obtained with joint coordinate system were similar to sagittal linear model, but different to sagittal segmental model. Therefore, the internal/external rotation angle data obtained by joint coordinate system may not be useful for hip joint characterization.

Conflict of interest statement

None of the authors has any financial or personal relationships that could inappropriately influence or bias the content of the paper.

Acknowledgements

The authors would like to thank the São Paulo Research Foundation (FAPESP; nos. 2012/12826-8 and 2012/02173-7), and National Council for Scientific and Technological Development (CNPq; no. 300710/2013-5).

References

- Agostinho, F.S., Rahal, S.C., Miqueleto, N.S.M.L., Verdugo, M.R., Inamassu, L.R., El-Warrak, A.O., 2011. Kinematic analysis of Labrador Retrievers and Rottweilers trotting on a treadmill. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 24, 185–191.
- Bergmann, G., Graichen, F., Rohlmann, A., 1999. Hip joint forces in sheep. *Journal of Biomechanics* 32, 769-777.
- Beveridge, J.E., Shrive, N.G., Frank, C.B., 2011. Meniscectomy causes significant in vivo kinematic changes and mechanically induced focal chondral lesions in a sheep model. *Journal of Orthopaedic Research* 29, 1397-1405.
- Carbone, A., Howie, D.W., Mcgee, M., Field, J., Pearcy, M., Smith, N., Jones, E., 2006. Aging performance of a compliant layer bearing acetabular prosthesis in a ovine hip arthroplasty model. *Journal of Arthroplasty* 21, 899-906.
- Clayton, H.M., Schamhardt, H.C., 2001. Measurement techniques for gait analysis. In: Back, W., Clayton, H.M. (Eds.), *Equine Locomotion*. Saunders, Philadelphia, pp. 55-76.
- Clayton, H.M., Sha, D., Stick, J.A., Mullineaux, D.R., 2004. Three-dimensional carpal kinematics of trotting horses. *Equine Veterinary Journal* 36, 671-676.
- Darcy, S.P., Rosvold, J.M., Beveridge, J.E., Corr, D.T., Brown, J.J.Y., Sutherland, C.A., Marchuck, L.L., Frank, C.B., Shrive, N.G., 2008. A comparison of passive flexion-extension to normal gait in the ovine stifle joint. *Journal of Biomechanics* 41, 854-860.
- Faria, L.G., Rahal, S.C., Agostinho, F.S., Minto, B.W., Matsubara, L.M., Kano, W.T., Castilho, M.S., Mesquita, L.R., 2014. Kinematic analysis of forelimb and hind limb joints in clinically healthy sheep. *BMC Veterinary Research* 10, 1-5.
- Hamill, J., Selbie, W.S., 2004. Three-dimensional kinematics. In: Robertson, D.G.E., Caldwell, G.E., Hamill, J., Kamen, G., Whittlesey, S.N. (Eds.), *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics, Champaign, pp. 35-52.

- Frank, C.B., Beveridge, J.E., Huebner, K.D., Heard, B.J., Tapper, J.E., O'Brien, J.O. E., Shrive, N.G., 2012. Complete ACL/MCL deficiency induces variable degrees of instability in sheep with specific kinematic abnormalities correlating with degrees of early osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic Research* 30, 384-392.
- Fu, Y-C., Torres, B.T., Budsberg, S.C., 2010. Evaluation of a three-dimensional kinematic model for canine gait analysis. *American Journal of Veterinary Research* 71, 1118-1122.
- Gillette, R.L., Angle, T.C., 2008. Recent developments in canine locomotor analysis: A review. *The Veterinary Journal* 178, 165–176.
- Gordon-Evans, W.J., 2012. Gait analysis. In: Tobias, K.M., Johnston, S.A. (Ed.), *Veterinary Surgery Small Animal*. Elsevier Saunders, St. Louis, pp. 1190-1196.
- Groen, B.E., Geurts, M., Nienhuis, B., J. Duysens, J., 2012. Sensitivity of the OLGA and VCM models to erroneous marker placement: Effects on 3D-gait kinematics. *Gait & Posture* 35, 517–521.
- Holsworth, I.G., DeCamp, C.E., 2002. Coxofemoral luxation. In: Slatter, D. (Ed.), *Textbook of Small Animal Surgery*. Saunders, Philadelphia, pp. 2002-2008.
- Kim, S.Y., Kim, J.Y., Hayashi, K., Kapatkin, A.S., 2011. Skin movement during the kinematic analysis of the canine pelvic limb. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 24, 326-332.
- Lundberg, A., 1996. On the use of bone and skin markers in kinematics research. *Human Movement Science* 15, 411-422.
- Malek, S., Moens, N.M.M., Monteith, G.J., 2012. The precision and repeatability of a custom-made pointer device for determination of virtual landmarks in canine three-dimensional kinematics. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 25, 102–108.
- McGee, M.A., Findlay, D.M., Howie, D.W., Carbone, A., Ward, P., Stamenkov, R., Page, T.T., Bruce, W.J., Wildenaue, C.I., Toth, C., 2004. The use of OP-1 in femoral impaction grafting in a sheep model. *Journal of Orthopaedic Research* 22, 1008-1015.
- McLaughlin, R.M. Kinetic and kinematic gait analysis in dogs, 2001. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* 31, 193-201.
- Meulen, M.C.H., Beaupré, G.S., Smith, R.L., Giddings, V.L., Allen, W.A., Athanasiou, K.A., Zhu, C.F., Mandell, J.A., Song, Y., Poser, R.D., Goodman, S.B., 2002. Factors influencing changes in articular cartilage following hemiarthroplasty in sheep. *Journal of Orthopaedic Research* 20, 669–675.
- Pasquini, C., Spurgeon, T., Pasquini, S., 2003. Joints. In: *Anatomy of Domestic Animal*. Sudz Publishing, USA, pp.103-132.

- Robertson, D.G.E., Caldwell, G.E., 2004. Planar kinematics. In: Robertson, D.G.E., Caldwell, G.E., Hamill, J., Kamen, G., Whittlesey, S.N. (Eds.), *Research Methods in Biomechanics. Human Kinetics*, Champaign, pp.9-34.
- Schulz, K., 2007. Coxofemoral joint. In: Fossum, T.W. (Ed.), *Small Animal Surgery*. Mosby, St. Louis, pp. 1233–1246.
- Sellers, W.I., Crompton, R.H., 1994. A system for 2- and 3D kinematic and kinetic analysis of locomotion, and its application to analysis of the energetic efficiency of jumping locomotion. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 80, 99-108.
- Taylor, W.R., Ehring, R.M., Duda, G.N., Schell, H., Seebeck, P., Heller, M.O., 2005. On the influence of soft tissue coverage in the determination of bone kinematics using skin markers. *Journal of Orthopaedic Research* 23, 726–734.
- Taylor, W.R., Ehrig, R.M., Heller, M.O., Schell, H., Seebeck, P., Duda, G.N., 2006. Tibio-femoral joint contact forces in sheep. *Journal of Biomechanics* 39, 791-798.
- Tapper, J.E., Fukushima, S., Azuma, H., Thornton, G.M., Ronsky, J.L., Shrive, N.G., Frank, C.B., 2006. Dynamic in vivo kinematics of the intact ovine stifle joint. *Journal of Orthopaedic Research* 24, 782-792.
- Tapper, J.E., Fukushima, S., Azuma, H., Sutherland, G., Marchuk, L., Thornton, G.M., Ronsky, J.L., Zernicke, R., Shrive, N.G., Frank, C.B., 2008. Dynamic in vivo three-dimensional (3D) kinematics of the anterior cruciate ligament/medial collateral ligament transected ovine stifle joint. *Journal of Orthopaedic Research* 26, 660-672.
- Teixeira, C.R., Rahal, S.C., Volpi, R.S., Taga, R., Cestari, T.M., Granjeiro, J.M., Vulcano, L.C., Correa, M.A., 2007. Tibial segmental bone defect treated with bone plate and cage filled with either xenogeneic composite or autologous cortical bone graft. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 20, 269-276.
- Torres, B.T., Punke, J.P., Fu, Y-C., Navik, J.A., Speas, A.L., Sornborger A., Budsberg, S.C., 2010. Comparison of canine stifle kinematic data collected with three different targeting models. *Veterinary Surgery* 39, 504–512.

Table 1

Location of the markers for kinematic modeling of the hip joint of the sheep.

Segment	Markers	Locations
Pelvis	RIC	Right iliac crest
	RITB	Right ischial tuberosity
	LIC	Left iliac crest
	LITB	Left ischial tuberosity
Femur	RGT	Right greater trochanter
	RDLEP* ⁺	Right distal lateral epicondyle
	RPLEP ⁺	Right proximal lateral epicondyle
	RQUA	Right quadriceps m.
	LGT	Left greater trochanter
	LDLEP* ⁺	Left distal lateral epicondyle
	LPLEP ⁺	Left proximal lateral epincondyle
	LQ	Left quadriceps m.

*Markers that are removed during the acquisition of dynamic trials.

⁺Markers of the clusters

Table 2

Comparison of flexion/extension maximum angle (°), minimum angle (°), and angular displacement (°) of the hip joint among joint coordinate system (M1), sagittal linear model (M2), and sagittal segmental model (M3) in clinically healthy sheep.

	M1	M2	M3	Significance		
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	M1/M2	M1/M3	M2/M3
Maximum angle	105.75 ± 3.88 ^a	105.63 ± 3.6 ^a	109.10 ± 4.11 ^b	NS	S**	S****
Minimum angle	91.22 ± 1.6 ^a	91.43 ± 1.35 ^a	93.09 ± 2.35 ^b	NS	S**	S**
Angular displacement	14.52 ± 3.54 ^{ab}	14.2 ± 3.21 ^a	16.00 ± 3.06 ^b	NS	NS	S****

Same letter on the line means are not significantly different

Table 3

Comparison of abduction/adduction maximum angle (°), minimum angle (°), and angular displacement (°) of the hip joint among joint coordinate system (M1), sagittal linear (M2), and sagittal segmental (M3) models in clinically healthy sheep.

	M1	M2	M3	Significance		
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	M1/M2	M1/M3	M2/M3
Maximum angle	104.54 ± 2.43 ^a	104.91 ± 2.34 ^a	110.19 ± 1.9 ^b	NS	S***	S***
Minimum angle	94.07 ± 2.81 ^a	94.70 ± 2.26 ^a	101.12 ± 1.8 ^b	NS	S***	S***
Angular displacement	10.46 ± 1.29 ^a	10.21 ± 1.09 ^a	9.06 ± 1.05 ^b	NS	S**	S**

Same letter on the line means are not significantly different

Table 4

P values and Spearman correlation coefficients (rho) of flexion/extension maximum angle (°), minimum angle (°), and angular displacement (°) of the hip joint among joint coordinate system (M1), sagittal linear model (M2), and sagittal segmental model (M3) in clinically healthy sheep.

	M1/M2		M1/M3		M2/M3	
	<i>P</i> values	Rho	<i>P</i> values	rho	<i>P</i> values	rho
Maximum angle	<0.001	0.993	<0.001	0.923	<0.001	0.934
Minimum angle	0.005	0.665	0.019	0.58	<0.001	0.818
Angular displacement	<0.001	0.965	<0.001	0.772	<0.001	0.801

Table 5

P values and Spearman correlation coefficients (rho) of abduction/adduction maximum angle (°), minimum angle (°), and angular displacement (°) of the hip joint among joint coordinate system (M1), sagittal linear (M2) and sagittal segmental (M3) models in clinically healthy sheep.

	M1/M2		M1/M3		M2/M3	
	<i>P</i> values	Rho	<i>P</i> values	Rho	<i>P</i> values	rho
Maximum angle	<0.001	0.884	<0.001	0.869	<0.001	0.809
Minimum angle	<0.001	0.981	<0.001	0.851	<0.001	0.878
Angular displacement	0.002	0.712	0.003	0.692	0.096	0.43

Tabela 2 - Comparação dos ângulos máximos (°), ângulo mínimos (°) e deslocamentos angulares (°) de rotação interna/externa, entre as articulações coxofemorais direita e esquerda, obtidos com o sistema de coordenada articular (M1), em ovinos hípidos da raça Santa Inês.

	Direita	Esquerda	Geral
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
Ângulo Máximo	33,33 ± 12,09	37,63 ± 7,45	35,48 ± 10,41
Ângulo Mínimo	-8,87 ± 9,87	0,09 ± 6,05	-4.38 ± 9,16
Deslocamento	42,21 ± 8,87	37,54 ± 5,94	39,87 ± 7,38

496 **Figure legends**

497

498 Fig.1. Observe the cranial marker displacement due to skin movement.

499

500 Fig. 2. Graphs of flexion/extension and abduction/adduction angles for the three models and
501 internal/external rotation angles for M1 model.

502



TABLE OF CONTENTS

•	Description	p.1
•	Audience	p.1
•	Impact Factor	p.1
•	Abstracting and Indexing	p.1
•	Editorial Board	p.2
•	Guide for Authors	p.4



ISSN: 1090-0233

DESCRIPTION

The Veterinary Journal publishes worldwide contributions on all aspects of **veterinary science** and its related subjects. It provides regular book reviews and a short communications section. The journal regularly commissions topical reviews and commentaries on features of major importance. Research areas include **infectious diseases**, applied biochemistry, parasitology, endocrinology, microbiology, immunology, pathology, pharmacology, physiology, molecular biology, immunogenetics, surgery, ophthalmology, dermatology and oncology.

The Veterinary Journal continues the title *British Veterinary Journal*, the name change reflecting the international nature of the Journal, in both content and editorial team.

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our [author services](#).

Please see our [Guide for Authors](#) for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our support pages: <http://support.elsevier.com>

AUDIENCE

Research Workers in Veterinary Science

IMPACT FACTOR

2014: 1.755 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2015

ABSTRACTING AND INDEXING

Current Contents/Agriculture, Biology & Environmental Sciences
Medline/Index Medicus
Focus on: Veterinary Science and Medicine
Science Citation Index
Excerpta Medica
Scopus

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Andrew J. Higgins, United Kingdom

Senior Scientific Editor

Adrian W. Philbey, United Kingdom

Scientific Editors

Simon Bailey, Australia

Vanessa Barrs, Australia

Marijke Beltman, Ireland

Eric A. Blomme, USA

Makoto Bonkobara, Japan

Brian Catchpole, United Kingdom

Wayne R. Hein, Australia

Nick Jeffrey, USA

Annette Litster, USA

Christopher Whitton, Werribee, Victoria, Australia

Books Editor

Derek Knottenbelt, OBE, DVM&S, DVM&S, DipECEIM, MRCVS, Glasgow, Scotland, UK

Editorial Office

Advisory Board

David J. Argyle, United Kingdom

David C. Barrett, United Kingdom

Sara Bennett, Berwyn, Illinois, USA

Sofie Bhatti, Belgium

Lisa Boden, United Kingdom

Sabine Breit, Austria

Joseph P. Cassidy, Ireland

Yu-mei Chang, United Kingdom

Peter D. Constable, USA

Pieter Cornillie, Belgium

Stephen Dunham, United Kingdom

Sue Dyson, United Kingdom

Daniel Elad, Israel

Virginia Fajt, USA

Kannan Ganapathy, United Kingdom

Robert O. Gilbert, USA

Mario Giorgi, Italy

Catherine Hackett, USA

Nicholas Jonsson, United Kingdom

Nathalie Kirschvink, Belgium

Johann Kofler, Austria

M. Fabiana Landoni, Argentina

Richard A. Laven, Palmerston North, New Zealand

Dominiek Maes, Belgium

Lorella Maniscalco, Italy

Catherine McGowan, Neston, UK

Cathryn Mellersh, United Kingdom

Sam Millet, Belgium

Paul C. Mills, Australia

Reinhardt Mischke, Germany

Ali Mobasher, United Kingdom

Martina Mosing, Switzerland

Ralf Mueller, Germany

Hideo Murata, Japan

Frank Nicholas, Australia

Tanja Opriessnig, United Kingdom

Frederick D. Quinn, USA

Christopher M. Riggs, Hong Kong

Mark Rishniw, USA

Konrad Sachse, Germany

Rance K. Sellon, DVM, PhD, DACVIM, Pullman, Washington, USA

Hein van Lith, The Netherlands
René van Weeren, The Netherlands
Kurt Verkest, Hong Kong
Claire Wade, BSc (Hons) PhD GCertEd, Sydney, New South Wales, Australia
Andrew S. Waller, United Kingdom
Dan Weary, Canada
Joshua Webster, DVM, PhD, DACVP, San Francisco, California, USA
Hsin-Yi Weng, USA
Dick White, UK
Panagiotis G. Xenoulis, USA

GUIDE FOR AUTHORS

INTRODUCTION

The Veterinary Journal (established 1875) is an international journal of veterinary research that publishes original papers and reviews on all aspects of veterinary science. Contributions reporting investigative work in the scientific disciplines involving veterinary species are particularly welcome where they make a significant contribution to the field. The Editors will be pleased to consider suggestions for Special Issues on subjects of topical importance. The journal also publishes Guest Editorials and occasionally Personal Views, but does not have a Letters section. Book Reviews are published on-line.

Types of paper

Manuscripts may describe original work in a Full Paper (Original Article) or a Short Communication, or may form a Review of the existing state of knowledge on a particular aspect of veterinary science. Reviews should, in general, be written in support of original investigations. Case Reports are not published.

Reporting Standards

The Editors and reviewers use several published guidelines for reporting standards (see Appendix below). Conforming to these reporting standards allows the Editors and reviewers to assess the quality and originality of submissions and offers readers sufficient information to judge the relevance of the work in an appropriate context. Omission of requirements specified in the relevant guidelines for reporting standards may lead to rejection of a manuscript. For further information, please see *The Veterinary Journal* (2010) 184, 249-250 ([view article](#)).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Animal welfare

Where animals have been used in a study, the institutional ethical or animal welfare Authority under which the work was conducted must be stated, along with the specific authorisation reference number and the date of approval. Such studies must meet Animals in Research: Reporting In Vivo Experiments (ARRIVE) guidelines ([view article](#)). The Veterinary Journal will reject any paper where there is reason to believe that animals have been subjected to unnecessary or avoidable pain or distress.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/p/7923.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/sharingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

Changes to authorship

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors,

this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more information see <http://www.elsevier.com/copyright>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

After acceptance, open access papers will be published under a noncommercial license. For authors requiring a commercial CC BY license, you can apply after your manuscript is accepted for publication.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<http://www.elsevier.com/access>).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is **USD 3000**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and begins from the publication date of the issue your article appears in.

This journal has an embargo period of 12 months.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

Please note that there are a number of commercial organisations that will assist non-English speaking Authors in preparing their manuscripts for publication in international peer-reviewed journals. Further advice is available from Elsevier at <http://www.elsevier.com/locate/languagepolishing>. Some such services only offer help to improve the use of English and it remains the Authors responsibility to ensure that TVJ's layout and formatting requirements are also met.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Options will be given for Authors to select a set of classifications for their papers, as well as a category designation (Original Article, Review, Short Communication etc.), from a given list.

Authors must submit articles in WORD format and not as PDF files. PDF proofs will be automatically generated from uploaded files and these are used for subsequent reviewing. Queries concerning the submission process or journal procedures should be sent by e-mail to: AuthorSupport@elsevier.com.

The Corresponding Author, who is normally the Author submitting the paper, will be asked to confirm that the article is original and is not being considered for peer-reviewed publication elsewhere. Submission also implies that all of the Authors have approved the paper for release and are in agreement with its content. Upon acceptance of the article by The Veterinary Journal, the Author(s) will be asked to transfer the copyright of the article to the Publisher. This transfer will ensure the widest possible dissemination of information.

The Corresponding Author will also be required to confirm that all Authors have made substantial contributions to (1) the conception and design of the study or acquisition of data or analysis and interpretation of data, (2) drafting the article or revising it critically for important intellectual content, and (3) final approval of the version to be submitted. Contributors who do not meet these criteria

for authorship should be listed in an Acknowledgements section. Examples of those who might be acknowledged include a person who provided purely technical help, writing assistance, or a Departmental Chair who gave general support.

Submit your article

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/ytvjl>.

PREPARATION

Use of Word Processing Software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

Authors submitting papers that are suitable for consideration but do not comply fully with this Guide will be asked to amend the text and re-submit. Model article formats in WORD are available (click to follow link below as appropriate): [Original Article](#) [Short Communication](#) [Review](#) [Guest Editorial](#) [Personal View](#) [Book Review](#)

Original Articles should be no longer than 3,000 words in length, excluding the Title page, Abstract, Acknowledgements, Tables, Figures and References. Reviews should be about 4,000 words in length and Short Communications up to 1,000 words.

Articles

Original Articles should be arranged as follows: (1) Title page; (2) an Abstract of up to 250 words (with no sub-headings), which should emphasise objectives, the experimental procedure, results and conclusions; up to five Keywords in alphabetical order and in Title case should be supplied below the Abstract; (3) the main text must be sub-divided into Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, and Conclusions; (4) Conflict of interest statement; (5) Acknowledgements; (6) Appendix: Supplementary material (where this is provided; see below); (7) References; (8) Tables; (9) Figure legends; (10) Figures (uploaded as separate files). The sections should not be numbered. Please see the model article provided ([view here](#))

Please note: Insert a page break only after the Title page, after the Abstract with Keywords, after the References section, between each Table, and before the Legends to figures. The Results and Discussion sections must be distinct and not combined. Avoid sub-headings in the Discussion section. References must not be included within the Conclusions section. The first person (I, we, our) must be avoided in the Abstract, but may be used elsewhere in the paper.

Tables should be included within the article and placed sequentially after the References, but before the Figure legend(s), with one Table per page.

Figure legends should be included in the main manuscript file after any Tables. Each figure should be uploaded as a separate file (Fig. 1, Fig. 2 etc.).

Short Communications should follow the requirements for full manuscripts, but the text must not exceed 1,000 words and the paper should not be divided into conventional sections. Headings for the Abstract, Keywords, Acknowledgements, Conflict of interest statement and References should be included, but there should be no other headings or subheadings in the main text. There should be

no more than 10 references in a Short Communication. An Abstract of not more than 125 words is required and up to five Keywords should be supplied below it. Please see the model article provided ([view here](#)).

Review Articles may be commissioned or proposed. Authors wishing to submit a review article are advised to contact the Editor at tvj@aht.org.uk. Reviews are about 4000 words in length and may cover any relevant aspect of veterinary science or comparative medicine. Reviews should follow the layout for Original Articles, but with the main text subdivided as appropriate to the subject matter, starting with an Abstract and Introduction and incorporating Conclusions and a Conflict of interest statement. Sections should not be numbered. Please see the model article provided ([view here](#)).

Guest Editorials are commissioned by the editors; unsolicited Guest Editorials must not be submitted. Commissioned Guest Editorials are usually 500-1000 words in length and must follow the layout of the model article provided ([view here](#)). They usually include references, but should not be divided into sections and no Acknowledgements or Conflict of interest statement are required. Where a Guest Editorial is commissioned to accompany another article, it must refer to that article in the text and the reference should be provided in TVJ format at the end of the Editorial.

Personal Views are commissioned by the Editors; unsolicited Personal Views must not be submitted without the agreement of the Editors. Authors must follow the format of the model article provided ([view here](#)). It is at the Editors' discretion whether a Personal View should be sent to reviewers or whether or not it will be published in TVJ. The length of the Personal View must be agreed with the Editors in advance of submission.

Book reviews

Publishers or Authors wishing to have a book considered for review in The Veterinary Journal should first contact the Books Editor at tvj@aht.org.uk. Book reviews are published in electronic format only.

Subdivision - unnumbered sections

Divide your article into clearly defined sections. Each subsection is given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line. Subsections should be used as much as possible when cross-referencing text: refer to the subsection by heading as opposed to simply 'the text'.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum

of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: [Illustration Service](#).

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Prior presentation of data

Prior presentation of results, in the form of abstracts, posters or oral presentations at conferences, must be mentioned clearly in the Acknowledgements, with wording along the lines of: "Preliminary results were presented as an Abstract at the 9th International Congress of Veterinary Virology, Madrid, 4th-7th September 2012."

(Nomenclature and) Units

Units. Metric units must be used. If other units need to be given, they must be placed in brackets after the metric equivalent. Units, symbols and abbreviations of units should conform to the International System of Units as defined in Baron, D.N., McKenzie-Clarke, H., 2008, Units, Symbols and Abbreviations: A Guide for Authors and Editors in Medicine and Related Sciences, 6th Ed., The Royal Society of Medicine, London ([available here](#)). All other abbreviations should be unambiguous and should be clearly explained where they are first mentioned in the Abstract and text. Do not list abbreviations separately.

Note that litre is abbreviated to 'L', millilitre 'mL', (also mmol/L etc.); probability is given as P (upper case italics), as in $P < 0.05$; also note 'Student's t test' and Mann-Whitney U test; correlation coefficient r as in $r = 0.92$, coefficient of determination, r^2 as in $r^2 = 0.72$; standard deviation and standard error should be abbreviated to SD and SE, respectively; hour, minute and second are abbreviated to h, min and s; day, week and year are given in full. For drug dose frequency use e.g. 'three times daily' or '8-hourly' rather than Latin terms such as t.i.d. or q 8 h. Where centrifugation has been performed, use g values not rpm. Other common abbreviations include 'IV' for intravenous or intravenously, 'IM' for intramuscular or intramuscularly, 'SC' for subcutaneous and subcutaneously, 'PO' for per os or orally; use 'vs.' for 'versus'. Use the abbreviation G for gauge of needle. The symbol for degrees Celsius should be written in the format '°C', with the value separated from the unit by a space, e.g. '37 °C'. Use the WORD symbols for $\pm$, Greek letters etc. Percentages should be referred to as, for example, '15%' or 'Fifteen per cent' when starting a sentence. Note also 'post-mortem' and 'ante-mortem'.

When a number is followed by a unit use the digits as in '10 mL' unless starting a sentence in which case write in full 'Ten microlitres'. When the number describes a quantity of items write the number in full up to ten as 'four sheep' or 'ten tubes' then in digital form thereafter as '24 horses' or '200 blood samples'. Avoid the symbol # or abbreviation 'No.' for 'number'.

Single ('...') quotation marks should be used for specific extracts, as in: "A PubMed search utilizing the search terms 'canine castration local anaesthesia' returned three publications." Where a reference is cited or a quote given, use single quotation marks and place the text in italic font as: "However, in the 'Recommended Guideline for the Conduct and Evaluation of Prognostic Studies in Veterinary Oncology' developed recently by the American College of Veterinary Pathologists ..." Double ("...") quotation marks should be avoided.

Anatomical terminology. Terminology should comply with the World Association of Veterinary Anatomists Nomina Anatomica Veterinaria (2005) and terms should be given in English where possible

(see: http://www.wava-amav.org/Downloads/nav_2005.pdf).

Currencies. A footnote should be inserted at first use if a currency is given in the text, as in 'UK £5001' and conversion rates provided using the following three currencies US\$, UK£ and Euros (€). The footnote should read as appropriate, for example: '£1 = approx. US\$1.60, €1.24 at 2 December 2012.' Rates can be updated by the Author at proof stage if necessary. An easy to use currency converter is available here: <http://uk.reuters.com/business/currencies>.

Manufacturers. Manufacturers and suppliers should be indicated within the text after the name of the product. For example: 'diazepam (Valium, Roche)' or 'using an infusion pump (Medfusion 2010, Medex)'. Addresses/locations of manufacturers should not be given and the use of ® or ™ should be avoided. Note: proprietary names must not appear in the title or Abstract.

Applying capital letters to directions. Compass directions such as North, South, East and West, as well as their derivatives, such as North-East, North-West, South-East and South-West, should be capitalised when they are used to designate defined or recognised geographical regions, or when they are an integral part of a proper name. Examples include "Eastern Europe", "Southern France", "North-East England", "in the North", "down South", "the West Coast" and "the Eastern Seaboard", "the Western Region of Kazakhstan", "Southern California". Compass directions should not be written with capital letters when they indicate general locations or directions without a specific location. Examples include "bluetongue virus initially spread in a north-westerly direction on air currents", "the northern boundary of the quarantine zone", "cases were clustered in the east of the region", "westerly winds". The first letter of each word of a Compass direction should be capitalised when used to refer to people in a region, particularly in social, cultural or political contexts. Examples include "wildebeest are hunted by the Southern tribes", "horses have been an integral part of Western civilisation since the Middle Ages". Words such as northern, southern, eastern, and western that precede a place name usually are not capitalised, since they indicate a general location within a region. When these words are an integral part of the place name, they should be capitalised. For example, write "northern Connecticut", but "Northern Ireland" and "Western Australia".

Nucleotide sequences

Submission of a manuscript implies that primary nucleotide sequence data will be deposited with an internationally available repository. Sequence reference numbers should be provided, where appropriate, in the main text, Tables, Figures or as an e-only supplementary file.

Artwork

Figures. The quality of all Figures submitted must be high. The Editors will reject Figures of an unacceptable standard or ask the Authors to replace them. Figures should be referred to sequentially in the text as Fig. 1, Fig. 2, Figs. 3a,b and 4, etc. A Legend must be provided for each Figure and placed after any Tables in the main manuscript file. Do not write legends on the figures themselves. Scale bars must be provided on all photomicrographs and electron micrographs.

In preparing figures, Authors should note the following: Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork. Save text in figures as "graphics" or enclose the font. Only use the following fonts in your figures: Times New Roman, Arial, Courier, Helvetica, Symbol. Number the figures according to their sequence in the text. Use a logical naming convention for your artwork files. Provide all figures as separate files. Produce images near to the desired size of the printed version. Ensure that all units and wording in the figures conform to TVJ style (see Units above). Please note that each figure must be uploaded to the journal website separately and not included in the main manuscript.

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.

- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications that can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Tables

Each Table should be typed on a separate page, numbered (1, 2 etc.) and a brief title given directly above each table. Tables should be in portrait format. Footnotes to tables should be indicated by a, b etc. and typed at the bottom of the relevant table. Information in tables should not be duplicated in figures and vice versa. The tables should be placed at the end of the main text after the References but before the Figure Legends.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Websites

Where a website is appropriate in the text, a footnote should be inserted using sequential numeric superscripts. At the foot of the page, provide the link as follows: '1See: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast>.' It is the Authors' responsibility to check that all URLs are active and live at proof stage and if not then the text must be amended accordingly.

Reference management software

Most Elsevier journals have a standard template available in key reference management packages. This covers packages using the Citation Style Language, such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and also others like EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to word processing packages which are

available from the above sites, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style as described in this Guide. The process of including templates in these packages is constantly ongoing. If the journal you are looking for does not have a template available yet, please see the list of sample references and citations provided in this Guide to help you format these according to the journal style.

If you manage your research with Mendeley Desktop, you can easily install the reference style for this journal by clicking the link below:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/the-veterinary-journal>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice. For more information about the Citation Style Language, visit <http://citationstyles.org>.

Reference style

Authors are strongly advised to use reference management software such as EndNote ([see here](#)). However, references should be checked carefully for accuracy and corrected manually to ensure the format matches exactly the TVJ style described below.

Only essential references should be included. Text citations can be in either of two ways: (a) with date in parentheses, e.g. as demonstrated by Mills (2011); or (b) with names and dates in parentheses, e.g. according to recent findings (Mills, 2011). If a citation has more than two Authors the first Author should be given followed by et al. in standard text format (not italicised), e.g. Jones et al. (2007) or (Jones et al., 2007). Where lists of references are cited in the text, they should be placed first chronologically and then alphabetically, e.g. (Philbey et al., 2003; Cassidy and Mills, 2005; Litster, 2010). If two or more references by the same Author(s) published in the same year are cited, they should be distinguished from each other by placing a, b, etc. after the year, e.g., (Laven, 2011a, b; Laven and Smith, 2010a, b). Personal communications should be designated as '(E.A. Blomme, personal communication)'.

Papers that are in press may be cited using the year of acceptance where the digital object identifier (doi number) has been allocated. This can be updated to the year of print publication at the proof stage if the cited paper has been published. In the Reference list, quote the doi number where details of the journal volume and page numbers are yet not known.

Submitted papers should not be cited, but instead should be referred to in the text as, e.g. 'J.P. Cassidy et al., unpublished data'. This can be updated at proof stage where appropriate. Where a paper in press is cited in the manuscript, the Authors may be asked to make a copy of the proofs available to the editors and reviewers.

The Reference list at the end of the paper should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. References should be single spaced and a line break should be inserted between each reference. All Authors should be included up to 10, after which you should write 'et al.'; Please note that in all cases Journal titles must be given in full. Volume numbers and full page numbers should be provided, but issue numbers should be omitted. Where a Supplement is cited, give the Supplement number e.g. 'Equine Veterinary Journal Suppl. 37' or 'Journal of Reproduction and Fertility 54 (Suppl. 1), 115-126'. Where selected pages only have been consulted, such as in a book, this is given by 'pp. 237-240' or 'p. 456' (see below).

References should be set out as follows:

Journal reference - Yang, Y., Dahly-Vernon, A.J., Blomme, E.A.G., Lai-Zhang, J., Kempf, D.J., Marsh, K.C., Harrington, Y.A., Nye, S.H., Evans, D.L., Roman, R.J. et al., 2010. Liver transcriptomic changes associated with ritonavir-induced hyperlipidemia in sensitive and resistant strains of rats. The Veterinary Journal 185, 75-82.

Book reference - Cunningham, J.C., Klein, B.G., 2007. Endocrinology. In: Textbook of Veterinary Physiology, Fourth Ed. Saunders Elsevier, St. Louis, MO, USA, pp. 439-448.

Proceedings - Elbers, A.R., Mintiens, K., Staubach, C., Gerbier, G., Meiswinkel, R., Hendrinckx, G., Backx, A., Conraths, F.J., Meroc, E., Ducheyne, E., et al., 2007. Bluetongue virus serotype 8 epidemic in North-western Europe in 2006: Preliminary findings. In: Proceedings of the Annual Meeting of the Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine, Dipoli, Finland, pp. 231-245.

Theses - Duz, M. 2009. Assessment of a methodology for determination of H₂O₂ concentration and pH in exhaled breath condensate in horses with and without lower airway inflammation. Thesis, Master of Veterinary Medicine, University of Glasgow.

Web addresses - FAOSTAT, 2008. Food and Agricultural Organization Statistical Database: Live Animals. <http://faostat.fao.org> (accessed 15 July 2010).

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations: <http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

Supplementary material

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Where Supplementary data are provided (see further information below), use the following wording in the main text after the Acknowledgements:

Appendix: Supplementary material

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at doi: ...'

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)

Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required.
- For reproduction in black-and-white, please supply black-and-white versions of the figures for printing purposes.

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal

medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Proofs

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves. Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 9 (or higher) available free from <http://get.adobe.com/reader>. Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site: <http://www.adobe.com/products/reader/tech-specs.html>.

If you do not wish to use the PDF annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com). This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at <http://www.elsevier.com/track-submission>. You can track your accepted article at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.

Appendix

Reporting Guidelines

Reporting guidelines are available for a broad range of study designs and allow research to be critically evaluated. These guidelines have been designed by international scientific teams to promote the quality of research reporting and to ensure there is a transparent, accurate and complete account of the research. The guidelines are freely available and include the following:

1. Standards for the reporting of diagnostic accuracy studies (STARD) <http://www.stard-statement.org>
2. Standards for the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) <http://www.strobe-statement.org>
3. Outbreak investigation reports and intervention studies of nosocomial infection (ORION) <http://www.idrn.org/orion.php>
4. Consolidated standards for reporting randomised clinical trials (CONSORT) <http://www.consort-statement.org>
5. Systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) <http://www.prisma-statement.org>
6. Randomised control trials for livestock and food safety (REFLECT) <http://www.reflect-statement.org/statement>

7. Enhancing the quality and transparency of health research (including good publication practice for pharmaceutical companies), economic evaluations and qualitative research (EQUATOR) <http://www.equator-network.org>

For further information see The Veterinary Journal (2010) 184, 249-250 ([view article](#)).

© Copyright 2014 Elsevier | <http://www.elsevier.com>