

SAMUEL PEREIRA SIMONATO

**ANÁLISE DESCRITIVA DA CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL E
ELETROMIOGRÁFICA DA COLUNA TORACOLOMBAR DA RAÇA
MANGALARGA MARCHADOR**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - Brasil
2016**

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

T

S596a
2016
Simonato, Samuel Pereira, 1989-
Análise descritiva da cinemática tridimensional e
eletromiográfica da coluna toracolombar da raça
Mangalarga Marchador / Samuel Pereira Simonato. - Viçosa,
MG, 2016.
vi, 75f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Brunna Patrícia Almeida da Fonseca.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f.68-74.

1. Mangalarga (Cavalo). 2. Mangalarga (Cavalo) -
Coluna vertebral. 3. Mangalarga (Cavalo) - Eletromiografia .
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Medicina Veterinária. Programa de Pós-graduação em
Medicina Veterinária. II. Título.

CDD 22. ed. 636.13

SAMUEL PEREIRA SIMONATO

**ANÁLISE DESCRITIVA DA CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL E
ELETROMIOGRÁFICA DA COLUNA TORACOLOMBAR DA RAÇA
MANGALARGA MARCHADOR**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016**

SAMUEL PEREIRA SIMONATO

**ANÁLISE DESCRITIVA DA CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL E
ELETROMIOGRÁFICA DA COLUNA TORACOLOMBAR DA RAÇA
MANGALARGA MARCHADOR**

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

APROVADO: 22 de fevereiro de 2016.

Prof^ª. Amanda Piaia Silvatti
(Coorientadora)
(UFV)

Prof. André Gustavo Pereira de
Andrade
(UFMG)

Prof^ª. Brunna P. Almeida da Fonseca
(Orientadora)

RESUMO

SIMONATO, Samuel Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Análise descritiva da cinemática tridimensional e eletromiográfica da coluna toracolombar da raça mangalarga marchador.** Orientadora: Brunna P. Almeida da Fonseca. Coorientadora: Amanda Piaia Silvatti.

O objetivo deste trabalho foi realizar a análise descritiva da cinemática e atividade eletromiográfica da coluna vertebral de equinos durante a marcha. A amostra foi composta por 5 equinos adultos, Mangalarga Marchador, livres de claudicação ou dor lombar. Para a análise tridimensional foram utilizados marcadores (retroreflexivo, 2,6 cm de diâmetro), fixados na pele dos animais com fita adesiva dupla face hipoalergênica, nas apófises dos processos espinhosos das vértebras torácicas (T8, T12, T15, T18), lombares (L3 e L5), da 1ª (S1) vértebra sacral e 1ª (Cd1) coccígea, foram utilizadas 18 câmeras (PRIME 17w, 250Hz – Optitrack System®) posicionadas ao redor do animal. O volume de aquisição foi de 16,0×4,8×3,0 metros. Foi avaliada a atividade eletromiográfica nos músculos Longuíssimo Dorsal, Oblíquo Abdominal Externo, Reto Abdominal e Glúteo Médio a partir de sensores (Delsys®) de superfície fixados sobre os mesmo. Os animais foram conduzidos na marcha ao cabresto, de forma rotineira ao exame de claudicação, pelo volume de aquisição. Cada animal realizou cinco passagens pelo volume, com três passadas completas de cada passagem utilizadas para análise. O ciclo da passada foi determinado por dois contatos consecutivos do membro torácico direito ao solo. Os ângulos estudados neste trabalho foram formados pelos marcadores T8-T12-T15 (Torácico Cranial), T12-T15-T18 (Torácico Caudal), T12-T18-L5 (Toracolombar 1), T15-T18-L3 (Toracolombar 2), T18-L3-L5 (Lombar) e L3-S1-Cd1 (Lombossacro), calculados nos planos sagital e transverso. A média e o desvio padrão da variação dos ângulos estudados foi descrita para cada animal em função do ciclo médio de uma passada (100%), e relacionada as fases de apoio e suspensão de cada membro durante este ciclo. Os animais não apresentaram grande mobilidade da coluna vertebral durante a marcha em nenhum dos planos estudados. A lateroflexão ocorreu na região torácica durante o terço médio do apoio diagonal, ipsilateral ao membro torácico apoiado; Na região toracolombar ocorreu no terço médio da fase de apoio diagonal, ipsilateral ao membro pélvico apoiado. No plano sagital o ângulo Torácico Cranial apresentou pico de extensão no terço médio dos apoios diagonais e o de flexão durante o momento de suspensão. No ângulo

Torácico Caudal o pico de extensão ocorreu no terço inicial dos apoios diagonais e o de flexão ao final dos mesmos. A coluna torácica foi mantida em postura de flexão durante as trocas de apoio diagonais. Na região toracolombar a máxima extensão ocorreu durante a metade de cada apoio diagonal, com a extensão completa ocorrendo durante os mesmos, e a máxima flexão ocorreu ao final dos apoios diagonais e durante suas trocas, incluindo os apoios tripedais. A articulação lombossacra apresentou predomínio do movimento de extensão. A atividade eletromiográfica do Longuíssimo Dorsal foi ipsilateral ao membro pélvico apoiado, na metade dos apoios diagonais. No Oblíquo Abdominal Externo a atividade foi ipsilateral ao membro pélvico apoiado, no início dos apoios diagonais. O Reto Abdominal apresentou atividade bilateral, no início dos apoios diagonais. O Glúteo Médio apresentou atividade ipsilateral ao membro pélvico, do final da fase de suspensão até metade do apoio do mesmo.

ABSTRACT

SIMONATO, Samuel Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2016. **Descriptive analysis of the three-dimensional kinematics and electromyographic of the thoracolumbar spine of mangalarga marchador horses.** Adviser: Prof. Brunna P. Almeida da Fonseca. Co-adviser: Prof. Amanda Piaia Silvatti.

The aim of this study was to perform a descriptive analysis of kinematics and electromyographic activity of the spinal column of horses during the gait marcha. Five healthy Mangalarga Marchador horses (without lameness and back pain) were analyzed. For the acquisition of three-dimensional coordinates of the markers (retroreflective, 2.6 cm diameter), fixed on the skin with double-sided hypoallergenic tape, over the apophyses of the spinous processes of the thoracic vertebrae (T8, T12, T15, T18), lumbar (L3 and L5), 1st (S1) sacral vertebra and 1st (Cd1) coccygeal, were used eighteen OptiTrack Prime 17W cameras (250Hz) were positioned around the animals and an acquisition volume of 16×4.8×3 meters was used. Electromyographic activity was assessed in the *longissimus dorsi*, Oblique External Abdominal, *rectus abdominis* and *gluteus medius* from fixed surface sensors on the same. The animals were conducted from the acquisition volume at gait “marcha”, routinely the examination of lameness. Each animal held five passages by volume, with three complete steps of each passage used for analysis. The cycle of the step was determined by two consecutive contacts right forelimb to the ground. Angles studied in this work were formed by markers T8-T12-T15 (Thoracic Cranial), T12-T15-T18 (thoracic flow), T12-T18-L5 (thoracolumbar 1), T15-T18-L3 (thoracolumbar 2), T18 -L3-L5 (lumbar) and L3-S1-Cd1 (lumbosacral), calculated in the sagittal and transverse planes. The mean and standard deviation of the variation of angles studied described for each animal according to the one step cycle (100%) and the related phase support and each suspension member during this cycle. The animals showed no great mobility of the spine during gait in any of the studied plans. The lateral flexion occurred in the thoracic region during the middle third of the diagonal support, on the ipsilateral forelimb supported; In the thoracolumbar region occurred in the middle third of the diagonal support phase, on the ipsilateral hindlimb supported. In the sagittal plane the Thoracic Cranial angle presented extension peak in the middle third of the diagonal support and bending during the time of suspension. The Cranial Thoracic angle extension peak occurred in the first third of the diagonal

support and bending the end of the same. The thoracic spine was kept bending posture during the exchange of diagonal support. In the region thoracolumbar maximum extension occurred during half of each diagonal support, as occurring during the full extension thereof, and the maximum bending occurred at the end of the diagonal support and during their exchanges, including tripedal support. The lumbosacral joint showed a predominance of the extension movement. The electromyographic activity of the *longissimus dorsi* was ipsilateral to the pelvic limb resting in the middle of the diagonal support. The Oblique External Abdominal activity was ipsilateral to the pelvic limb supported at the beginning of the diagonal support. The *rectus abdominis* showed bilateral activity at the beginning of the diagonal support. The *gluteus medius* activity showed ipsilateral to the pelvic limb, the end of the suspension phase to half the support of the same.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Análise Cinemática	3
2.2 Eletromiografia	5
2.3 Marcha x Trote	6
2.4 Anatomia da coluna vertebral dos equinos	7
2.4.1 Vértebras	8
2.4.2 Músculos	11
2.5. Cinemática da coluna dos equinos	12
2.6 Atividade Muscular da coluna dos equinos	18
3 OBJETIVOS	21
3.1 Geral	21
3.2 Específicos	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Animais	22
4.2 Coleta de Dados	22
4.2.1 Cinemática	22
4.2.2 Eletromiografia	28
4.2.3 Análise dos dados	31
5 RESULTADOS	32
5.1 Cinemática	32
5.2 Eletromiografia	44
6. DISCUSSÃO	53
6.1 Cinemática	53
6.2 Eletromiografia	59
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
8. CONCLUSÃO	66
9. REFERÊNCIAS	68

1 Introdução

O mercado equestre nacional é um setor crescente da economia, responsável pela geração 640 mil empregos diretos e 200.000 indiretos, movimentando um montante de R\$ 7,3 bilhões por ano (LIMA et al., 2006). Especificamente para o estado de Minas Gerais, as atividades envolvendo a equinocultura demonstram expressivas dimensões social e econômica, visto que são empregadas 86 mil pessoas e, nos criatórios mineiros, circulam mais de R\$1,5 bilhões por ano (VIEIRA et al., 2015).

Neste cenário o Mangalarga Marchador possui um papel importante. No ano de 2012 foram realizados no país 230 eventos da raça, com participação de 9.125 expositores e julgamento de 21.072 animais, além da realização de 25 eventos no exterior. Neste mesmo ano, 4.510 animais foram comercializados em 50 leilões da raça (SANTIAGO, 2013). Com um aumento do número e qualidade dos animais marchadores, observa-se um conseqüente aumento no nível de exigência atlética, associado ao fato de que se busca a máxima expressão do desempenho entre os 3 e 4 anos de idade, quando o animal ainda não atingiu seu completo desenvolvimento estrutural. Somando todos esses pontos ao fato de as provas de marcha, pela sua característica, exigirem um grande esforço físico por tempo prolongado, a incidência de afecções do sistema locomotor é relativamente alta. Dentre estas afecções, se encontram as lombalgias, que correspondem de 4,35% (ALVES et al., 2004) a 32% (LANDMAN et al., 2004) das claudicações, um número elevado, quando se analisa as várias enfermidades que acometem o sistema locomotor dos equinos.

A elevada incidência de enfermidades toracolombares, o difícil diagnóstico e a importância desta região na locomoção da espécie equina justificam as investigações nesta área, direcionadas a uma melhor qualidade no diagnóstico e principalmente à prevenção. Um animal atleta que possua algum tipo de lombalgia está sujeito a um longo período de inatividade atlética e de tratamento médico, com um prognóstico sempre reservado (DENOIX & AUDIGIÉ, 2001). Assim, para entender as causas da dor lombar, as circunstâncias que induzem a dor e o

mecanismo físico destas lesões, é necessário um conhecimento preciso da anatomia funcional e biomecânica da coluna vertebral.

Dados objetivos dos movimentos (cinemática) e forças (cinética) que agem sobre a coluna do equino são de difícil obtenção, pois a mobilidade da coluna do equino é limitada e a região toracolombar é composta por numerosas estruturas que são revestidas por uma grande massa muscular (CLAYTON, 1987). Estas particularidades anatômicas e funcionais contribuem para a escassez de informações na literatura.

Existem estudos sobre a biomecânica da coluna toracolombar dos equinos, principalmente na área da cinematografia, onde a movimentação do animal é analisada nos diferentes andamentos com o auxílio de esteiras de alta velocidade. Esta técnica consiste na análise da movimentação de marcadores fixados na região dorsal do animal em pontos específicos da coluna toracolombar (DENOIX, 1999).

A eletromiografia é atualmente bem conhecida como um método para investigar a função muscular dos equinos, e vários artigos reportam o uso dessa técnica (PEHAN et al., 2001; ROBERT et al., 2001; ROBERT et al., 2002; LICKA et al., 2009). A atividade eletromiográfica dos músculos toracolombares e cervicais no passo e trote já foram reportadas com eletromiografia de superfície (ZSOLDOS et al., 2010; ROBERT et al., 2001; ROBERT et al., 2002).

Apesar de muitos estudos *in vitro* terem investigado a mobilidade da coluna do equino (JEFFCOTT & DALIN, 1980; TOWNSEND et al., 1983; TOWNSEND & LEACH, 1984; DENOIX, 1987), e muitos *in vivo* estudarem a mobilidade ao passo (GALLOUX et al., 1994; FABER et al., 2000), durante o trote (AUDIGIÉ et al., 1999; FABER et al., 2001), nenhum estudo foi realizado analisando a marcha, que é o andamento natural característico de algumas raças, dentre elas o Mangalarga Marchador. Isso se deve possivelmente à distribuição regional desses animais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Análise Cinemática

A cinemática é o estudo das mudanças de posição dos segmentos corpóreos no espaço em um período de tempo especificado. Os movimentos são descritos quantitativamente pelas variáveis lineares e angulares em relação ao tempo, deslocamento, velocidade e aceleração (BARREY, 1999). Os dados cinemáticos podem ser apresentados na forma de figuras esquemáticas, o que facilita sua interpretação, ou representados em gráficos. A cinemática permite ainda a realização de testes estatísticos para a comparação dos dados (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013).

Os sistemas optoeletrônicos de análise de movimento têm sido utilizados para o estudo dos diversos andamentos dos equinos. Eles realizam automaticamente rastreamento de marcadores a partir da emissão e detecção de luz infravermelha ou luz de espectro visível. Uma das limitações deste método é a necessidade de múltiplas câmaras para se criar um volume de aquisição adequado para gerar os modelos tridimensionais, que usualmente restringe a captura óptica do movimento para um ambiente restrito de laboratório. Além dos sistemas optoeletrônicos de alta precisão utilizados para pesquisa, alguns sistemas de análise em vídeo menos sofisticados estão disponíveis, com uma menor acurácia, mas a preços mais acessíveis (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013).

Na maioria dos sistemas, estudo da cinemática é baseada no rastreamento de marcadores fixados a pele ou aos ossos (FABER et al., 2001). Para a análise bidimensional são utilizados marcadores circulares de 1 a 3 cm de diâmetro, e caso a resolução do sistema seja baixa pode-se utilizar marcadores maiores, melhorando a precisão do sistema (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013). Nas análises tridimensionais, para que o movimento dos marcadores possa ser extrapolado em três dimensões, é necessária a utilização da imagem de várias câmeras integradas. Neste caso os marcadores esféricos ou hemisféricos são utilizados por manterem a forma circular mesmo quando visto por ângulos diferentes, reduzindo as distorções da imagem e facilitando o rastreamento.

Quando os marcadores fixados a pele são utilizados para representar o movimento dos ossos, o deslocamento da pele sobre os ossos constitui uma fonte de erro. A correção do deslocamento não interfere na interpretação clínica dos dados, especialmente quando se utiliza repetições para a comparação dos dados de variação de um determinado ângulo em relação ao tempo, entretanto a correção é essencial quando o objetivo são os valores absolutos (VAN WEEREN et al., 1992). Para a coluna vertebral, o movimento da pele não interfere na interpretação dos resultados dos dados (Faber, 2001).

A análise bidimensional de um ângulo entre dois segmentos de um membro ou da coluna vertebral exige um mínimo de três marcadores: um sobre o centro de rotação articular comum e um em cada extremidade dos segmentos avaliados, o quão distante for possível do marcador que representa o centro da articulação. Já a análise tridimensional requer no mínimo três marcadores não colineares por segmento (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013).

Preferencialmente os marcadores devem ser distribuídos ao longo do segmento e colocados em locais com o mínimo de deslocamento da pele, ou onde existam disponíveis algoritmos de correção para o deslocamento da pele. Cada marcador deve ser visível por no mínimo duas câmeras durante todo o movimento, e quanto maior o número de câmeras maior será a precisão da reconstrução da trajetória (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013).

A área para a coleta dos dados, ou volume de aquisição deve ser calibrado, e este procedimento é essencial para os sistemas de análise de movimento (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013). Durante esta etapa o sistema reconhece a posição e orientação de cada câmera, bem como as distorções nas imagens capturadas. A partir da observação de imagens bidimensionais por múltiplas câmeras sincronizadas, associando a posição dos marcadores de calibração fixados em uma estrutura rígida com dimensões conhecidas. A função deste procedimento é compensar as distorções sofridas pela imagem durante seu processo de aquisição (PINHEIRO, 2008). Caso haja qualquer alteração na configuração das câmeras ao longo da coleta, todo o sistema deve ser calibrado novamente para acomodar estas alterações. E mesmo se as configurações não forem alteradas, a precisão da calibração irá, naturalmente, deteriorar-se ao longo do tempo, devido a fatores

ambientais, tais como a flutuação da luminosidade e outras condições. Assim, um sistema deve ser calibrado periodicamente ao longo da coleta para garantir a acurácia dos dados coletados (OPTITRACK, 2016).

2.3 Eletromiografia

A contração das células musculares é precedida pela estimulação elétrica do músculo pelos neurônios motores, que pode ser detectado e registrado na forma de eletromiograma, fornecendo informações sobre a atividade dos neurônios motores em repouso, durante a contração reflexa e durante a contração voluntária (ROBERT et al., 1999; ROBERT et al., 2000; ROBERT et al., 2001a; ROBERT et al., 2001b; ROBERT et al., 2002; LICKA et al., 2004; LICKA et al., 2009; ZSOLDOS et al., 2010).

A Eletromiografia é um método de avaliação da atividade elétrica das células musculares, apresentando a medida dos potenciais de ação do sarcolema, na forma de Volts em função do tempo. O sinal eletromiográfico é o somatório de todos os sinais detectados em uma determinada área muscular, e pode ser afetado pelas propriedades anatômicas e fisiológicas do músculo, bem como pelo controle do sistema nervoso periférico e pela metodologia utilizada para a aquisição dos sinais (CLAYTON E SCHAMHARDT, 2013).

A Eletromiografia de Superfície é um método não invasivo que pode ser realizada no equino durante a locomoção, simultaneamente à análise cinemática (TOKURIKI e AOKI, 1995; ROBERT et al., 1999; ROBERT et al., 2000; ROBERT et al., 2001a; ROBERT et al., 2001b; ROBERT et al., 2002; LICKA et al., 2004; LICKA et al., 2009; ZSOLDOS et al., 2010). A coleta dos sinais mioelétricos, a conversão de analógico para digital, a multiplexagem e codificação são realizadas por sensores fixados na pele sobre as estruturas musculares, que transmitem para a unidade de gravação. Os dados são transferidos dos sensores para o gravador de dados através de cabos ou via *wireless*. O receptor pode realizar ainda a amplificação e filtragem do sinal, e em alguns casos a conversão de digital para analógico (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013).

Os sensores podem ser colocados sobre a pele, inserido por via percutânea no músculo ou implantado cirurgicamente. Os sensores de superfície possuem a

vantagem de não serem invasivos, e proporcionam uma estimativa da atividade muscular nos grandes grupos musculares superficiais (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013). Atualmente os equipamentos para eletromiografia de superfície encontrados no mercado são confiáveis, e a repetibilidade desta técnica é maior do que as técnicas mais invasivas (ZSOLDOS et al., 2010). No entanto, alguns músculos do equino estão profundamente localizados, ou se encontram abaixo dos músculos cutâneos de maior espessura, o que acaba limitando a utilização desta técnica (CLAYTON & SCHAMHARDT, 2013).

A técnica percutânea envolve o uso de uma agulha hipodérmica para introdução dos fios que captam o sinal no interior do músculo, e detectam a atividade eléctrica localizada em um pequeno número de fibras próximas aos eletrodos. Várias configurações de eletrodos podem ser utilizadas. A unipolar possui um único eletrodo em forma de fio revestido por um material isolante, exceto em sua extremidade distal. O fio é inserido percutaneamente através de uma agulha hipodérmica de pequeno calibre e a extremidade do fio é dobrada sobre si para fixar o eletrodo no interior do músculo. O potencial é mensurado entre parte não isolada do fio e um eletrodo de referência sobre a pele. Estes eletrodos são mais indicados para detecção do tempo de atividade do músculo, e menos indicados para avaliar amplitude da atividade. Os eletrodos bipolares mensuram a diferença de tensão entre dois contatos eléctricos. Um eletrodo bipolar simples possui dois fios em forma de gancho inseridos através de uma agulha hipodérmica. Outro tipo de eletrodo bipolar é o concêntrico, que mensura a diferença de potencial entre um ponto de contato como uma média de todos os potenciais em uma área com distância pré-determinada ao seu redor. As vantagens deste modelo é a proteção da agulha dos ruídos eletromagnéticos com a referência mantida o mais próximo possível do eletrodo alvo (WIJNBERG et al., 2003).

2.2 Marcha x Trote

Os andamentos dos equinos são definidos pelo padrão cíclico de movimento dos membros durante cada passada. Em geral, os andamentos marchados são caracterizados por possuírem ritmo de quatro batidas e ausência de fase de suspensão (HUSSNI et al., 1996).

A marcha é um andamento marchado e a quatro tempos, podendo ser natural ou artificial. A distribuição dos apoios ocorre como no passo, com os bípodes diagonais e laterais intercalados por momentos de tríplice apoio (Figura 1A), que ocorrem pela dissociação dos membros (NASCIMENTO, 1999). Por manter o equino sempre em contato com o solo, transmite pouco atrito ao cavaleiro (BARREY, 2013).

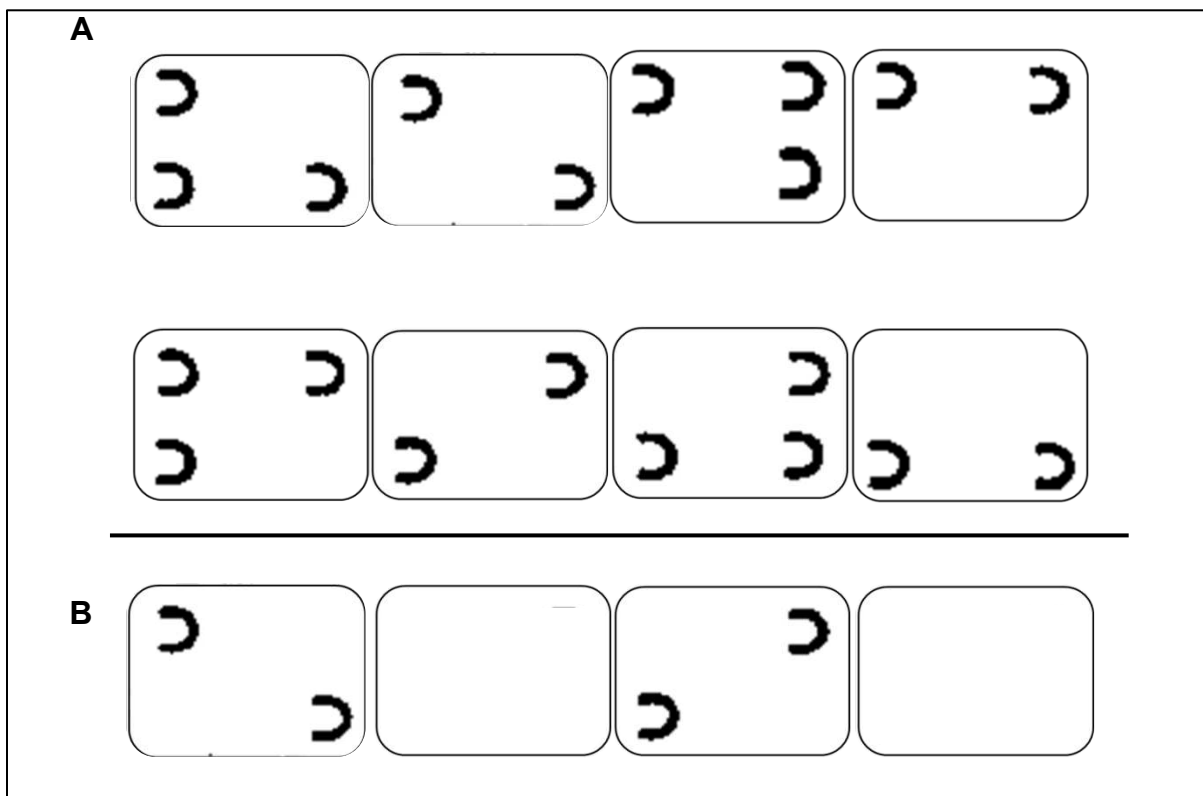


Figura 1: Sequência de distribuição de apoios da Marcha Batida (A) e do Trote (B). Na Marcha Batida observa-se os apoios bipedais e diagonais intercalados por momentos de tríplice apoio, no Trote observam-se os apoios diagonais intercalados por momentos de suspensão. Adaptado de Hussni et al. (1996).

O trote é um andamento saltado e a dois tempos, ou seja, apresenta uma fase de suspensão entre as trocas dos apoios diagonais no ciclo da passada (Figura 1B). Devido a esta fase de suspensão, ocorre maior transmissão de atrito ao cavaleiro quando comparado a marcha (BARREY, 2013).

2.1 Anatomia da coluna vertebral dos equinos

2.1.1 Vértex

A coluna vertebral dos equinos estende-se desde os cndilos occipitais até a cauda, sendo composta por aproximadamente 50 as vértebras. Sua principal função é a sustentao do corpo e a manutenao da postura (Figura 2). As vértebras interagem umas com as outras por dois tipos de articulaoes, ligamentos e músculos, desempenhando um papel importante na locomoao dos equinos. Usualmente o equino possui sete vértebras cervicais, 18 torácica, seis lombares, cinco sacrais e de 15 a 21 vértebras coccgeas, e cada uma com suas características anatômicas específicas (WOLSCHRIJN et al., 2013).

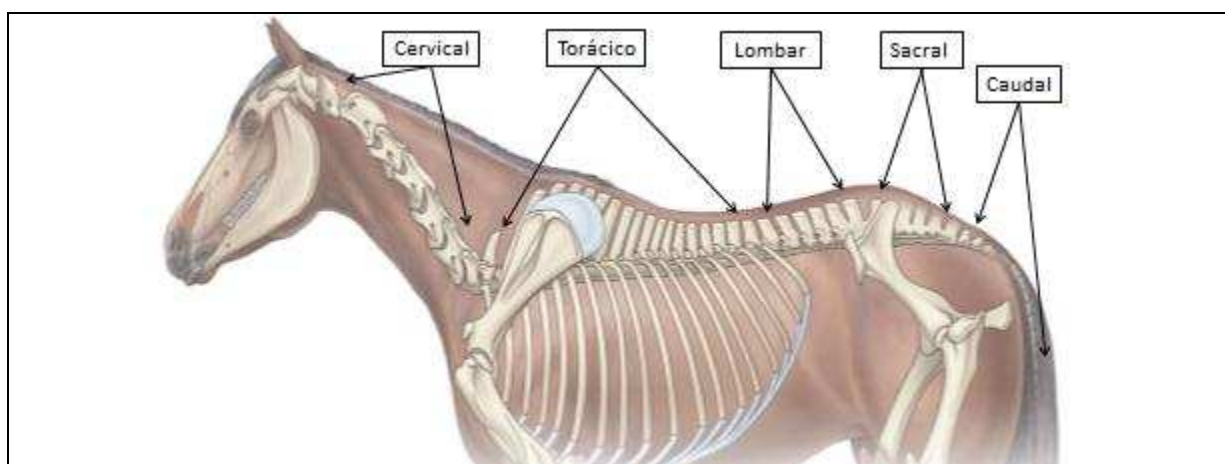


Figura 2: Coluna vertebral dos equinos, composta por sete vértebras cervicais (C1 a C7), 18 vértebras torácicas (T1 a T18), seis vértebras lombares (L1 a L6), cinco vértebras sacrais (S1 a S5) e 15 a 21 vértebras caudais (Cd1 a Cd21) Imagem adaptada de WOLSCHRIJN et al., 2013 (2013).

As vértebras são compostas por três partes básicas: corpo vertebral, arco vertebral e processos vertebrais (Figura 3). A morfologia destas estruturas básicas varia ao longo de cada região da coluna, e são adaptadas de acordo com a função específica exercida pela região (VON SCHEVEN, 2010). Os pares de vértebras adjacentes formam unidades segmentares estruturais e funcionais (Figura 4). Cada unidade possui duas articulaoes sinoviais dorsais bilaterais, e uma articulaao fibrocartilaginosa com um disco intervertebral entre os corpos. Cada uma dessas unidades funcionais permite pouco movimento, porém a somatória do movimento de cada unidade ao longo da coluna vertebral gera uma quantidade significativa de movimento (GÓMEZ ÁLVAREZ, 2007).

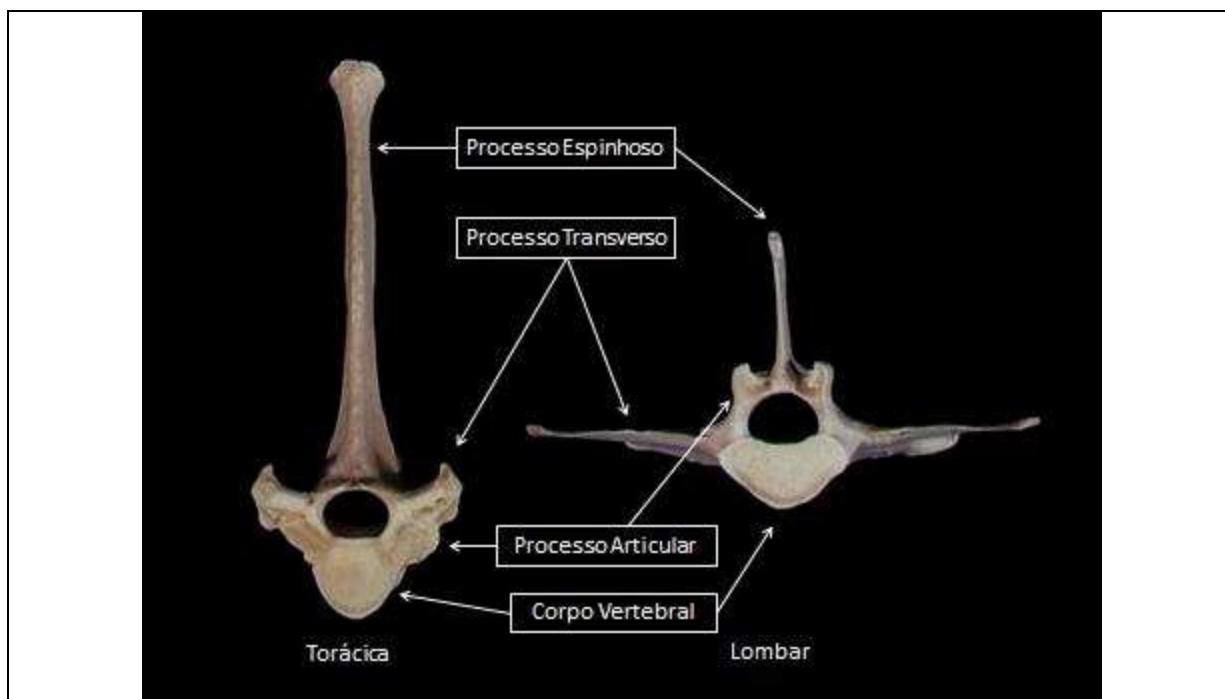


Figura 3: Anatomia básica das vértebras torácicas e lombares dos equinos destacando os processos vertebrais e corpo vertebral.

Na coluna torácica o tamanho do corpo vertebral diminui de T1 até T11 e depois aumenta novamente. Na região lombar os corpos vertebrais são maiores do que na região torácica. Em ambas as regiões os corpos vertebrais apresentam uma crista proeminente, localizada ventralmente para a fixação dos músculos hipoaxiais e do diafragma (VON SCHEVEN, 2010).

Os processos transversos apresentam diferentes tamanhos e orientações. Eles atuam como alavancas horizontais da musculatura epaxial (HAUSSLER, 1999). Em alguns cavalos os processos transversos das últimas vértebras lombares e da articulação lombossacra apresentam se unidos por articulações sinoviais, chamadas de intertransversas, que atuam na transferência de energia propulsivas dos membros posteriores para a coluna vertebral, entretanto acabam limitando a lateroflexão e a rotação (HAUSSLER, 1999).

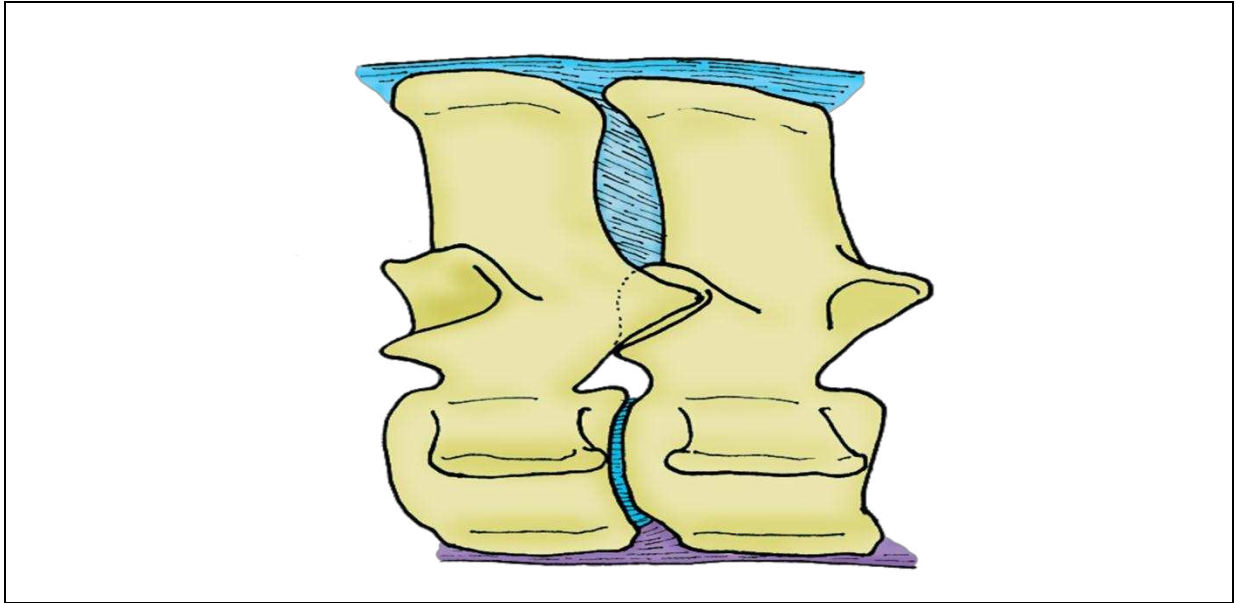


Figura 4: Ilustração de uma unidade seguimentar formada por duas vértebras adjacentes.

A partir do arco vertebral emergem os processos espinhosos, que variam em seu comprimento e orientação ao longo da coluna vertebral (Figura 3). Eles atuam como alavancas em série, para a inserção de músculos e ligamentos. Na região torácica, de T1 a T15 os processos espinhosos são direcionados caudalmente, mudando para a vértebra anticlinal (T16), paralela ao plano vertical. Esta orientação permite resistir as forças exercidas pelo ligamento da nuca, ligamento supraespinhoso, músculos e aponeuroses do membro torácico adjacentes. De T17 a L6 os processos espinhosos passam para uma inclinação cranial sofrerem ação das forças provenientes dos membros pélvicos (GÓMEZ ÁLVAREZ, 2007, VON SCHEVEN, 2010, WOLSCHRIJN et al, 2013).

Os dois pares de processos articulares caudais e craniais, que são bilaterais, situam se dorsalmente no corpo vertebral formando articulações sinoviais intervertebrais entre duas vértebras adjacentes (HAUSSLER, 1999). A orientação da superfície articular sofre alterações ao longo da coluna vertebral, proporcionando movimentos específicos ao longo da mesma. Na região torácica possuem configuração plana e horizontal, com a superfície articular cranial dorsal e a superfície caudal ventral. Os principais movimentos desta região são rotação e a lateroflexão. A partir de T16 até a última vértebra lombar a superfície articular cranial passa a ser dorsalmente côncava e a caudal ventralmente convexa, o que limita a região lombar aos movimentos dorsoventrais (HAUSSLER, 1999).

2.1.2. Músculos

A musculatura da coluna toracolombar é classificada de acordo com sua posição em relação ao processo transverso das vértebras (Figura 5). Os músculos localizados dorsalmente ao processo transverso são denominados epaxiais, e são inervados pelos ramos dorsais dos nervos espinhais, já os músculos que se localizam ventralmente são chamados de hipaxiais, e são inervados pelos ramos ventrais dos nervos espinhais (SISSON, 1986).

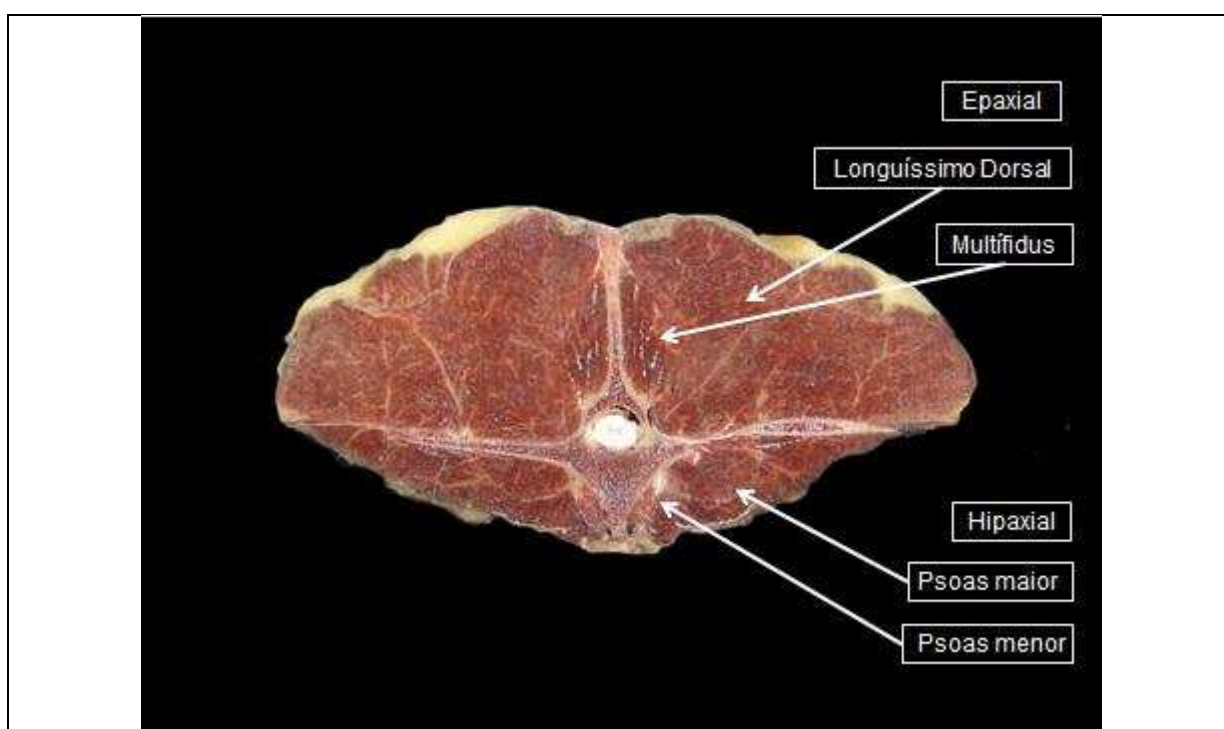


Figura 5: Corte longitudinal da coluna vertebral de um equino na região de L3 mostrando os principais músculos Epaxiais (Longuíssimo Dorsal e Multifídus) e Hipaxiais (Psoas maior e Psoas menor).

As funções dos músculos epaxiais são a extensão quando contraídos bilateralmente, e a flexão lateral, que também contribui para a rotação da coluna vertebral, quando realizam a contração unilateral (SISSON, 1986; DENOIX, 1987; DENOIX e AUDIGIÉ, 2001; ROBERT et al., 2001).

O grupamento de músculos epaxiais é composto principalmente pelo músculo Ereter Espinhal, que se origina caudalmente no ilio e estende-se cranialmente até a base do pescoço, inserindo em todas as vértebras ao longo da coluna e também na

margem dorsal das costelas, formado pelo Longuíssimo Dorsal, Espinhal e Iliocostal (HAUSSLER, 1999).

O músculo Longuíssimo Dorsal é o mais potente, já o Iliocostal é menor, e recobre a face lateral dos processos espinhosos. Caudalmente esses músculos se fundem para formar o Ereter Espinhal (SISSON, 1986; DENOIX e DYSON, 2003).

Os músculos localizados ventralmente ao eixo vertebral são denominados hipaxiais, e são inervados pelos ramos ventrais dos nervos espinhais. Eles são divididos em três grupos. O primeiro grupo é o grupo subvertebral, que está localizado ventralmente aos processos transversos das vértebras. Suas principais funções são a flexão quando contraídos bilateralmente e contribuem para a lateroflexão e rotação na contração unilateral. O segundo é composto apenas pelo músculo Reto Abdominal, que liga as partes cranial e caudal do corpo, percorrendo longitudinalmente a parede ventral do abdômen. Sua Função é suportar a cavidade abdominal e também realizar a flexão da coluna. O terceiro grupo é composto pelo Oblíquo Abdominal Externo e Interno, o Transverso abdominal e os músculos Intercostais. Eles compõem a parede lateral do corpo e ajudam na ventilação pulmonar (VON SCHEVEN, 2010).

2.4. Cinemática da coluna dos equinos

O movimento da coluna vem sendo estudado ao longo dos anos por diversos autores. Inicialmente os trabalhos eram realizados com cadáveres *in vitro* (TOWNSEND et al. 1983; DENOIX 1986), com a introdução da análise cinemática ao final dos anos de 1990 (AUDIGIÉ et al., 1999; POURCELOT et al., 1998; ROBERT et al., 2001; LICKA et al., 2001). Porém, até o presente momento trabalhos com a cinemática da coluna eram inéditos para cavalos marchadores, sendo encontrado para comparação na literatura apenas dados sobre animais de trote.

A maior amplitude de movimento dorsoventral individual na coluna toracolombar (Figura 6) é observada na articulação lombossacra (JEFFCOTT e DALIN 1980, TOWNSEND et al 1983) seguido pela articulação entre T1 e T2 (TOWNSEND et al 1983). Excluindo estas duas articulações, a amplitude regional de

movimento dorsoventral é maior entre T9 e T18 em relação ao menor movimento nas regiões T2-T8 e L2-L5.

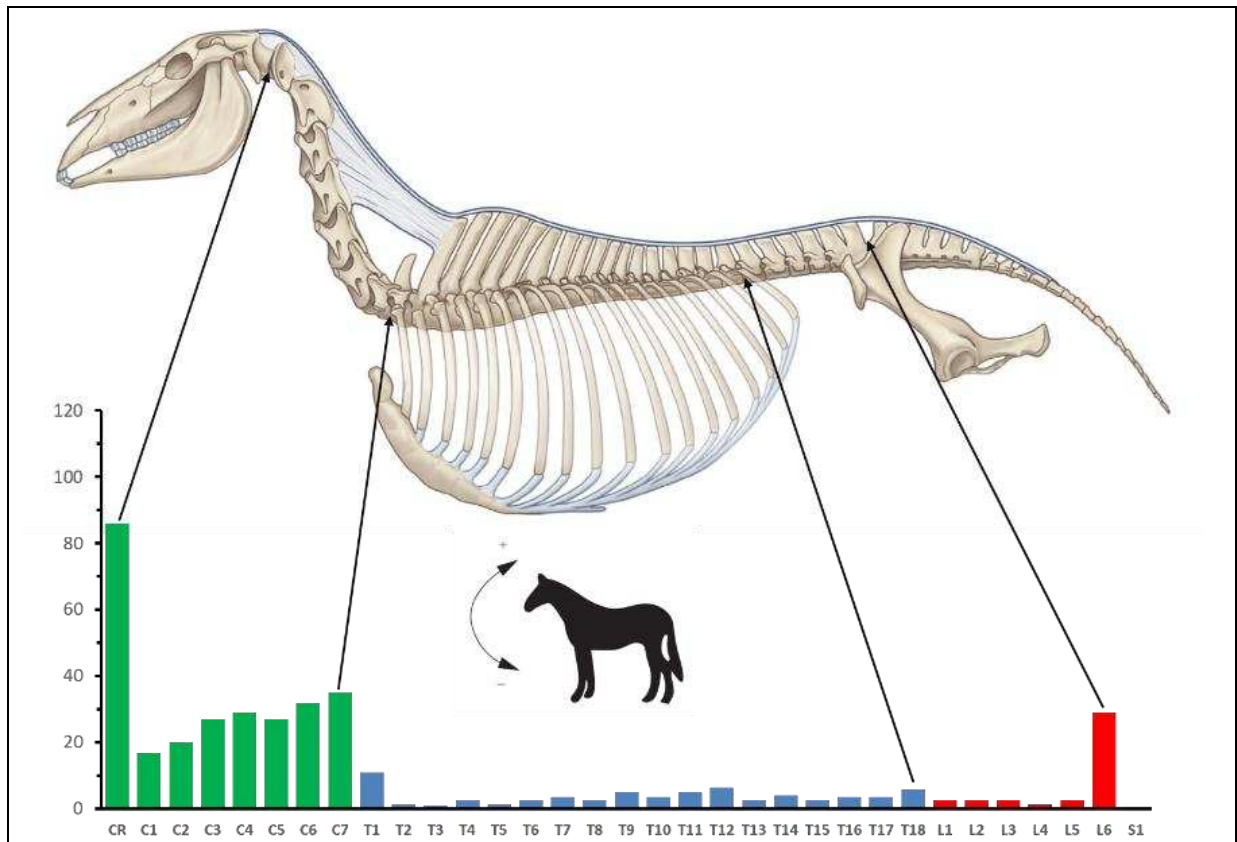


Figura 6: Amplitude de movimento dorsoventral ao longo da coluna vertebral dos equinos. Adaptado de Townsend et al. (1983) e Wolschrijn et al. (2013).

O movimento lateral varia significativamente entre as diferentes regiões da coluna toracolombar e é maior na coluna torácica (Figura 7). A maior amplitude é observada entre T9 e T14, e na região cranial (T2-T9) é menor, pois a presença do esterno, aliado a altura dos processos espinhosos e do ligamento supraespinhoso nesta região limitam este movimento (TOWNSEND et al., 1983). Na região torácica o movimento sempre é acompanhado da rotação (Figura 8). Já na região lombar, os movimentos laterais e de rotação são limitados. As Particularidades anatômicas da coluna lombar, tais como a forma, tamanho e orientação dos processos articulares, bem como a fusão de processos transversos, são responsáveis por restringir os movimentos laterais e de rotação, principalmente entre L4-L6 (SCHLACHER et al 2004, TOWNSEND e LEACH 1984).

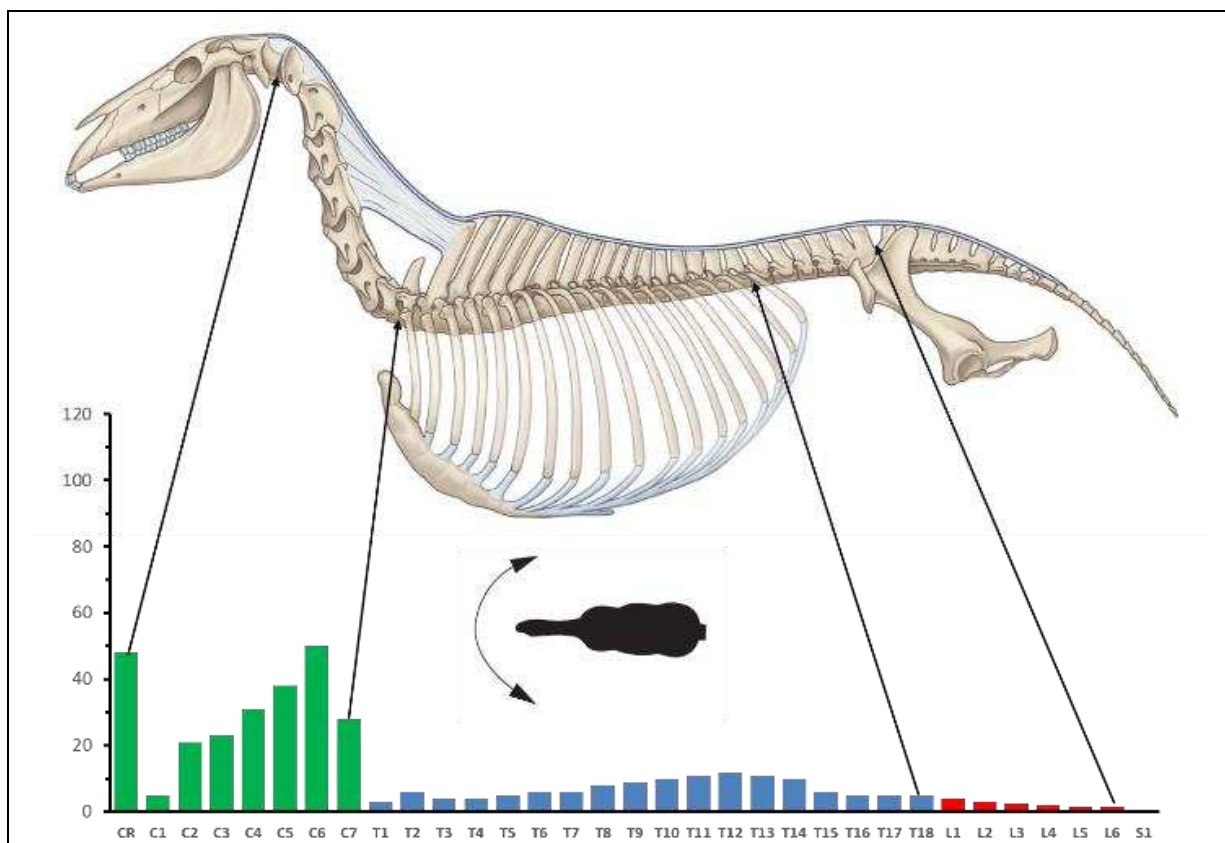


Figura 7: Amplitude de movimento lateral ao longo da coluna vertebral dos equinos. Adaptado de Townsend et al. (1983) e Wolschrijn et al. (2013).

Para avaliar os movimentos complexos e de baixa amplitude da coluna toracolombar dos equinos, são usados comumente sistemas de análise de movimento computadorizados de alta precisão. Estes sistemas envolvem o uso de câmeras que capturam luz no espectro infravermelho, refletida de marcadores fixados sobre referências anatômicas ósseas da coluna vertebral e da pelve, que identificam a posição desses marcadores dentro de um sistema de coordenadas tridimensionais (WOLSCHRIJN et al., 2013).

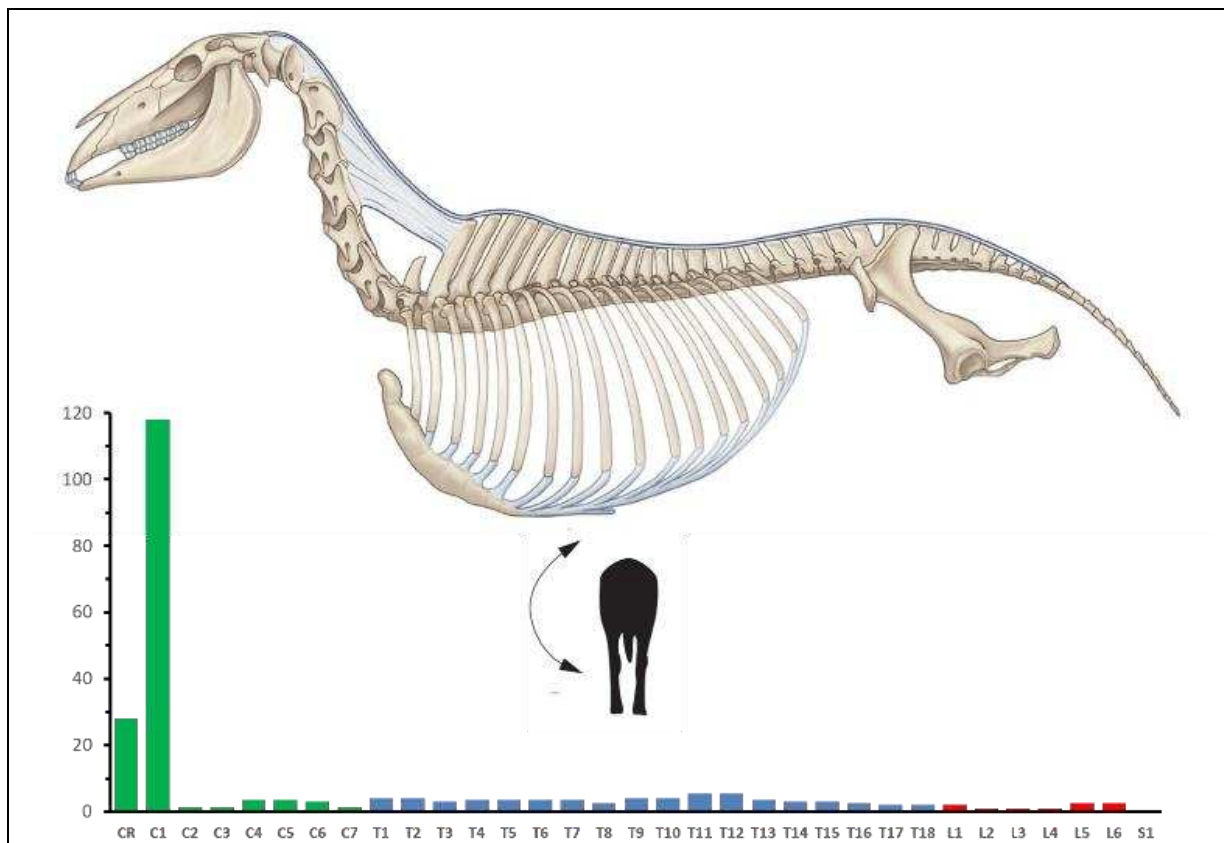


Figura 8: Amplitude do movimento de rotação ao longo da coluna vertebral dos equinos. Adaptado de Townsend et al. (1983) e Wolschrijn et al. (2013).

A coluna vertebral dos cavalos é recoberta por grandes massas musculares e impede a visualização direta das vértebras. Devido a estas dificuldades, alguns estudos foram realizados com marcadores fixados em pinos intramedulares inseridos nos processos espinhosos das vértebras (FABER et al., 2001a; FABER et al., 2001b; FABER et al., 2000; HAUSSLER et al., 2001). A comparação entre os dados de marcadores afixados na pele e marcadores afixados em pinos inseridos em estruturas ósseas mostraram que ambos são eficientes na avaliação cinemática da coluna vertebral dos equinos. A partir dos dados coletados, foram descritas as curvas de variação do ângulo de rotação das vértebras estudadas em cada eixo do sistema de coordenadas, em função do ciclo de uma passada. A maior amplitude de movimento dorsoventral é observada na articulação lombossacra (FABER et al., 2001; FABER et al., 2000; HAUSSLER et al., 2001). A região torácica possui a maior amplitude de movimento laterolateral e de rotação axial. E a região lombar apresenta menor movimento em todos os eixos avaliados (HAUSSLER et al., 2001).

Ao passo, a coluna realiza dois movimentos de flexão e extensão durante o ciclo de uma passada. No início da fase contato do membro pélvico esquerdo a vértebra T10 gira no sentido horário enquanto S3 gira no sentido anti-horário, o que provoca a extensão da coluna. A flexão é produzida pelos movimentos contrários destas vértebras, e ocorre durante a fase de apoio do membro torácico, quando membro pélvico ipsilateral esta iniciando a fase de suspensão (FABER et al., 2000). A máxima flexão é atingida inicialmente pela articulação lombossacra, e em seguida nas regiões mais craniais da coluna (HAUSSLER et al., 2001). A amplitude (média \pm DP) de movimento dorsoventral é menor em T6 ($4,2^\circ \pm 1,6^\circ$), e entre T10 e T13 valores maiores que 8° , caudal a T13 a amplitude varia entre $6,5^\circ$ e $7,0^\circ$.

Segundo Faber et al. (2000), a lateroflexão ocorre em um único movimento periódico durante o ciclo de uma passada, onde a rotação de T10 é oposta a de S3. Em T6 é observada a maior amplitude de movimento, enquanto a menor é observada na região sacral. A rotação da região sacral ocorre para o sentido do membro pélvico apoiado e a região torácica para o sentido oposto, o que gera um incremento da flexão para o lado direito. Durante a rotação no eixo axial, as vértebras entre T13 e a pelve se comportam como um mesmo segmento. A amplitude de rotação axial aumenta de cranial ($4,3^\circ \pm 1,2^\circ$) para caudal ($13,1^\circ \pm 1,2^\circ$) na coluna torácica. A região torácica cranial, por estar mais próxima do membro torácico, atua como ponto pivô para rotação (FABER et al., 2000).

Ao passo, os movimentos laterais e de rotação axial ao longo da coluna vertebral correspondem as mensurações *in vitro*, entretanto apresentam amplitude de movimento menor *in vivo* (FABER et al., 2000).

O trote apresenta um padrão sinusoidal de flexão e extensão durante o ciclo de uma passada (Figura 9). As vértebras torácicas apresentam movimento no sentido oposto as sacrais em 180° . No início do contato do membro pélvico esquerdo, T10 apresenta rotação no sentido horário e S3 no sentido anti-horário, resultando na extensão da coluna. O movimento de extensão dura até a metade da fase de apoio, a partir deste ponto, T10 inicia a rotação no sentido horário e S3 no sentido oposto, induzindo a flexão. Quando o membro pélvico direito inicia a fase de contato, a coluna volta a realizar novamente o movimento de extensão (AUDIGIÉ et al., 1999; FABER et al., 2001; HAUSSLER et al., 2001; POURCELOT et al., 1998). A

amplitude de movimento dorsoventral individual de cada vértebra é menor em T6 ($2,8^\circ \pm 0,8$) e S3 ($2,8^\circ \pm 0,9$) e maior em T10 ($4,9^\circ \pm 1,4$) (FABER et al., 2001). Resultados diferentes são relatados por Audigié et al. (1999), que encontrou a maior amplitude de movimento nos ângulos torácico ($3,9^\circ \pm 0,7$) e lombossacro ($3,8^\circ \pm 1,2$) e Licka et al. (2001a) quando avaliando o deslocamento individual destes marcadores, encontrou maior amplitude em T16.

No trote a lateroflexão também ocorre em um único movimento periódico durante o ciclo de uma passada, e como no passo, T10 e L3 realizam movimentos opostos (Figura 7). No início do contato do membro pélvico esquerdo, a rotação de L1 e S3 ocorre no sentido horário, enquanto a de T10 ocorre na direção oposta. Estas rotações aumentam a curvatura em direção ao membro pélvico não apoio. Na metade da fase de apoio do membro pélvico, quando ocorre a propulsão máxima, inicialmente L1 e em seguida S3, mudam o sentido da rotação para anti-horário, enquanto T10 mantém o sentido de rotação até o final da fase de apoio, mudando o sentido apenas durante a suspensão. Faber et al. (2001) relata que a amplitude de movimento é de $4,6^\circ$ a $5,8^\circ$ para todas as vértebras, exceto T10 ($3,1^\circ$) e T13 ($3,3^\circ$), que apresentam amplitude menor.

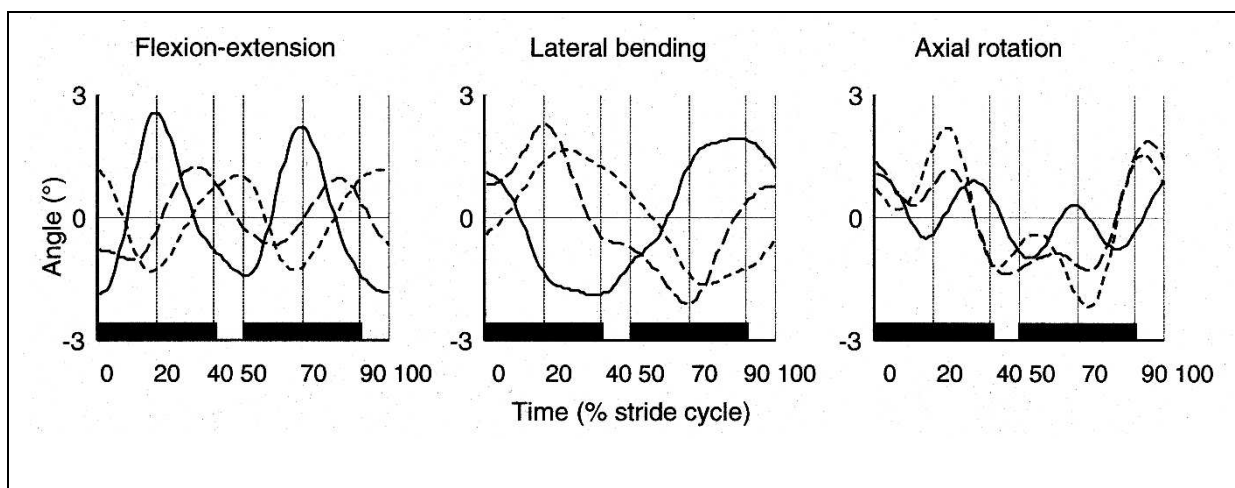


Figura 9: Média do padrão de movimento angular vertebral para equinos de trote em esteira ($4,0 \text{ m / s}$) durante um ciclo de passo completo. O ciclo inicia-se no momento de contato do casco do membro posterior esquerdo. Os resultados são fornecidos para T10 (linha a cheio), L1 (linha tracejada), e S3 (pontilhado). A fase de apoio de cada diagonal está indicada pelas barras pretas. (FABER, 2001).

No eixo axial, a rotação de T10 ocorre no sentido anti-horário no início da fase de contato do membro torácico direito (Figura 9). Com a absorção do impacto pelo membro torácico direito as vértebras da região torácica são deslocadas em direção

ao membro torácico direito. Durante a metade da fase de apoio do membro anterior, quando o membro pélvico esquerdo inicia extensão, ocorre rotação de T10 no sentido horário, abrindo caminho para a protração do membro. Após a propulsão máxima, ocorre rotação de T10 no sentido horário, antes do início do contato do membro pélvico esquerdo (FABER et al., 2001).

2.5 Atividade Muscular da coluna dos equinos

A eletromiografia é uma técnica amplamente utilizada para avaliar a atividade muscular. Vários estudos foram realizados utilizando esta técnica simultaneamente a análise cinemática para avaliar o papel dos diferentes músculos do tronco (LICKA et al., 2008; LICKA et al., 2004; PEHAM et al., 2001; ROBERT et al., 1999; ROBERT et al., 2001).

Os dois dos principais músculos envolvidos na movimentação do tronco são Longuíssimo Dorsal e o músculo Reto Abdominal, e possuem atividade e função antagônicas. Ao passo, o Longuíssimo Dorsal apresenta períodos de atividade no meio da fase de apoio dos membros pélvicos, enquanto o Reto Abdominal não mostra atividade durante o ciclo da passada (WOLSCHRIJN et al., 2013). Ao trote, o Reto Abdominal apresenta atividade durante a extensão, enquanto que para o Longuíssimo Dorsal a atividade ocorre durante a flexão da coluna. Em ambos os músculos, são registradas dois períodos de atividade muscular durante o ciclo da passada (Figura 10). A atividade do Reto Abdominal registrada durante o terço inicial da fase de apoio diagonal, quando ocorre o movimento para frente e para baixo do tronco, associado a aceleração das vísceras. Estas observações sugerem que a extensão é um fenômeno passivo (WOLSCHRIJN et al., 2013). A função do Reto Abdominal, e também do músculo Oblíquo Abdominal Externo é se opor as forças exercidas pelas vísceras abdominais e portanto, limitar a extensão passiva da coluna toracolombar.

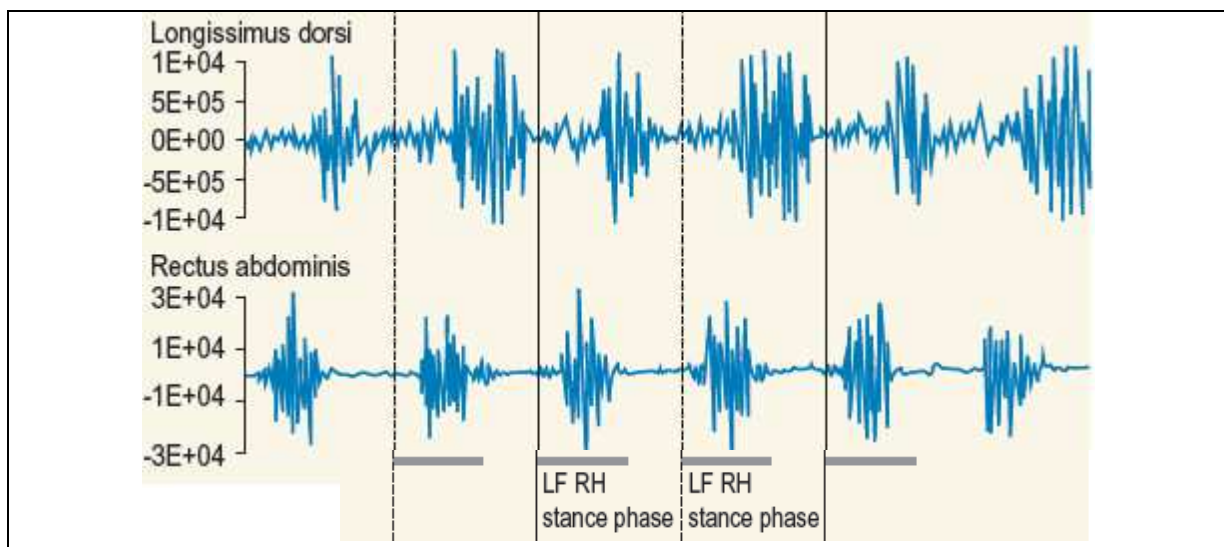


Figura 10: Períodos de atividade dos músculos Longuíssimo Dorsal e Reto Abdominal para equinos de trote em esteira (4,0 m / s) durante o ciclo de duas passadas. Adaptado de Wolschrijn et al. (2013).

O Longuíssimo Dorsal possui atividade recíproca ao Reto Abdominal e Oblíquo Abdominal Externo. Durante a segunda metade da fase de apoio diagonal o Longuíssimo Dorsal apresenta atividade até o início da fase de suspensão. Supões se que a atividade do Longuíssimo Dorsal seja para estabilizar a coluna toracolombar, se opondo a flexão (WOLSCHRIJN et al., 2013).

A atividade muscular do Longuíssimo Dorsal e do Reto Abdominal aumenta com o incremento na velocidade do trote. E acompanhando o padrão de movimento da coluna vertebral, as ondas de ativação do Longuíssimo Dorsal e do Reto Abdominal ocorrem mais precocemente no ciclo da passada. Robert et al. (2001a) encontraram que a duração da primeira onda de atividade do Reto Abdominal diminui com o aumento da velocidade, enquanto a segunda onda mantém. Isto pode ser explicado pela redução da fase de apoio do membro posterior ipsilateral, que reduz a inércia das vísceras abdominais, o que diminui a demanda de força necessária para contrabalancear. À medida que a velocidade do equino aumenta o Longuíssimo Dorsal precisa exercer mais força para estabilizar a coluna vertebral (ROBERT et al., 2001a). A partir destes dados sugere se que ambos os músculos atuam na estabilização da coluna e do tronco, que proporcionaria uma plataforma mais rígida para as trocas de apoio mais rápidas e transmissão de impulso mais eficiente. O grau de inclinação também influencia a atividade eletromiográfica do Longuíssimo Dorsal e do Reto Abdominal, dados de cavalos ao trote revelam que a

inclinação aumenta a duração da atividade do Longuíssimo Dorsal e a do Reto Abdominal (ROBERT et al., 2001a).

O glúteo médio se origina na região lombar, recobrando os músculos paraespinhais, e se insere o trocânter maior do fêmur. Possui a maior capacidade de geração de força entre os músculos do membro pélvico, desempenhando um papel fundamental na propulsão (CLAYTON & BACK, 2013). Atividade elétrica do músculo glúteo médio inicia ao final da fase de suspensão e continua durante a fase de apoio, promovendo a extensão da articulação coxofemoral (ROBERT et al., 1999).

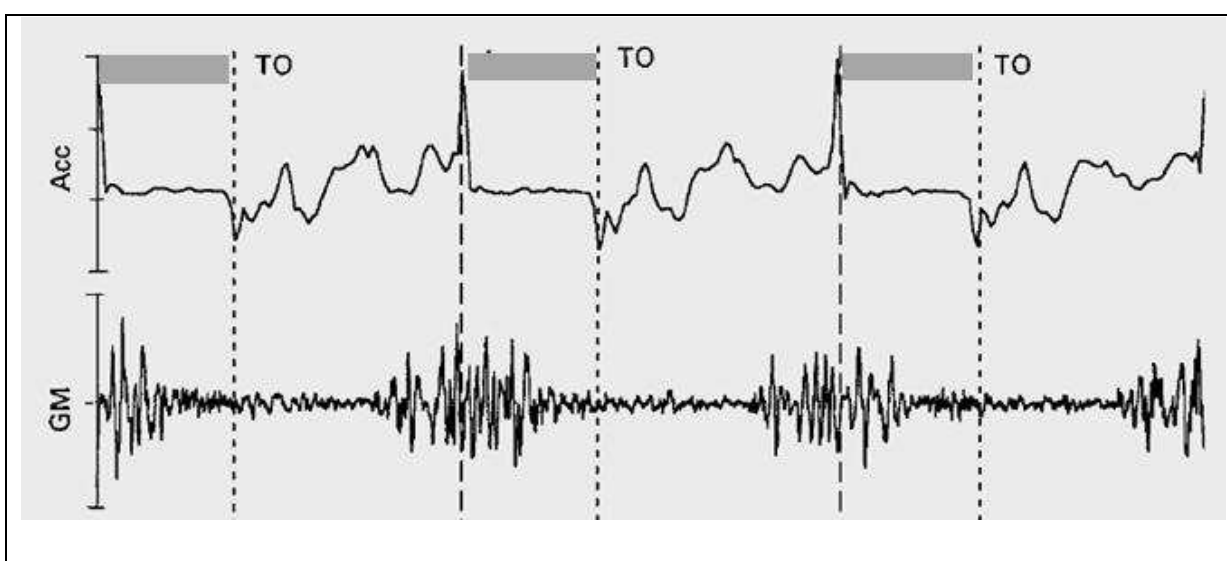


Figura 11: Atividade eletromiográfica do Glúteo Médio de equinos avaliados em esteira (3,6 m/s) durante três passadas consecutivas. A atividade do Glúteo Médio se inicia ao final da fase de suspensão e continua durante a fase de apoio (ROBERT et al., 1999).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Realizar a análise descritiva da cinemática tridimensional e atividade eletromiográfica da coluna vertebral de cavalos Mangalarga Marchador durante a marcha.

3.2 Específicos

- Avaliar a cinemática dos movimentos realizados pela coluna cervical e toracolombar durante a marcha nos planos sagital e transversal, por meio da curva ângulo-tempo de pontos específicos.

- Avaliar a atividade muscular dos músculos movimentadores e estabilizadores da coluna vertebral do equino durante a marcha por meio da eletromiografia de superfície.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Animais

Todos os procedimentos envolvendo animais no presente projeto foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Viçosa (CEUA – UFV), sob protocolo nº 215/2014.

Foram utilizados 5 animais da raça Mangalarga Marchador de marcha batida, 4 fêmeas e um macho castrado, peso médio de 323 kg, com idade entre 4 e 12 anos (média 7,8 anos) e com baixo nível de atividade atlética, utilizados para lazer e passeios. Os animais foram submetidos ao exame clínico do aparelho locomotor, segundo Stashak (2002), e exame físico da região toracolombar, composto pela inspeção, palpação, testes de mobilidade e análise do animal em movimento, segundo o protocolo de Fonseca et al. (2011), com o objetivo de garantir que os animais não apresentassem claudicações ou dor lombar.

4.2 Coleta de Dados

4.2.1 Cinemática

Para a aquisição dos dados cinemáticos foi utilizado o sistema de análise de movimento Optitrack®¹, composto por 19 câmeras optoeletrônicas (*PRIME 17w*), com frequência de aquisição de 250 Hz, interligadas ao *software* de análise de imagem Motive MTV-BDY². As câmeras foram posicionadas ao longo de um corredor plano e com piso de concreto, de maneira a formarem um volume de aquisição de 16,0×4,8×3,0 metros. 10 câmeras foram posicionadas a aproximadamente 3 metros do solo e 8 câmeras posicionadas a 1 m do solo. Uma

¹ Optitrack (Natural Point, Corvallis, Oregon – USA)

² Optitrack (Natural Point, Corvallis, Oregon – USA)

câmera foi posicionada no ponto médio do volume de aquisição, que foi configurada para captura de luz branca para a obtenção de imagens de referência. Foi mantida uma distância média de 2 m entre cada câmera (Figura 11).

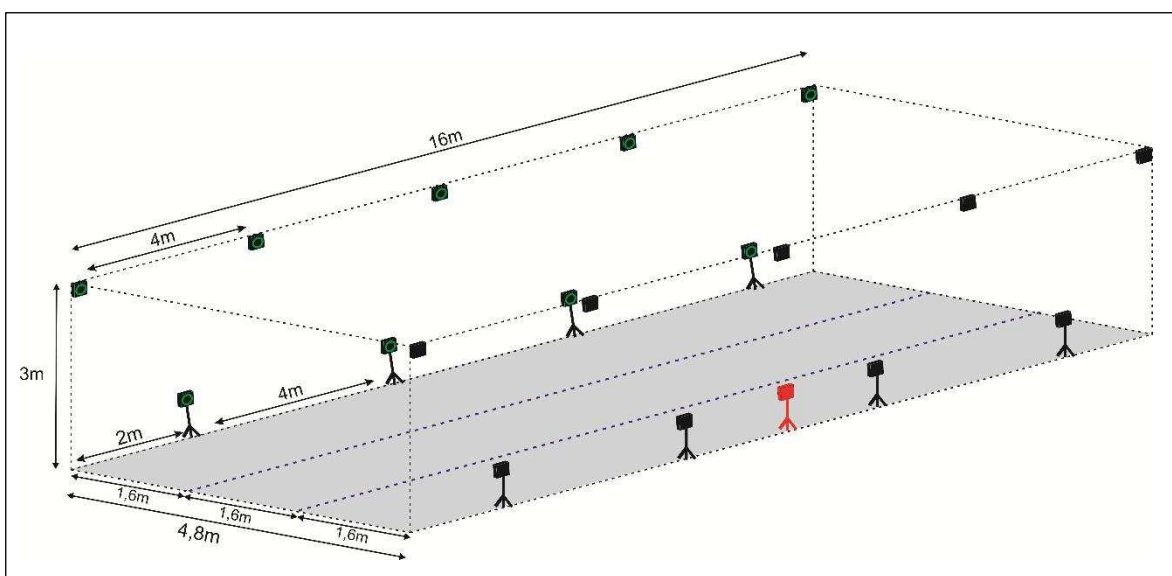


Figura 11. Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para formação do volume de 16 x 4,8 x 3m. As linhas azuis pontilhadas representam o caminho por onde os animais foram conduzidos. A câmera em vermelho representa a câmera de referência.

O posicionamento das câmeras foi determinado a partir de estudos piloto realizados previamente e permitiu a filmagem simultânea tanto dos marcadores da coluna quanto os dos cascos.

O sistema possui acurácia variando entre 0,05 e 0,1 mm. Esta precisão é alcançada pela calibração não linear, que é realizada com uma *wand*, que contém 3 marcadores retrorreflexivos fixos, com distância pré-determinada para varrer o volume e identificar o posicionamento das câmeras dentro do volume.

Dentro deste volume foi criado o sistema de coordenada tridimensional, no qual o eixo X representava o deslocamento horizontal anteroposterior, o eixo Y o

deslocamento vertical dorsoventral e o eixo Z o deslocamento horizontal latero-lateral.

Os marcadores utilizados foram confeccionados a partir de esferas de polipropileno, com 2,6 cm de diâmetro, recobertas por uma película adesiva retrorreflexiva e fixadas a uma base de polipropileno através de um parafuso (Figura 12).



Figura 12. Marcadores confeccionados a partir de esferas de polipropileno e película retrorreflexiva, fixados à base flexível de polipropileno.

Os marcadores foram fixados na pele dos animais com fita adesiva dupla face hipoalergênica, na linha média axial, sobre as apófises dos processos espinhosos da 8ª (T8), 12ª (T12), 15ª (T15) e 18ª (T18) vértebras torácicas, da 3ª (L3) e 5ª (L5) vértebras lombares, da 1ª (S1) vértebra sacral e 1ª (Cd1) vértebra coccígea, identificados pela palpação dos mesmos (Figura 3). A escolha das vertebrae a serem marcadas foi baseada na metodologia descrita nos trabalhos de Pourcelot et al. (1998), Audigié et al. (1999), Robert et al. (2001), Faber et al. (2000) e Licka et al. (2001), que estudaram a cinemática da coluna toracolombar em cavalos de trote.

Adicionalmente, foram fixados três dos mesmos marcadores em cada casco dos animais, um na extremidade dorsolateral da pinça e um em cada talão, medial e lateral, para se determinar as fases de apoio e suspensão de cada membro (Figura 13). Este método para marcação dos cascos foi determinado a partir dos estudos piloto, adaptado da metodologia descrita por Boye et al. (2013).

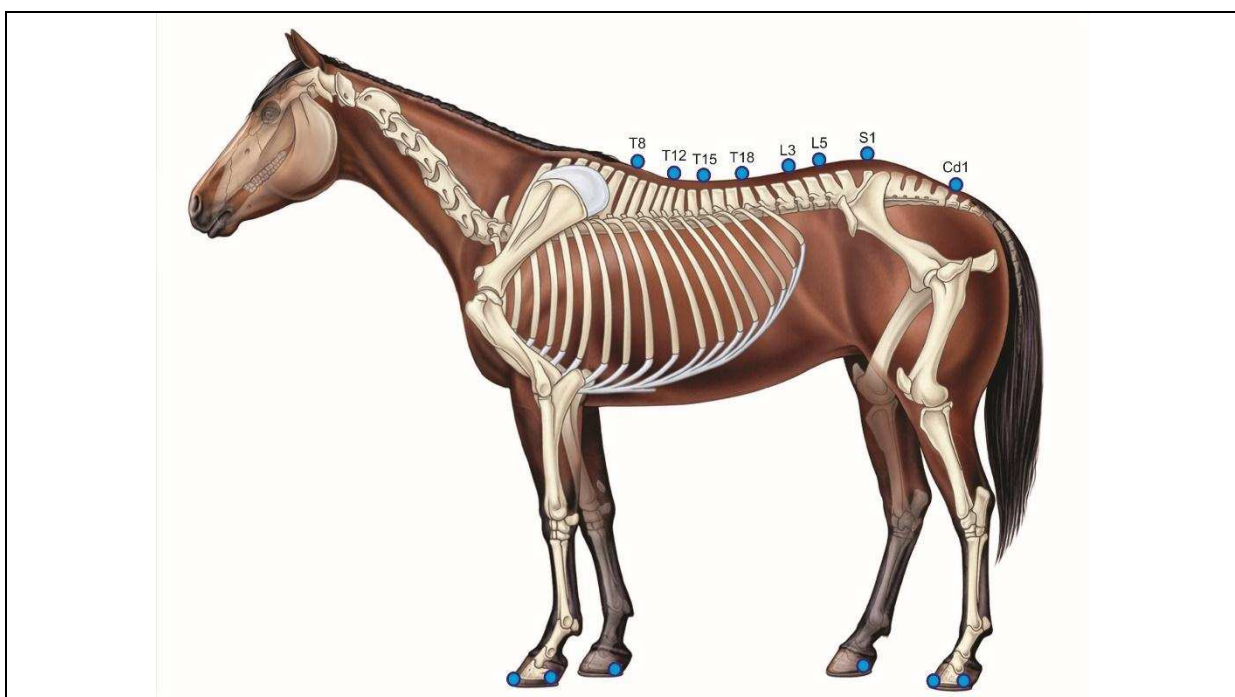


Figura 13: Ilustração dos pontos anatômicos sobre a coluna e nos cascos onde foram fixados os marcadores para análise cinemática. Imagem adaptada de Back e Clayton (2013).

Após a fixação de todos os marcadores, os animais foram conduzidos na marcha através do volume de aquisição guiados ao cabresto por um auxiliar experiente, com a cabeça livre de forma rotineira a um exame de claudicação, em uma velocidade auto selecionada pelo animal. Antes das coletas os animais foram conduzidos pelo percurso para se familiarizarem com os procedimentos. Cada animal realizou o percurso até a obtenção de cinco passagens válidas. Foram excluídas as tentativas onde houve queda de marcadores ou sensores da eletromiografia, mudanças no andamento e desvios no trajeto. De cada uma destas

tentativas foram utilizadas 3 passadas completas e consecutivas, a partir da primeira passada onde todos os marcadores estavam presentes no volume de aquisição. O início da passada foi determinado pelo contato inicial do membro torácico direito ao solo, e o final pelo próximo contato do mesmo membro. O contato de cada membro com o solo foi determinado visualmente (em *frames*), a partir da observação do vídeo da reconstrução dos marcadores gerado pelo *software* Motive³.

Após a coleta dos dados, as coordenadas tridimensionais dos marcadores foram analisadas no *software* MatLab⁴. Inicialmente as coordenadas foram filtradas com o filtro de segunda ordem e passa-baixa Butterworth (corte de frequência de 10 Hz), segundo descrito por Faber et al. (2000). Para a descrição dos movimentos foram calculados os ângulos entre três marcadores. O movimento dorsoventral foi descrito a partir do ângulo projetado no plano sagital, correspondentes ao plano formado pelas coordenadas X e Y, no qual a redução do ângulo representou a extensão e o aumento a flexão da coluna (AUDIGIÉ et al., 1999). O movimento látero-lateral foi descrito a partir da projeção do ângulo no plano transversal, formado pelas coordenadas X e Z, e a redução deste ângulo representou a flexão da coluna para a esquerda e o aumento a flexão para a direita (Figura 14).

³ Optitrack (Natural Point, Corvallis, Oregon – USA)

⁴ The MathWorks, Inc. (Natick, Massachusetts - USA)

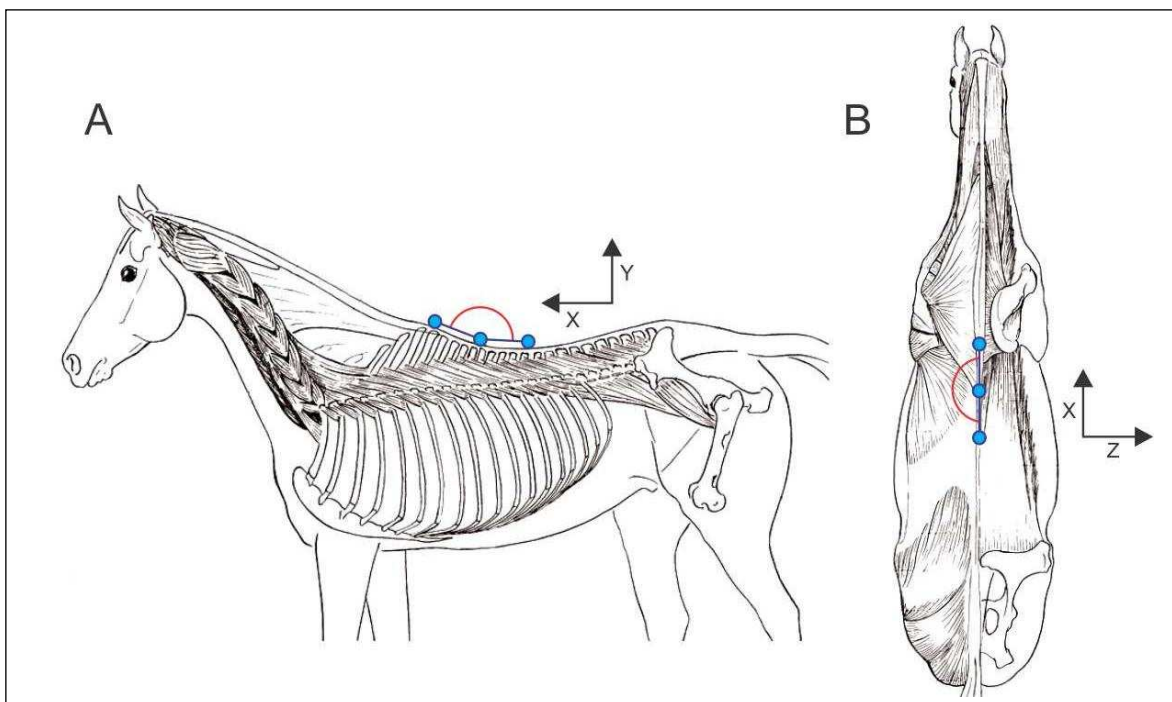


Figura 14: Ilustração dos ângulos projetados no plano sagital, formado pelas coordenadas X e Y (A) e no plano transverso formado pelas coordenadas X e Z (B). Imagem adaptada de:

Os ângulos estudados neste trabalho foram formados pelos marcadores T8-T12-T15 (Torácico Cranial) e T12-T15-T18 (Torácico Caudal) para os movimentos na região torácica, T12-T18-L5 (Toracolombar 1) e T15-T18-L3 (Toracolombar 2) para os movimentos na região de transição toracolombar, T18-L3-L5 (Lombar) para os movimentos na região lombar e L3-S1-Cd1 (Lombossacro) para os movimentos da região lombossacra (Figura 3). O resultado do cálculo dos ângulos foi normalizado em função do ciclo de uma passada, que foi ajustado a 100 intervalos (100%), no qual 0% foi o início do contato do membro torácico direito e 100% o início do contato subsequente do mesmo membro. Foram utilizadas três passadas completas de cada passagem para realização dos cálculos da média e do desvio padrão das 15 passadas para cada animal (3 passadas em 5 tentativas), obtendo-se uma curva média de variação do ângulo para a descrição do movimento ao longo do ciclo de uma passada média.

4.2.2 Eletromiografia

A aquisição dos dados eletromiográficos foi realizada utilizando o sistema de eletromiografia *wireless* Trigno®⁵ de 16 canais, com frequência de aquisição máxima de 2000 Hz, que utiliza o *software* EMGworks®⁶ (Figura 15). Os músculos estudados neste trabalho foram o Longuíssimo Dorsal, Oblíquo Abdominal Externo, Reto Abdominal e Glúteo Médio.



Figura 15: Sistema de eletromiografia *wireless* Trigno®. Visão geral do equipamento (A e B) e detalhe dos sensores (C, D e E).

Os locais onde os sensores foram fixados foi determinado por palpação de estruturas anatômicas, e a escolha foi baseada nos trabalhos de Robert et al. (2000), Robert et al. (2001) e Licka et al. (2004). Após a tricotomia dos locais, limpeza e desengorduramento com éter, os sensores foram aplicados bilateralmente em cada músculo, paralelos ao sentido das fibras dos mesmos, por meio de

⁵ Delsys – Weareble sensors for movement sciences - USA

⁶ Delsys – Weareble sensors for movement sciences - USA

adesivos dupla face hipoalergênicos próprio para os sensores wireless Trigno®⁷ (Figura 16):

Os locais de aplicação sobre cada músculo foram (Figura 15):

- Longuíssimo Dorsal: em 2 pontos, 5 cm lateral a linha média dorsal, na altura de T16 e L3;
- Oblíquo Abdominal Externo: 10 cm caudal a última costela, imediatamente ventral a tuberosidade do íleo;
- Reto Abdominal: 6 cm lateral a cicatriz umbilical;
- Glúteo Médio: no ponto médio entre a tuberosidade do íleo e a primeira vertebra sacral.

A coleta dos dados eletromiográficos foi realizada simultaneamente à coleta de dados cinemáticos, pela sincronização dos *softwares* EMGworks®⁸ e Motive MTV-BDY⁹ através do equipamento eSync 2¹⁰. O início da coleta pelos *softwares* foi feita manualmente, segundos antes do animal entrar no volume de aquisição.

Assim como na análise cinemática, foram utilizadas das 15 passadas para cada animal (3 passadas em 5 tentativas).

⁷ Delsys – Weareble sensors for movement sciences - USA

⁸ Delsys – Weareble sensors for movement sciences - USA

⁹ Optitrack (Natural Point, Corvallis, Oregon – USA)

¹⁰ Optitrack (Natural Point, Corvallis, Oregon – USA)

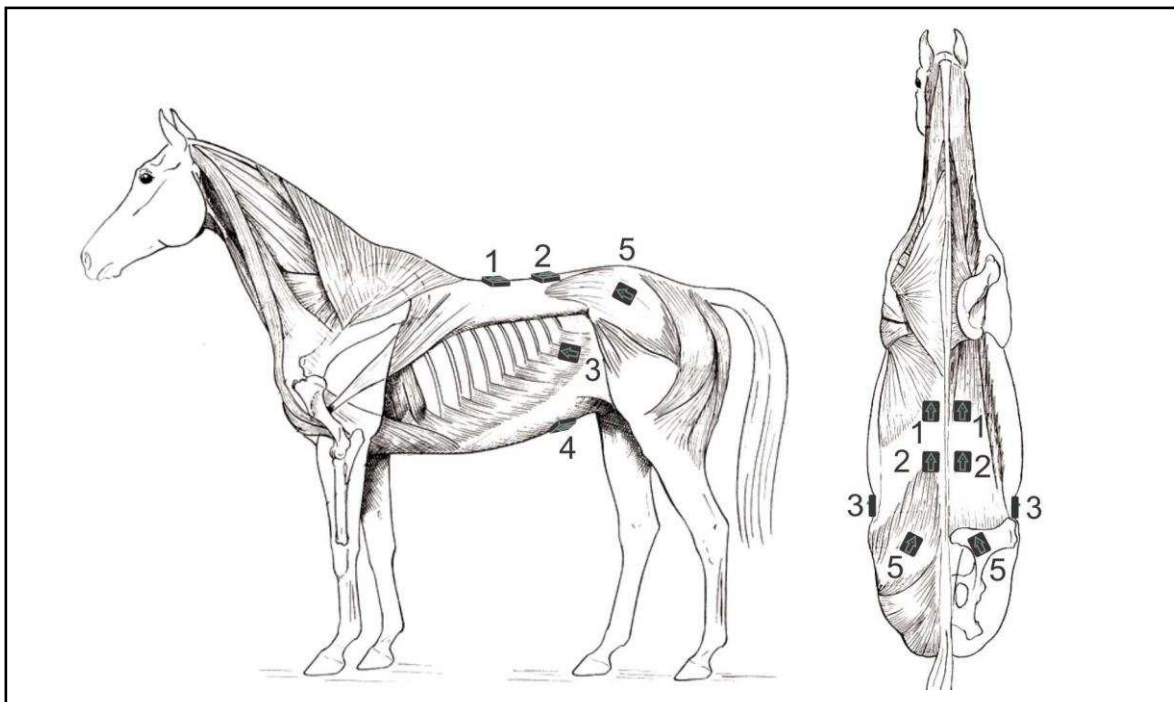


Figura 16: Ilustração dos locais de fixação dos sensores para análise eletromiográfica, relativo à localização anatômica e direção das fibras dos músculos estudados. 1 – Músculo Longuíssimo dorsal na altura de T16; 2 - Músculo Longuíssimo dorsal na altura de L3; 3 – Músculo Oblíquo abdominal externo; 4 – Músculo Reto abdominal; 5 – Músculo Glúteo médio. Imagem adaptada de: Denoix and Pailloux (2005).

Após a coleta, os dados da eletromiografia também foram analisados no software MatLab¹¹. Inicialmente o sinal de cada sensor foi submetido ao filtro de segunda ordem Butterworth, passa-banda (corte de frequência de 10 e 500 Hz), em seguida o sinal foi retificado, ou seja, foi considerado o valor absoluto do sinal, e em seguida normalizado, da mesma forma como descrito para os dados cinemáticos, em função do ciclo (100%) de uma passada (LICKA et al., 2004). Para comparação com a cinemática foram utilizados os dados referentes às mesmas passadas da descrição do movimento da coluna. E assim como na cinemática, foram calculados a média e o desvio padrão das 15 passadas de cada animal.

¹¹ The MathWorks, Inc. (Natick, Massachusetts - USA)

4.2.3 Análise dos dados

Foi realizada a análise descritiva dos dados cinemáticos e eletromiográficos. A média e o desvio padrão da variação dos ângulos estudados foi descrita para cada animal em função do ciclo médio das 15 passadas (3 passadas em 5 tentativas), e relacionada as fases de apoio e suspensão de cada membro durante este ciclo. Também foi calculada a amplitude média de cada ângulo, a partir dos valores máximo e mínimo dos ângulos dentro de uma passada. Pra determinar a velocidade que os animais desenvolveram durante as tentativas, foi calculada a média das velocidades de cada marcador no eixo X, e os resultados expressos em km/h. A avaliação da eletromiografia foi realizada com a média e o desvio padrão do sinal eletromiográfico, que foi descrito em função de uma passada média, e comparado com as fases de apoio e suspensão, da mesma maneira que os dados cinemáticos.

5 RESULTADOS

5.1 Cinemática

Todos os animais toleraram bem os procedimentos deste trabalho, e não apresentaram sinais de desconforto ou incômodo com as técnicas utilizadas no decorrer das coletas. A velocidade média dos animais foi de 13,17 km/h. A amplitude (Média \pm Desvio Padrão) em graus ($^{\circ}$) dos ângulos estudados no plano transversal e no plano sagital, para cada animal e a média geral é apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Amplitude média de cada animal e geral (\pm Desvio Padrão) em graus ($^{\circ}$) dos diferentes ângulos estudados no plano transversal (Plano X-Z).

	T8-T12-T15	T12-T15-T18	T12-T18-L5	T15-T18-L3	T18-L3-L5	L3-S1-CD1
Animal 1	4,41 ($\pm 1,20$)	4,06 ($\pm 0,91$)	3,23 ($\pm 0,52$)	3,06 ($\pm 0,77$)	3,06 ($\pm 0,71$)	2,79 ($\pm 0,52$)
Animal 2	9,13 ($\pm 0,92$)	4,69 ($\pm 0,80$)	2,87 ($\pm 0,49$)	1,76 ($\pm 0,46$)	4,56 ($\pm 0,37$)	3,62 ($\pm 0,44$)
Animal 3	7,48 ($\pm 1,51$)	6,04 ($\pm 1,19$)	5,45 ($\pm 0,99$)	3,97 (1,60)	4,22 (0,67)	3,49 (0,60)
Animal 4	8,81 ($\pm 1,45$)	4,02 ($\pm 0,84$)	4,64 ($\pm 1,70$)	3,91 ($\pm 0,92$)	3,78 ($\pm 0,60$)	3,67 ($\pm 0,51$)
Animal 5	5,52 ($\pm 0,88$)	2,21 ($\pm 0,44$)	3,33 ($\pm 0,60$)	2,12 ($\pm 0,34$)	4,19 ($\pm 0,88$)	3,14 ($\pm 0,54$)
Geral	7,26 ($\pm 2,48$)	4,20 ($\pm 1,47$)	3,90 ($\pm 1,61$)	3,96 ($\pm 1,27$)	3,96 ($\pm 1,19$)	3,33 ($\pm 0,82$)

Tabela 2: Amplitude média de cada animal e geral (\pm Desvio Padrão) em graus ($^{\circ}$) dos diferentes ângulos estudados no plano sagital (X-Y).

	T8-T12-T15	T12-T15-T18	T12-T18-L5	T15-T18-L3	T18-L3-L5	L3-S1-CD1
ANIMAL 1	2,45 ($\pm 0,51$)	3,12 ($\pm 0,44$)	3,38 ($\pm 0,55$)	2,6 ($\pm 0,57$)	2,61 ($\pm 0,45$)	2,28 ($\pm 0,90$)
ANIMAL 2	5,04 ($\pm 0,62$)	4,04 ($\pm 0,54$)	3,44 ($\pm 0,40$)	1,84 ($\pm 0,21$)	2,22 ($\pm 0,28$)	2,19 ($\pm 0,76$)
ANIMAL 3	3,6 ($\pm 1,06$)	4,57 ($\pm 1,14$)	2,61 ($\pm 0,42$)	2,85 ($\pm 1,06$)	2,36 ($\pm 0,52$)	2,75 ($\pm 0,49$)
ANIMAL 4	3,09 ($\pm 0,67$)	4,13 ($\pm 0,72$)	3,38 ($\pm 0,51$)	1,79 ($\pm 0,38$)	2,00 ($\pm 0,35$)	1,78 ($\pm 0,56$)
ANIMAL 5	1,88 ($\pm 0,34$)	2,78 ($\pm 0,26$)	3,54 ($\pm 0,35$)	1,73 ($\pm 0,21$)	2,67 ($\pm 0,45$)	0,96 ($\pm 0,36$)
GERAL	3,21 ($\pm 1,21$)	3,72 ($\pm 1,20$)	3,27 ($\pm 0,75$)	2,24 ($\pm 0,83$)	2,36 ($\pm 0,57$)	1,99 ($\pm 0,83$)

Em todos os ângulos estudados foi encontrado maior amplitude de movimento no plano transversal (Tabela 1), que representa o movimento laterolateral, do que no plano sagital (Tabela 2), que representa o movimento dorsoventral. O ângulo

Torácico Cranial foi o que apresentou maior amplitude de movimento no plano transversal, enquanto que no plano sagital, os ângulos Torácico Cranial e Torácico Caudal apresentaram maior amplitude, sendo que o ângulo Torácico Caudal apresentou maior amplitude. A região lombossacra, representada pelo ângulo Lombossacro, apresentou a menor amplitude de movimento nos dois planos avaliados.

As curvas de variação média e o desvio padrão, dos ângulos para a descrição do movimento da coluna em relação ao ciclo da passada de cada animal, bem como os momentos de apoio e suspensão que determinam o diagrama de marcha dos animais estudados, estão representados nas Figuras 17 a 22.

Observou-se que no plano transversal o ângulo Torácico Cranial (Figura 17), exceto pelo Animal 1, a lateroflexão tendeu a ocorrer no terço médio dos apoios diagonais, no lado do membro pélvico apoiado. E o ângulo torácico Caudal (Figura 18) apresentou o mesmo comportamento de lateroflexão, exceto pelos Animais 2 e 3 nos quais não foi possível determinar o padrão.

No plano sagital o ângulo Torácico Cranial (Figura 17) mostra a sequência de movimentos extensão – Extensão máxima – flexão – flexão máxima no ciclo de marcha estudado, com o pico de extensão ocorrendo no terço médio de cada apoio diagonal e o pico de flexão durante o momento de suspensão. Nota-se que durante as trocas de apoios diagonais os animais tendem a manter a coluna em postura de flexão, representado pelo platô na curva de variação do ângulo, principalmente no Animal 4 que apresentou apoio tripedal durante esse platô.

O ângulo Torácico Caudal (Figura 18) também segue o mesmo padrão do ângulo anterior, no entanto os movimentos de flexão e extensão ocorrem 25% antes

no ciclo de marcha, mostrando a sequência de movimentos Extensão máxima – Flexão – flexão máxima – extensão, com o pico de extensão ocorrendo no terço inicial dos apoios diagonais e o pico de flexão no terço final dos apoios diagonais. Na fase de suspensão, assim como no apoio tripedal, esse ângulo se encontra em início de extensão.

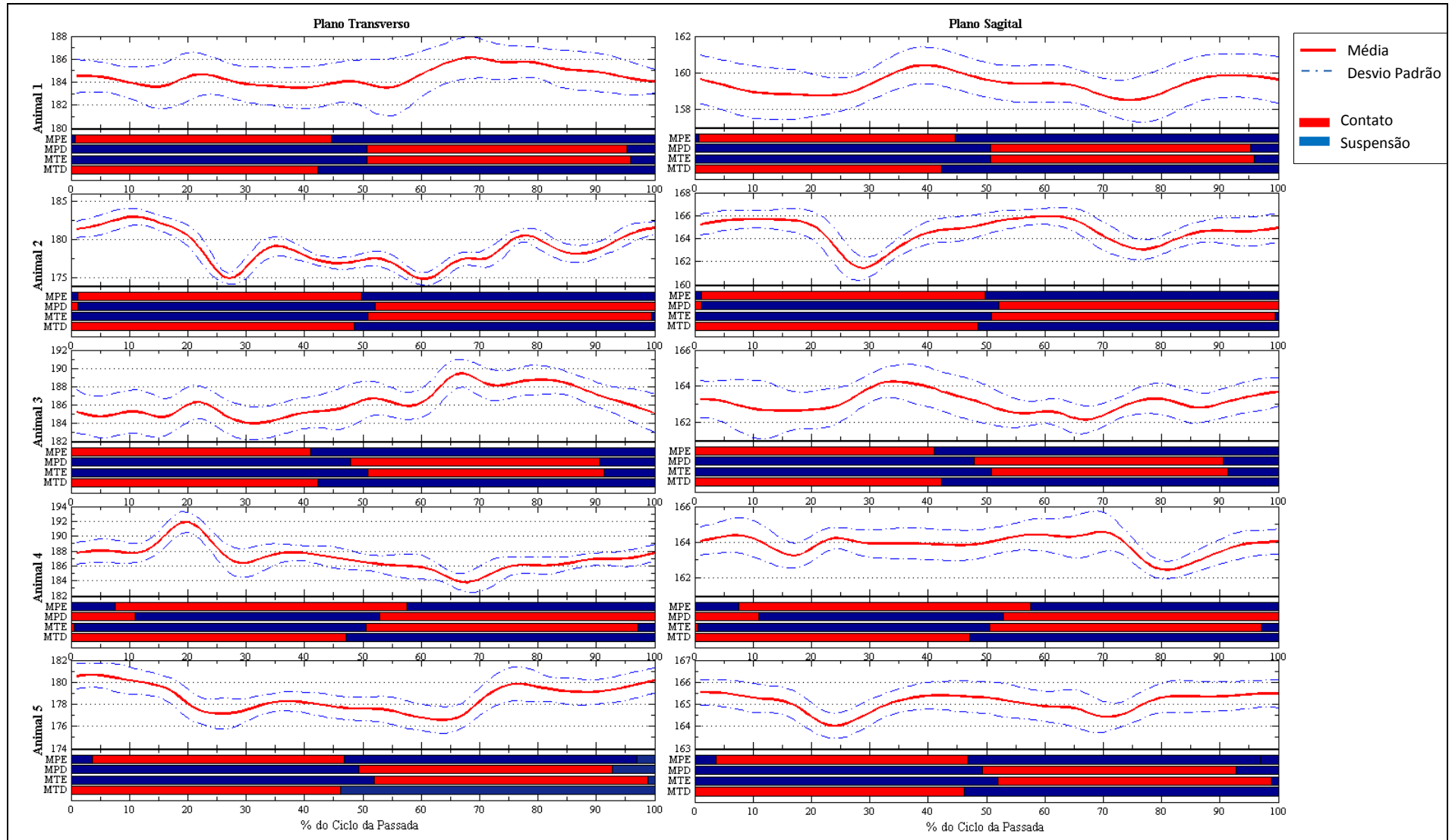


Figura 17: Variação média (linha vermelha sólida) e desvio padrão (linhas azuis pontilhadas) do ângulo Torácico Cranial dos cinco animais estudados nos planos Sagital e Transverso, descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

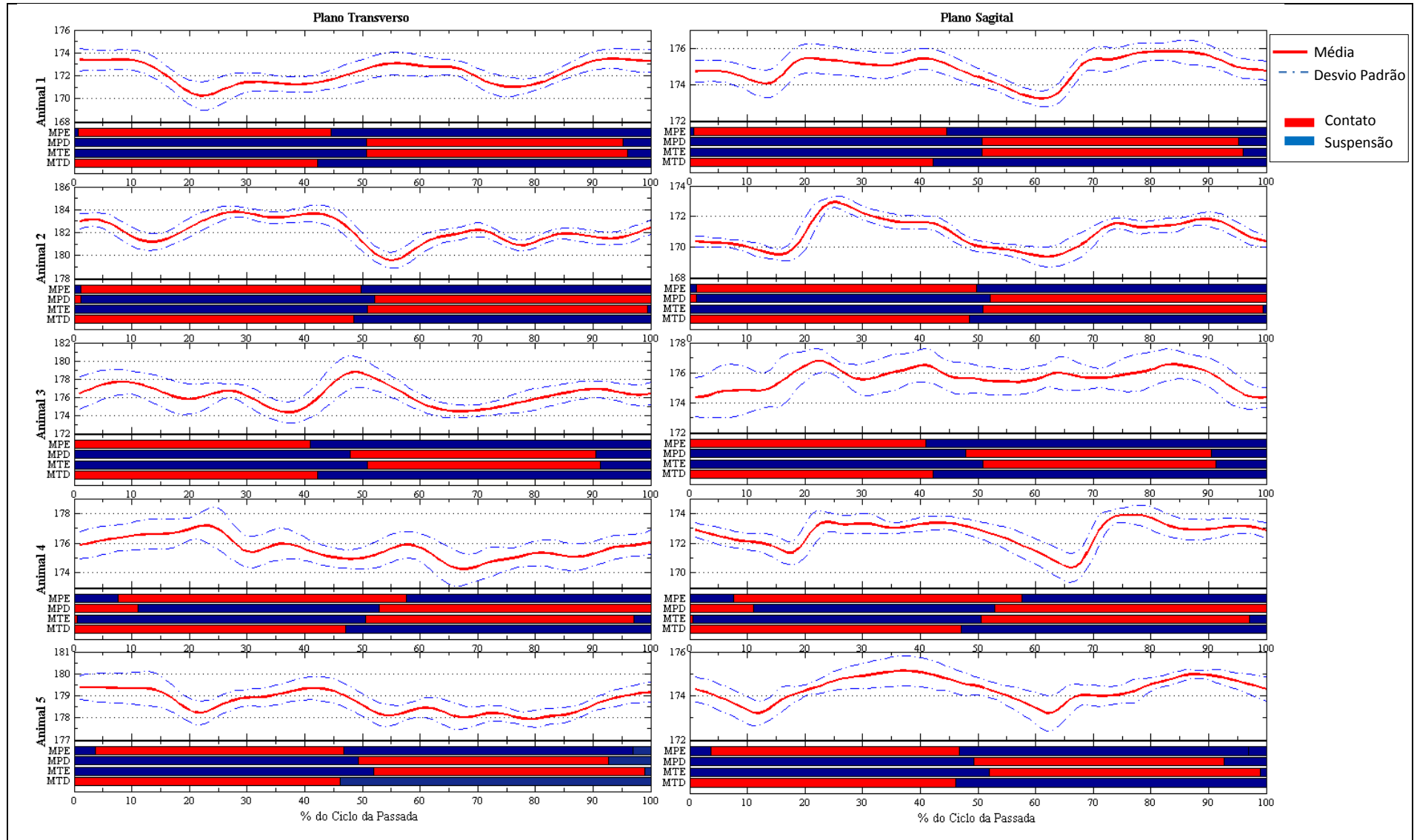


Figura 18: Variação média (linha vermelha sólida) e desvio padrão (linhas azuis pontilhadas) do ângulo Torácico Caudal dos cinco animais estudados nos planos Sagital e Transverso, descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

O movimento da região toracolombar, descrito pela curva média de variação dos ângulos Toracolombar 1 (Figura 19), Toracolombar 2 (Figura 20), no plano transversal apresentaram o mesmo padrão de movimento lateral em todos os animais, exceto nos Animais 1 e 3. No terço médio da fase de apoio diagonal tende a ocorrer lateroflexão ipsilateral ao membro pélvico apoiado.

No plano sagital o movimento da região toracolombar também apresentou ao longo do ciclo da marcha com o movimento extensão - extensão máxima – flexão – flexão máxima. Os valores mínimos destes ângulos, que correspondem a máxima extensão da coluna, ocorreram durante o terço médio de cada fase de apoio diagonal, com o movimento completo de extensão ocorrendo durante as fases de apoio diagonal, tanto no ângulo Toracolombar 1 (Figura 19) quanto no ângulo Toracolombar 2 (Figura 20). Nestes ângulos a máxima flexão ocorreu ao final das fases de apoio diagonais e durante as trocas destes apoios, incluindo os momentos de apoio tripedal, entretanto a postura de flexão não foi tão evidente nestes ângulos quanto nos ângulos da região torácica.

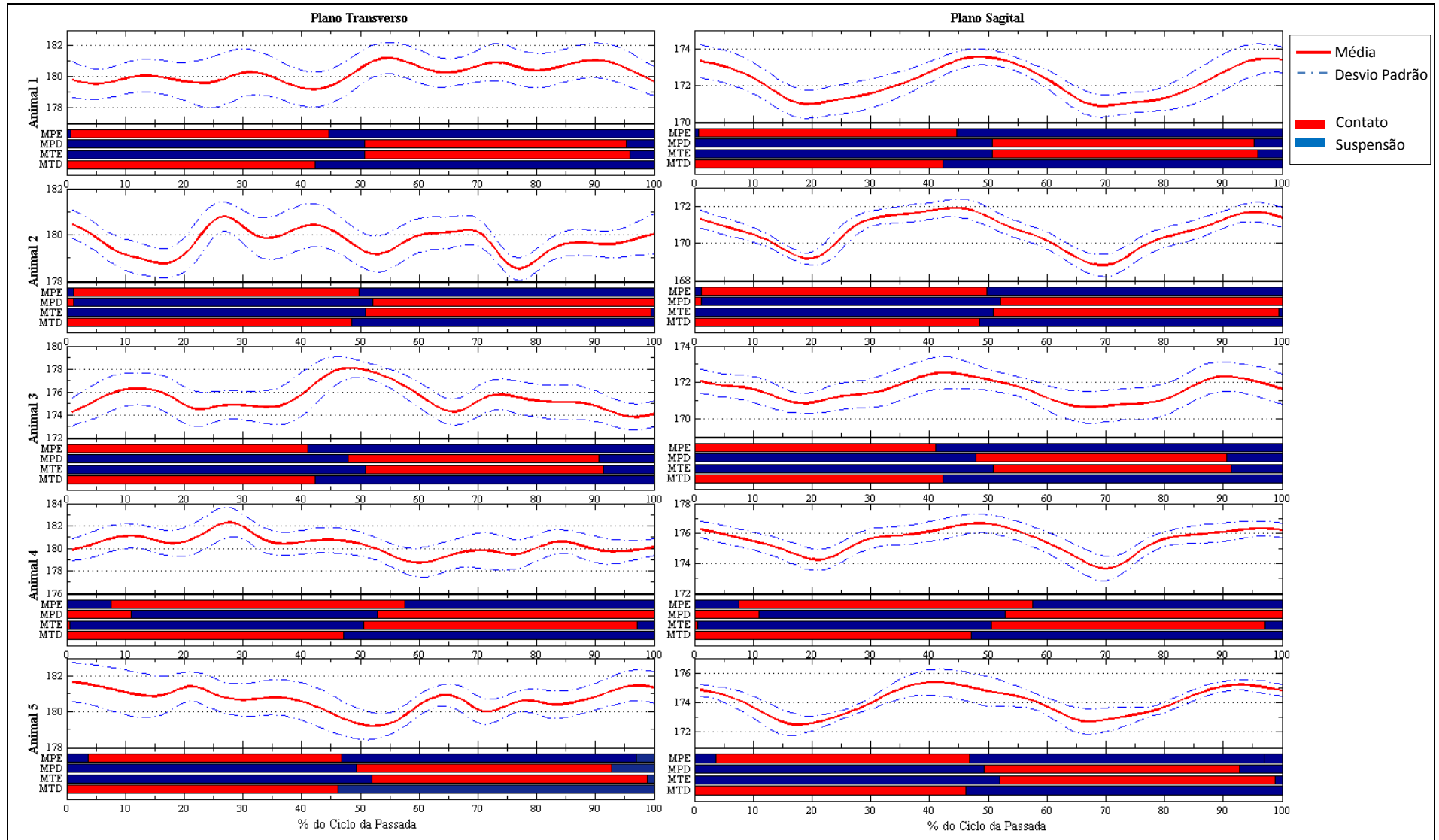


Figura 19: Variação média (linha vermelha sólida) e desvio padrão (linhas azuis pontilhadas) do ângulo Toracolumbar 1 dos cinco animais estudados nos planos Sagital e Transverso, descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

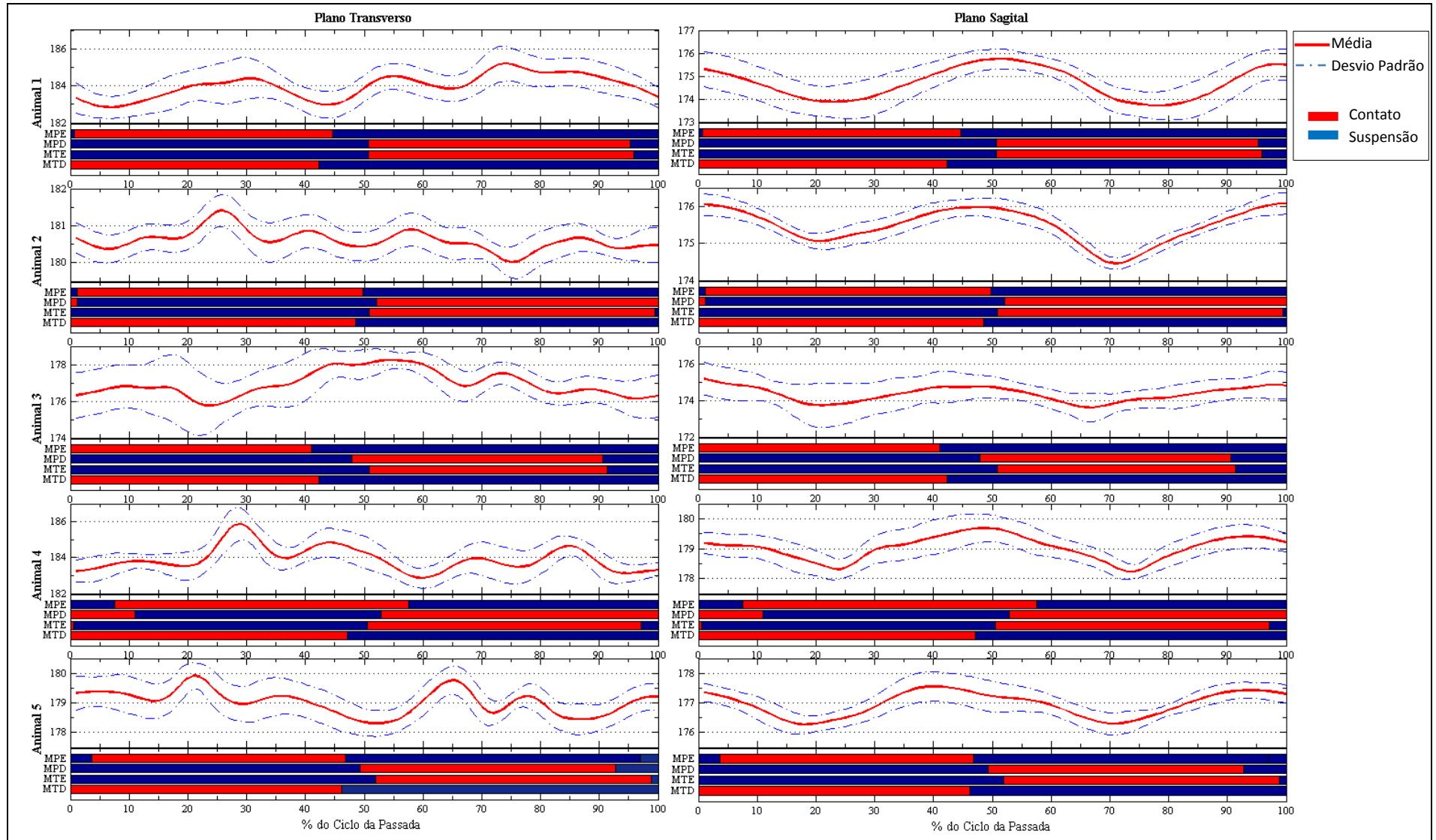


Figura 20: Variação média (linha vermelha sólida) e desvio padrão (linhas azuis pontilhadas) do ângulo Toracolumbar 2 dos cinco animais estudados nos planos Sagital e Transverso, descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

O ângulo Lombar (Figura 21) no plano transversal apresentou lateroflexão no mesmo lado do membro pélvico apoiado nos Animais 1, 3 e 5. O Animal 2 apresentou movimento oposto. E o Animal 4 apresentou a flexão lateral durante o período em que os membros pélvicos estiveram apoiados simultaneamente, ipsilateral ao membro iniciando o apoio.

No plano sagital o movimento do ângulo Lombar acompanhou o comportamento da região toracolombar, apresentando extensão - extensão máxima - flexão - flexão máxima, ocorrendo nas mesmas fases do ciclo da marcha.

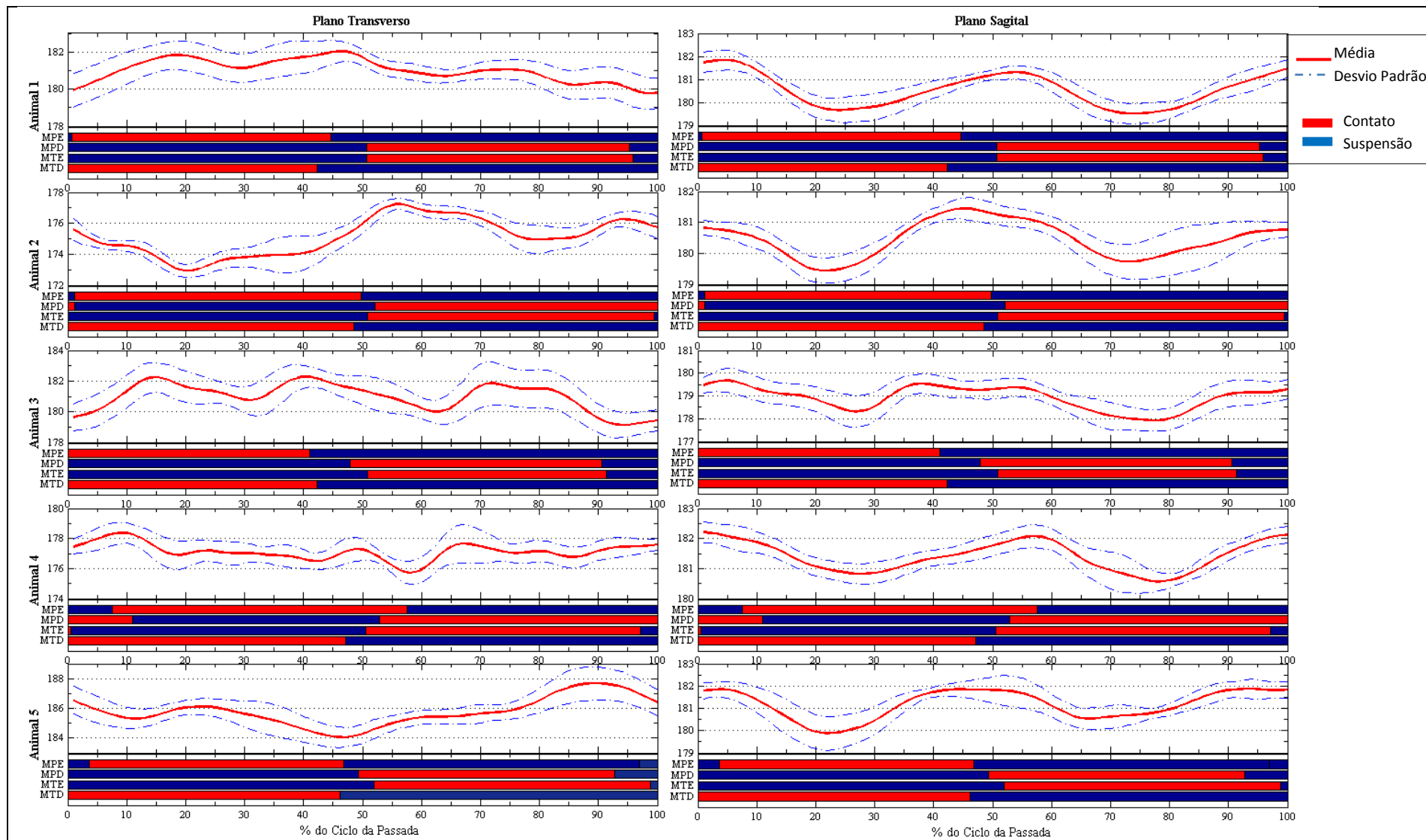


Figura 21: Variação média (linha vermelha sólida) e desvio padrão (linhas azuis pontilhadas) do ângulo Lombar dos cinco animais estudados nos planos Sagital e Transverso, descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

O movimento lateral do ângulo Lombossacro (Figura 22) no plano transversal seguiu o comportamento da região lombar, com a flexão lateral ocorrendo no lado do membro pélvico apoiado, exceto nos animais 1 e 3 que apresentaram flexão para o lado oposto. A máxima flexão lateral ocorreu ao final da fase de suspensão de cada membro pélvico.

O movimento dorsoventral da região lombossacra (Figura 22) também apresentou dois picos de máxima flexão, porém ocorrendo no sentido oposto ao da região lombar. O movimento que ocorre ao longo do ciclo da marcha é extensão – extensão máxima – flexão – flexão máxima. A extensão da região lombossacra predominou durante o ciclo da marcha, correspondendo a aproximadamente a 75% do tempo do ciclo.

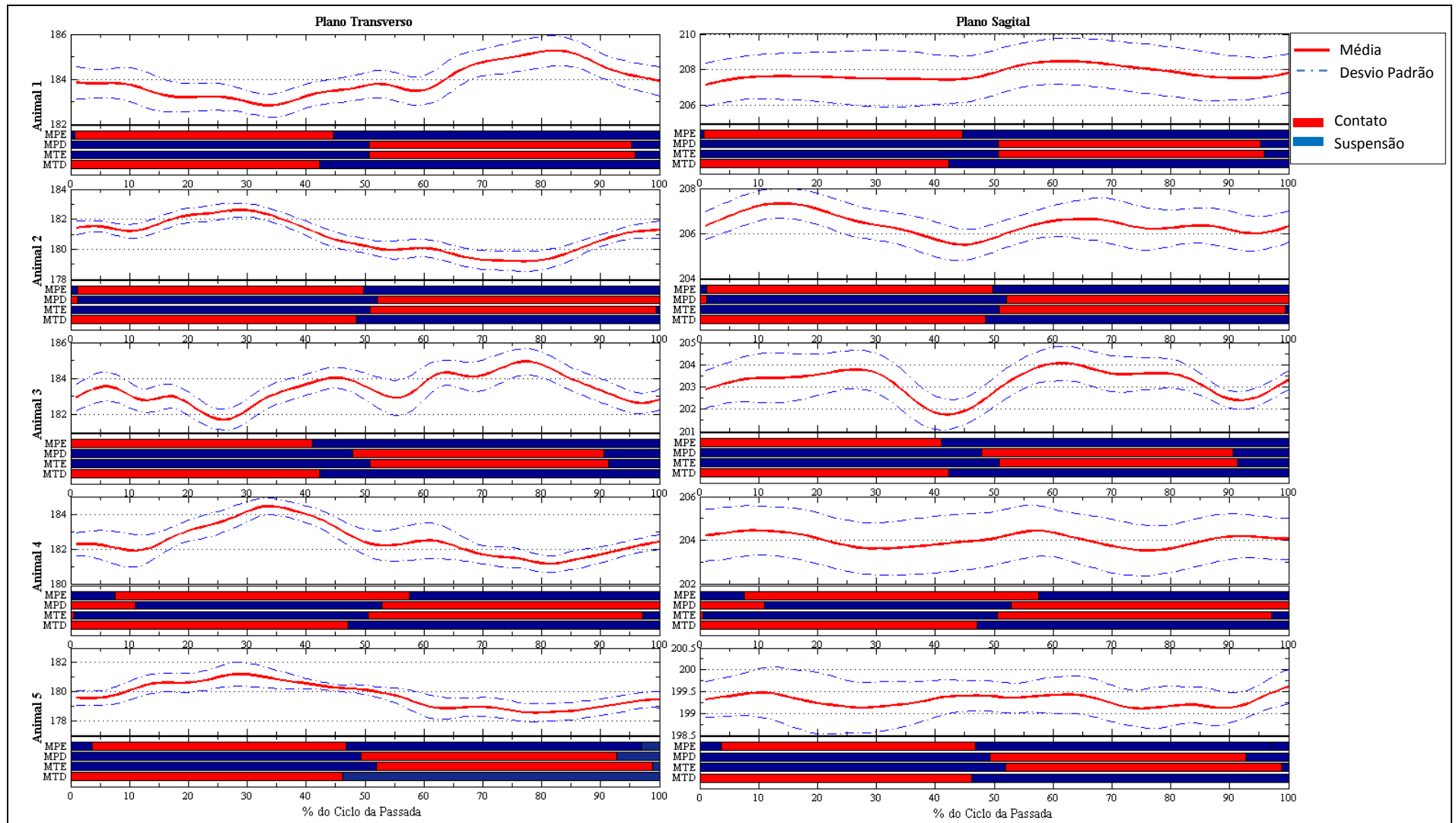


Figura 22: Variação média (linha vermelha sólida) e desvio padrão (linhas azuis pontilhadas) do ângulo Lombossacro dos cinco animais estudados nos planos Sagital e Transverso, descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

5.2 Eletromiografia

A Tabela 3 apresenta a média e o desvio padrão (micro Volts - μV) da máxima amplitude do sinal retificado da eletromiografia, de todos os animais estudados. O maior valor foi de 102,28 μV , observado no Longuíssimo Dorsal na altura de T16 no antímero direito, e o menor valor foi 5,87 μV , observado no Longuíssimo Dorsal na altura de L3 no antímero esquerdo.

Tabela 3: Média e o desvio padrão (micro Volts - μV) da máxima amplitude do sinal retificado da eletromiografia de cada um dos músculos estudados.

Músculo	Antímero	Amplitude Média (\pm Desvio Padrão) μV
Longuíssimo Dorsal - T16	Direito	102,28 (\pm 213,52)
	Esquerdo	44,55 (\pm 213,52)
Longuíssimo Dorsal - L3	Direito	15,13 (\pm 213,52)
	Esquerdo	5,87 (\pm 213,52)
Oblíquo Abdominal	Direito	33,42 (\pm 213,52)
	Esquerdo	64,30 (\pm 213,52)
Reto Abdominal	Direito	21,65 (\pm 213,52)
	Esquerdo	14,82 (\pm 213,52)
Glúteo Médio	Direito	15,89 (\pm 38,25)
	Esquerdo	18,54 (\pm 213,52)

O Músculo Longuíssimo Dorsal foi avaliado em dois pontos diferentes, o primeiro na região torácica, na altura de T16 (Figura 23) e o segundo na altura de L3 (Figura 24). Os resultados da Figura 13 houve um período de atividade eletromiográfica em cada lado do Músculo Longuíssimo Dorsal, que foi registrada no terço médio de cada fase de apoio diagonal, ipsilateral ao membro pélvico apoiado. Na Figura 24, que apresenta os resultados referentes ao Músculo Longuíssimo Dorsal na altura de L3, apenas o resultado do lado direito do Animal 2 apresentou dois períodos de atividade eletromiográfica do músculo, que ocorreram um em cada fase de apoio diagonal, nos demais animais não foi observado períodos de atividade no sinal.

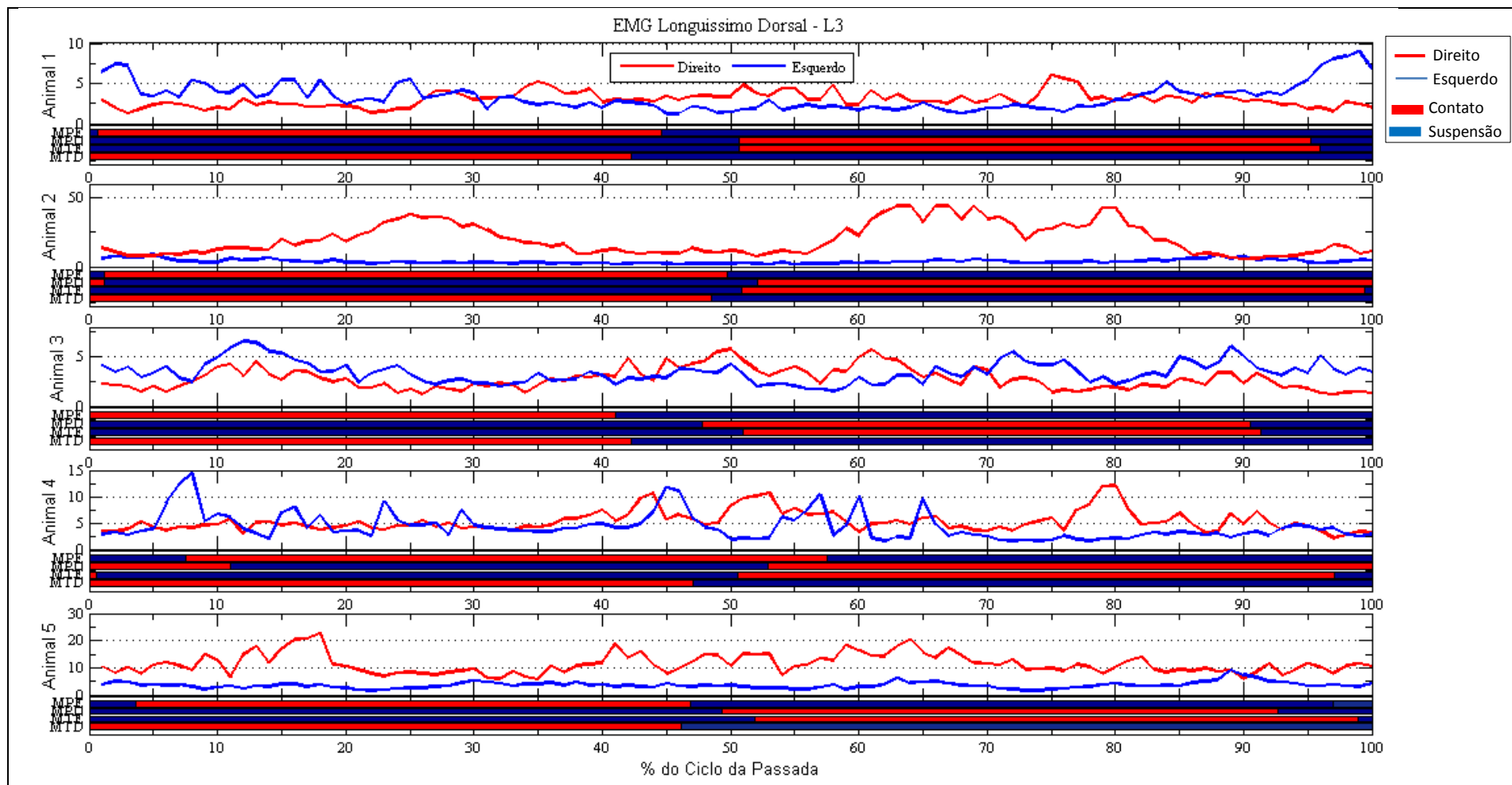


Figura 24: Variação da média do sinal eletromiográfico (a linha azul representa o sinal dos músculos do antímero esquerdo e a vermelha do direito) retificado do Músculo Longuíssimo Dorsal na altura de L3 descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

A Figura 25 apresenta os resultados da média do sinal eletromiográfico do Músculo Oblíquo Abdominal Externo. Os resultados dos Animais 2 e 3 mostram um período de atividade eletromiográfica em cada antímero avaliado, registrada no terço inicial da fase de apoio diagonal, ipsilateral ao membro pélvico apoiado.

Para o músculo Reto Abdominal (Figura 26) os resultados dos Animais 2 e 3 foram registradas bilateralmente dois períodos de atividade eletromiográfica do músculo, que ocorreram no terço inicial das fases de apoio diagonal.

Nos resultados do Glúteo Médio (Figura 27), exceto pelo Animal 5, foi registrada atividade do músculo do final da fase de suspensão até o terço médio da fase de apoio do membro pélvico ipsilateral ao músculo avaliado.

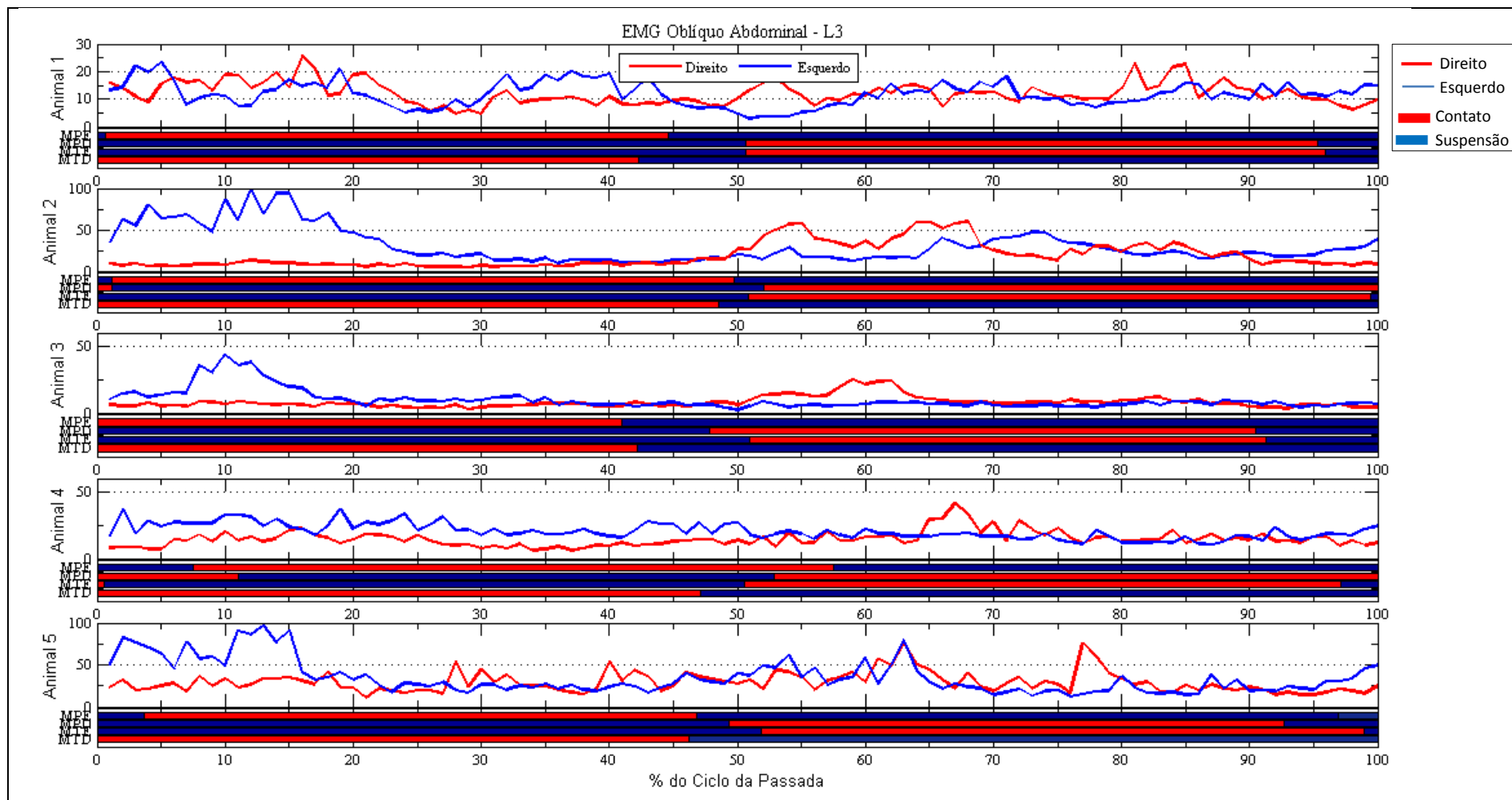


Figura 25: Variação da média do sinal eletromiográfico (a linha azul representa o sinal dos músculos do antímero esquerdo e a vermelha do direito) retificado do Músculo Obliquo Abdominal Externo descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

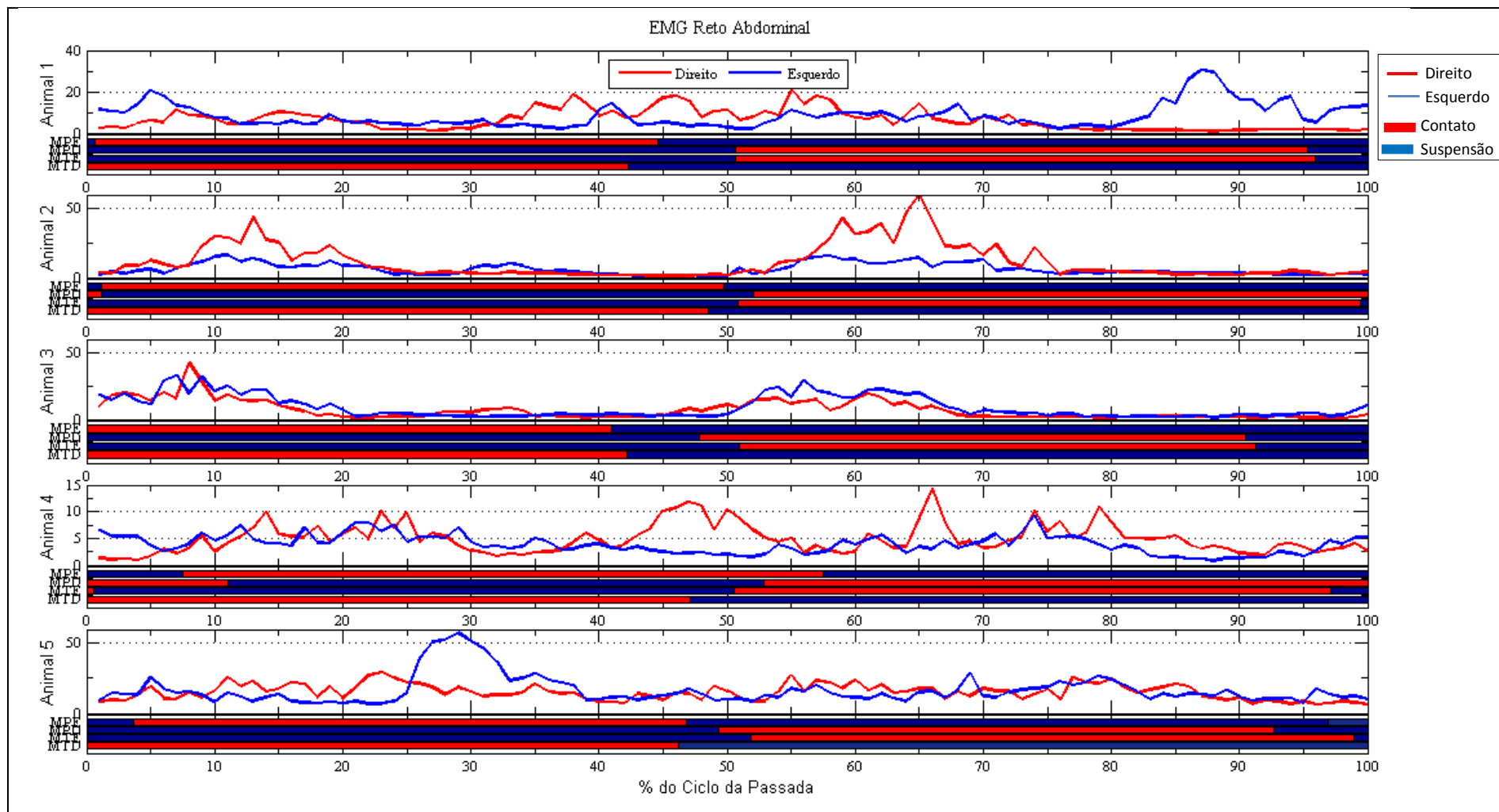


Figura 26: Variação da média do sinal eletromiográfico (a linha azul representa o sinal dos músculos do antímero esquerdo e a vermelha do direito) retificado do Músculo Reto Abdominal descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

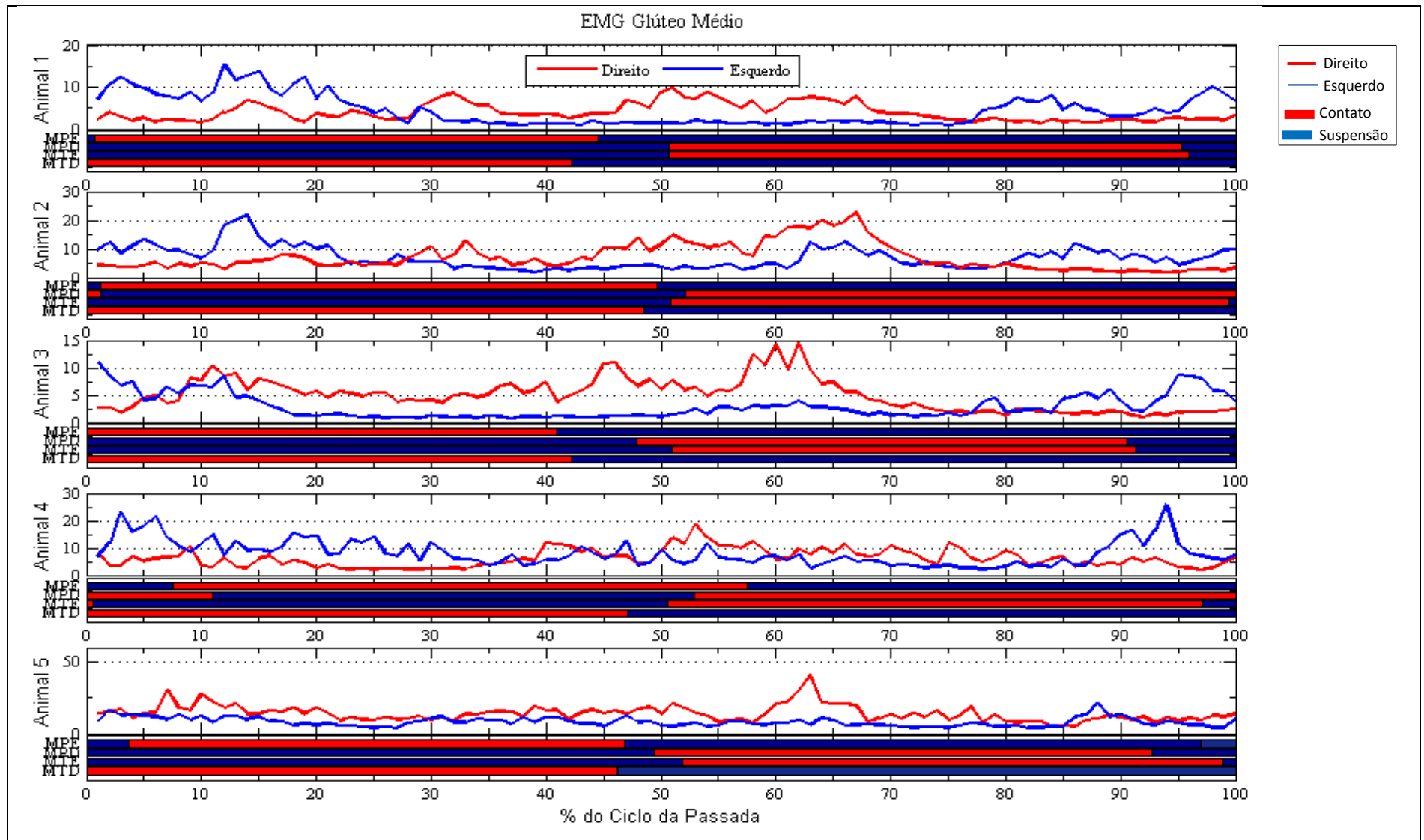


Figura 27: Variação da média do sinal eletromiográfico (a linha azul representa o sinal dos músculos do antímero esquerdo e a vermelha do direito) retificado do Músculo Glúteo Médio descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

A Figura 28 demonstra os resultados da variação média e desvio padrão do ângulo Toracolombar 1 nos planos sagital e transversal, a variação da média do sinal eletromiográfico retificado dos músculos Longuíssimo Dorsal, Oblíquo Abdominal Externo e do Reto Abdominal, descritos em função do ciclo de uma passada média do Animal 2. Ao analisarmos os dados cinemáticos e eletromiográficos juntos observa-se que a atividade dos músculos Oblíquo Abdominal Externo e Reto Abdominal ocorreram no terço inicial dos apoios diagonais, juntamente ao movimento de extensão. Em seguida, registrou-se a atividade eletromiográfica do músculo Longuíssimo Dorsal T16, que ocorreu ipsilateral ao terço médio da fase de apoio do membro pélvico, concomitante a máxima extensão. Foi registrado ainda o movimento de lateroflexão ipsilateral a onda de ativação e ao membro pélvico apoiado.

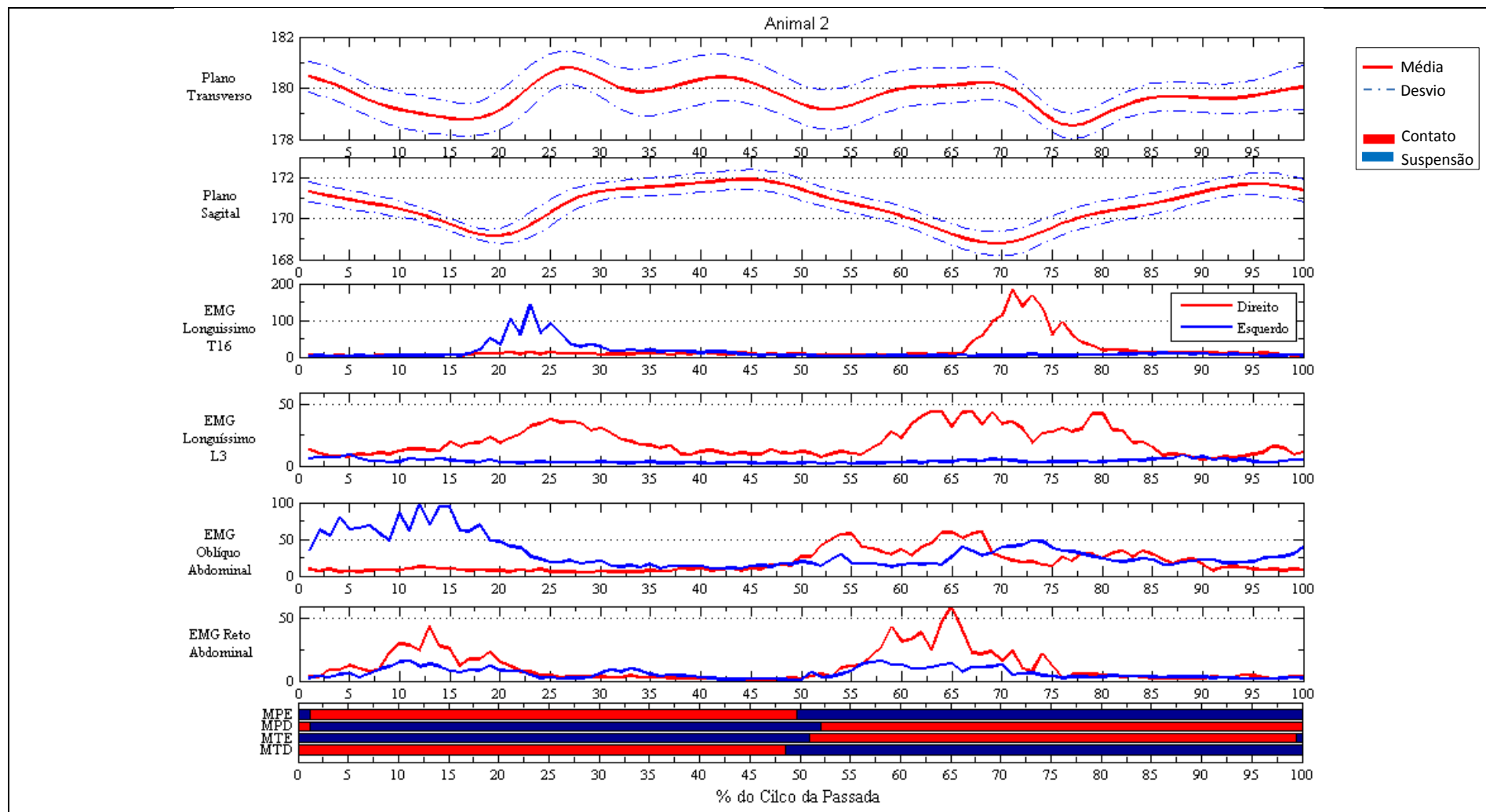


Figura 28: Variação média (linha vermelha sólida) e desvio padrão (linhas azuis pontilhadas) do ângulo Toracolombar 1 nos planos sagital e transversal, variação média do sinal eletromiográfico (a linha azul representa o sinal dos músculos do antímero esquerdo e a vermelha do direito) retificado dos músculos Longuissimo Dorsal (em T16 e L3), Obliquo Abdominal externo e Reto Abdominal, descritos em função do ciclo de uma passada média (em vermelho estão os momentos de apoio de cada membro e em azul, os momentos de elevação).

6. DISCUSSÃO

6.1 Cinemática

O resultado da amplitude dos ângulos avaliados mostrou que a coluna toracolombar dos animais Mangalarga Marchador apresentou pouco movimento nas condições do experimento (Tabelas 1 e 2). No movimento laterolateral, avaliado pela projeção dos ângulos no plano transversal (Tabela 1), a amplitude variou entre $3,33^{\circ}$, correspondente ao ângulo Lombossacro, e $7,26^{\circ}$ no ângulo Torácico Cranial. Em um trabalho que avaliou a cinemática tridimensional a partir da rotação individual de 8 vértebras da coluna toracolombar em 5 cavalos ao trote (14,4 km/h), Faber et al. (2001) relatam que as vértebras T6, T10, T13 e T17 da região torácica apresentaram $4,9^{\circ}$, $4,4^{\circ}$, $3,7^{\circ}$ e $3,6^{\circ}$ de amplitude respectivamente, no eixo correspondente ao movimento lateral, e sugerem que o movimento das vértebras da região torácica ocorre de modo individual, o que permitiria uma maior amplitude de movimento nesta região, em relação a região lombar, onde o movimento apresentou correlação entre vértebras adjacentes.

A amplitude encontrada neste trabalho nos ângulos da região torácica quando avaliados no plano transversal (Tabela 1) é semelhante a relatada por Gómez Álvarez et al. (2009), que compararam a cinemática da coluna toracolombar de 5 cavalos ao trote, avaliados em esteira rolante e sobre o solo. Nos animais de trote a amplitude média (\pm Desvio Padrão) encontrada no ângulo T10-T13-T17 foi de $4,4^{\circ}$ (0,90) e $3,6^{\circ}$ (0,5) no ângulo T13-T17-L1, quando avaliados sobre o solo. Os resultados das demais regiões da coluna foram maiores nos cavalos de trote do que nos marchadores avaliados neste trabalho (Tabela 1). As diferenças de amplitude observadas entre os cavalos Mangalarga Marchador deste trabalho e a amplitude

relatada nos cavalos de trote sugerem que a marcha pode induzir uma movimentação particular no tronco do Mangalarga Marchador, como a postura de flexão observada nos ângulos da região torácica dos cavalos analisados neste trabalho, e provavelmente esta diferença está associada às diferenças de distribuição dos apoios dos membros que existe entre a marcha e o trote.

A amplitude dos ângulos analisados no plano sagital (Tabela 2), que representou o movimento dorsoventral, os resultados dos cavalos Mangalarga Marchador estudados neste trabalho apresentaram algumas diferenças em relação aos dados dos cavalos de trote da literatura. O ângulo Torácico Cranial avaliado neste trabalho apresentou média menor ($3,21^{\circ}$) do que os valores encontrados por Audigié et al. (1999), que estudaram 13 cavalos de trote e encontrou $3,9^{\circ}$ no ângulo T6-T12-T18. Este mesmo ângulo foi estudado por Robert et al. (2001) em 4 cavalos de trote avaliados em esteira rolante a diferentes velocidades, e encontraram no trote de baixa velocidade (12,6 km/h) valores maiores ($4,8^{\circ}$) do que os valores encontrados nos cavalos de marcha ($3,21^{\circ}$) deste trabalho, que desenvolveram velocidade semelhante (13,17 km/h). Entretanto, Gómez Álvarez et al. (2009) encontraram valores menores ($2,3^{\circ}$) no ângulo T10-T13-T17 ao estudarem 5 cavalos de trote conduzidos a 13 km/h.

Os ângulos Toracolombar 1 e 2, que apresentaram $3,27^{\circ}$ e $2,24^{\circ}$, respectivamente, de amplitude de movimento dorsoventral (Tabela 2). Audigié et al. (1999) observaram valor semelhante de $3,5^{\circ}$ de amplitude de movimento em um ângulo formado pelas vértebras T12-T18-S1 em cavalos de trote conduzidos a 11,37 km/h. No estudo de Gómez Álvarez et al. (2009), os autores relatam amplitude de $2,2^{\circ}$ para o ângulo T13-T17-L1, semelhante ($2,24^{\circ}$) ao encontrado no ângulo

Toracolombar 2 estudado nos cavalos marchadores deste trabalho. Entretanto, Robert et al. (2001) que estudaram o ângulo T12-T18-S1 em cavalos de trote avaliados na esteira rolante, encontraram amplitude de movimento dorsoventral maior ($3,5^{\circ}$) que os demais resultados encontrados nos cavalos de trote e nos marchadores deste trabalho.

A amplitude de movimento do ângulo Lombar (Figura 20) nos cavalos marchadores foi menor ($2,36^{\circ}$) do que a encontrada por Gómez Álvarez et al. (2009) nos ângulos T17-L1-L3 ($3,2^{\circ}$) e L1-L3-L5 ($4,2^{\circ}$) em cavalos de trote.

Esta diferença pode estar associada ao andamento marchado, que por manter o cavalo por mais tempo em contato com o solo, transmite menos impacto vertical a coluna (BACK, 2013), já o trote por ser um andamento saltado, gera mais energia cinética pelo deslocamento das vísceras abdominais, e conseqüentemente maior mobilidade na região toracolombar e lombar. As angulações encontradas nos seguimentos ósseos e nas articulações dos membros pélvicos dos cavalos Mangalarga Marchador, que fornecem uma vantagem biomecânica por permitir um andamento mais elástico e favorecer a impulsão dos membros pélvicos (SANTIAGO, 2013), podem contribuir para as diferenças encontradas por gerar impulsão com menos transmissão atrito. Angulações indesejáveis nos membros pélvicos, como fêmur mais verticalizado, estão associadas a claudicações recorrentes e lombalgias (BARREY, 2013), o que sugere que os aprumos indesejáveis dos membros pélvicos podem sobrecarregar a coluna dos cavalos, porém mais estudos são necessários para esclarecer esta relação.

A região lombossacra dos cavalos marchadores, representada pelo ângulo L3-S1-Cd1, apresentou $1,99^{\circ}$ de amplitude de movimento dorsoventral. Em cavalos

de trote a amplitude de movimento lombossacra encontrada foi maior nos trabalhos de Audigié et al. (1999), Robert et al. (2001) e Gómez-Álvarez et al. (2009), que encontraram $3,8^{\circ}$, $3,7^{\circ}$ e $3,9^{\circ}$ respectivamente. A dissociação nas trocas de apoio, necessária para que o Mangalarga Marchador desenvolva seu andamento marchado, pode influenciar o movimento da articulação lombossacra, pois para manter o membro pélvico em apoio enquanto o membro torácico diagonal inicia sua fase de suspensão o cavalo deve manter esta articulação em extensão. No atual padrão racial do Mangalarga Marchador consta que a pelve deve ser longa, proporcional, musculosa e levemente inclinada (SANTIAGO, 2013). A conformação levemente inclinada facilita a rotação da pelve, que é um dos os parâmetros biomecânicos que contribuem para andamentos elásticos em cavalos de adestramento, e o comprimento da pelve esta relacionado ao comprimento da passada (HOLMSTRÖM e BACK, 2013). Devido a estes fatores é possível que o Mangalarga Marchador alcance um bom rendimento durante a marcha, com passadas amplas, por influência da conformação de sua pelve que favorece o movimento de rotação da mesma, e não dos movimentos flexão e extensão da articulação lombossacra. Esta relação da biomecânica da pelve com o desempenho dos cavalos atletas, aliada as particularidades anatômicas da região justificam uma investigação minuciosa sobre a influência dos movimentos desta região com a qualidade da marcha do Mangalarga Marchador.

As Figuras 17 e 18 mostram a variação dos ângulos Torácico Cranial e Caudal nos planos transversos e sagital. Os resultados das Figuras 17 e 18 mostram que esse dois ângulos apresentaram o mesmo comportamento de lateroflexão, ipsilateral ao membro torácico apoiado, no terço médio da fase de apoio diagonal. Este comportamento é semelhante ao encontrado em cavalos de trote por Licka et

al. (2001) e Faber et al. (2001). O movimento lateral da coluna na região torácica é influenciado pelas fases de apoio dos membros torácicos, durante a metade da fase de apoio a parte dorsal do tronco tende a se deslocar para o membro não apoiado, pela pressão do membro torácico apoiado (FABER et al., 2001).

No plano sagital, em ambas as Figuras 17 e 18 observamos no gráfico de todos os animais estudados dois momentos de máxima extensão durante o ciclo da passada, intercalados por platôs de flexão. No ângulo Torácico Caudal os momentos de máxima extensão são observados precocemente dentro do ciclo da passada em relação ao ângulo Torácico Cranial. O momento onde o ângulo Torácico Cranial atinge a máxima extensão difere aos relatados por Audigié et al. (1999), que ao estudarem o movimento dorsoventral de um ângulo semelhante (T6-T13-L1) em cavalos de trote, observou a máxima extensão durante o terço inicial dos apoios diagonais. Já Robert et al. (2001), que também estudaram o ângulo T6-T13-L1, relata que a máxima extensão ocorreu em momento semelhante ao ângulo Torácico Cranial deste trabalho. Uma particularidade observada nos cavalos marchadores foi a presença dos platôs de flexão da coluna, que não foi reportado nos animais de trote estudados por Audigié et al. (1999) e Robert et al. (2001). Esta diferença sugere que ocorram alterações posturais no tronco dos cavalos marchadores para a manutenção do equilíbrio do centro de massa, que pode ter sido deslocado durante a marcha de modo diferente ao trote, devido as diferenças na distribuição dos apoios entre estes andamentos.

Os dois ângulos que descrevem o movimento da região Toracolombar 1 e 2, e o da região Lombar durante o ciclo de uma passada completa foram apresentados nas Figuras 19, 20 e 21. No plano transversal estes ângulos apresentaram

comportamento semelhante entre si, apresentando lateroflexão no terço médio da fase de apoio diagonal, ipsilateral ao membro pélvico apoiado. Estes achados são semelhantes aos descritos na literatura para cavalos de trote por Licka et al (2001) e Faber et al (2001). A partir do terço médio da fase de apoio os membros pélvicos geram impulsão a partir da pressão dos membros pélvicos contra o solo, o que acaba exercendo uma força oblíqua na coluna cujo componente lateral empurra a coluna, provocando a lateroflexão no lado do membro apoiado (FABER et al., 2001). Este mecanismo parece ser comum aos cavalos de marcha e trote, pois ambos geram impulsão para o deslocamento do corpo nos membros pélvicos.

Nestas regiões da coluna, os resultados deste trabalho mostram que nos cavalos marchadores, a máxima extensão da região toracolombar ocorreu em momentos semelhantes aos cavalos de trote estudados por Audigié et al. (1999) e Robert et al. (2001). Nota-se que nestes ângulos, apesar de menos evidente que nos da região torácica, existe uma tendência para a manutenção da postura de flexão na coluna, o que reforça a hipótese da importância da flexão da coluna para os animais marchadores. Durante o movimento de flexão a coluna funciona como um transmissor do impulso gerado pelos membros pélvicos para o restante do corpo do cavalo, que permite o cavalo iniciar ou dar continuidade ao movimento, desta forma, sugere-se que o padrão de movimento da coluna possa contribuir para um melhor aproveitamento do impulso gerado pelos membros pélvicos, proporcionando um deslocamento horizontal com menos transmissão de impacto vertical para a coluna.

Os gráficos que representam o ângulo Lombossacro foram apresentados na Figura 22. No plano transversal as curvas dos gráficos mostram dois picos de lateroflexão ipsilateral ao membro pélvico apoiado, que ocorreram no terço médio

das fases de apoio dos membros pélvicos, nos animais 2, 4 e 5; já nos animais 1 e 3 foi observado o inverso. No plano sagital, observa-se que a flexão e extensão da pelve ocorreram de forma oposta a região lombar. O predomínio da extensão encontrado nos animais marchadores não é relato para os animais de trote, que apresentam um padrão sinusoidal característico (AUDIGIÉ et al., 1999, e ROBERT et al., 2001). A provável explicação para este comportamento da pelve pode estar relacionada a dissociação dos membros pélvicos em relação aos torácicos, pois para desenvolver a marcha os cavalos devem permanecer com o membro pélvico apoiado enquanto seu torácico diagonal inicia a fase de suspensão, e para tanto a extensão da articulação lombossacra pode ser um fator determinante para execução deste movimento.

6.2 Eletromiografia

A avaliação eletromiográfica do Músculo Longuíssimo Dorsal foi realizada em dois pontos, o primeiro na altura de T16 (Figura 23), que apresentou maior amplitude no sinal retificado (Tabela 3), e o segundo ponto de avaliação foi realizado na altura de L3 (Figura 24), porém nesta altura foi registrada uma menor amplitude no sinal. Estes achados estão de acordo com o descrito por Peham et al. (2001), que ao estudarem a atividade eletromiográfica do músculo Longuíssimo Dorsal de 15 cavalos durante movimentos laterais e dorsoventrais induzidos na coluna, também registram uma amplitude menor do eletrodo posicionado em L3, comparado ao posicionado em T16. Em outro trabalho que avaliou a atividade eletromiográfica do músculo Longuíssimo Dorsal, nos mesmos pontos em questão, em 15 cavalos durante o trote em esteira Licka et al. (2004) também registram resultados semelhantes.

A correta detecção do sinal eletromiográfico pelos eletrodos depende de alguns princípios básicos, dentre eles são fundamentais o preparo da pele onde o eletrodo será afixado (CLANCY et al., 2002), que neste trabalho foi criteriosamente realizada, e o correto posicionamento do eletrodo sobre o músculo a ser avaliado, paralelo ao sentido das fibras musculares (PEHAM et al., 2001), que neste caso pode ter contribuído para a baixa amplitude e da ausência de atividade observada no sinal do eletrodo posicionado em L3. Estudos anatômicos do Músculo Longuíssimo Dorsal em cavalos de trote, apontam que o comprimento e angulação das fibras musculares variam significativamente ao longo deste musculo, e que esta variação influencia a atividade do musculo, que pode levar a padrões de recrutamento das fibras distintos dependendo do exercício realizado (VON SCHEVEN, 2010).

Nos demais músculos estudados (Figuras 25, 26 e 27) também não houve a detecção de atividade no sinal eletromiográfico em alguns animais, e a consideração sobre o posicionamento do eletrodo também se aplica nestes animais. Portanto, para se compreender melhor função dos músculos durante a marcha, devem ser realizados estudos visando determinar as referencias anatômicas específicas para utilização da eletromiografia de superfície, não só no Mangalarga Marchador, mas também nas diversas raças de cavalos.

A atividade registrada no sinal eletromiográfico do músculo Longuíssimo Dorsal avaliado em T16 (Figura 22) e a comparação dos dados cinemáticos e eletromiográficos do Animal 2 ilustrado na Figura 27, mostra que houve uma atividade eletromiográfica unilateral deste músculo, em cada apoio diagonal, que foi ipsilateral ao membro pélvico apoiado. A atividade do músculo registrada

possivelmente está associada a estabilização do movimento lateral da coluna toracolombar para que ocorra a propagação do impulso gerado pelo membro pélvico. Este achado difere do descrito na literatura para cavalos de trote, que em velocidade semelhante a desenvolvida pelos cavalos marchadores deste trabalho, apresentaram atividade eletromiográfica bilateral associadas aos momentos de máxima flexão, sugerindo que a ativação do longuíssimo dorsal durante o trote ocorre para estabilizar a coluna, só que neste caso evitando a flexão excessiva da coluna (ROBERT et al., 2001; ROBERT et al., 2002; LICKA et al., 2004). Os resultados dos cavalos marchadores foram semelhantes aos apresentados por Licka et al. (2009), que avaliaram 15 cavalos de trote ao passo em esteira rolante, e descrevem um período de máxima amplitude no sinal eletromiográfico em cada antímero avaliado em T16, ipsilateral ao membro pélvico apoiado, e atribuem a atividade muscular a estabilização do movimento lateral para a transmissão do impulso, por esta ser a região que possui maior flexibilidade na coluna toracolombar. Portanto os resultados dos cavalos marchadores sugerem que durante a marcha a atividade eletromiográfica do Longuíssimo Dorsal se assemelha mais a atividade deste músculo ao passo do que no trote.

O sinal do músculo Reto Abdominal mostra que nos cavalos marchadores houve dois períodos bilaterais de atividade eletromiográfica durante o ciclo de uma passada, com a duração de cada período coincidindo com a metade inicial das fases de apoio diagonal. Este achado está de acordo com relatado na literatura para animais de trote (ROBERT et al., 2001), e sugere que a atividade deste músculo ocorre para estabilização da coluna, evitando a sua extensão excessiva pelo movimento das vísceras abdominais.

O músculo Oblíquo Abdominal Externo apresentou comportamento semelhante ao Reto Abdominal, porém com apenas um período de atividade registrado em cada antímero avaliado, que ocorreu no terço inicial da fase de apoio do membro pélvico ipsilateral, precedendo a onda de atividade do Longuíssimo Dorsal. Em um trabalho que avaliou a atividade eletromiográfica do músculo Oblíquo Abdominal Externo em 6 cavalos ao passo (4,5 km/h) e ao trote (11,62 km/h), porém com o eletrodo afixado na altura da 16ª costela, Zsoldos et al. (2010) relataram um padrão de atividade similar ao encontrado nos cavalos marchadores nos cavalos de trote quando avaliados ao passo, e quando avaliados ao trote estes mesmos cavalos apresentaram dois períodos bilaterais de atividade eletromiográfica, correspondente a cada bípode diagonal apoiado. A atividade eletromiográfica registrada nos cavalos marchadores e de trote provavelmente ocorreu para a estabilização da coluna toracolombar por este músculo, e as diferenças entre o trote e a marcha podem estar associadas ao fato da marcha induzir menos movimento dorsoventral que o trote, e portanto necessitar de menos esforço muscular para estabilização da coluna. Sugere-se ainda que esta atividade unilateral auxilie no avanço dos membros pélvicos, pois como a pelve dos cavalos marchadores apresenta pouco movimento dorsoventral o movimento lateral da coluna garantiria uma boa amplitude de passada, o que também contribuiria para a comodidade da marcha.

Os resultados do músculo Glúteo Médio (Figura 27) estão de acordo com os resultados de Robert et al. (1999), que estudaram a atividade eletromiográfica dos músculos do membro pélvico em 5 cavalos de trote em esteira. Este padrão de atividade é coerente com as funções exercidas pelo músculo, que são a extensão da articulação lombossacra (ROBERT et al., 1999) e propulsão do corpo (ROBERT et al.,

2000), e esta função não difere entre o trote e a marcha, que necessitam da impulsão dos membros pélvicos para o deslocamento horizontal dos cavalos.

A Figura 28 exemplifica de modo resumido, utilizando os dados do Animal 2 como exemplo, a interação entre os movimentos da coluna toracolombar e a atividade eletromiográfica de três músculos estudados neste trabalho, descritos no ciclo de uma passada completa.

Durante o terço inicial da fase de contato do membro torácico direito, observamos que esta ocorrendo um movimento de extensão da coluna, representado pela redução na curva do gráfico (Figura 28), concomitante a isso foi registrada a atividade eletromiográfica dos músculos Oblíquos Abdominal Externo e Reto Abdominal, responsáveis pela estabilização do movimento de extensão provocado pelo deslocamento ventral das vísceras abdominais (FABER et al., 2001). No terço médio do apoio diagonal ocorre a máxima extensão da coluna, e ao mesmo tempo observamos a onda unilateral de atividade eletromiográfica do músculo Longuíssimo Dorsal, ipsilateral ao membro pélvico apoiado, esta atividade tem como objetivo a estabilização da coluna para que ocorra a propagação do impulso gerado pelo membro pélvico (LICKA et al., 2009), essa hipótese é reforçada pelo movimento de lateroflexão ipsilateral a atividade eletromiográfica registrada no Longuíssimo Dorsal. Na segunda metade do ciclo da passada, quando ocorre a troca de apoio entre os bípedes diagonais, estes eventos se repetem de forma semelhante.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados deste trabalho constituem uma descrição inédita do movimento da coluna toracolombar de cavalos Mangalarga Marchador, que servirão como base para comparação de pesquisas futuras sobre a biomecânica de cavalos de marcha.

Durante a execução do trabalho foram identificadas algumas limitações, uma delas foi a não criação de um eixo de referencia para o movimento latero-lateral, que auxiliaria na descrição deste movimento. Uma outra alternativa seria a obtenção de um modelo estático de cada animal avaliado, obtendo-se um valor de referencia para cada ângulo estudado, e a partir destes valores de referência realizar a descrição dos movimentos no plano sagital e transverso. A condução dos animais a uma velocidade acima do desejado, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento do andamento característico da raça pelos animais estudados. Sugere se ainda, que nos trabalho futuros os resultados sejam demonstrados no ciclo de duas passadas completas, o que facilitaria a compreensão dos eventos que ocorrem durante a marcha.

O movimento da a coluna toracolombar de cavalos Mangalarga Marchador durante a marcha possui pouca amplitude, assim como nos cavalos de trote. Em relação aos cavalos de trote, a coluna toracolombar e lombossacra apresentaram menor mobilidade nos planos sagital e transverso, quando comparado aos cavados de trote. Supõe-se que essa menor mobilidade esteja associada ao andamento marchado da raça, que gera menor força de reação vertical sobrea a coluna, transmitindo menos impacto ao cavaleiro.

Foram observadas diferenças na variação dos ângulos ao longo do ciclo da marcha, sobretudo nos ângulos da região torácica, que apresentaram platô na curva

do movimento dorsoventral indicando que os cavalos marchadores assumem uma postura de flexão da coluna durante as trocas de apoios. Sugere-se que essas diferenças posturais estão associadas ao deslocamento do centro de massa que ocorre durante a locomoção por influência da dinâmica de apoio e suspensão dos membros, a qual é distinta entre os cavalos de trote e marcha. Na região lombossacra foi observado movimento contrário à região lombar, foi observado também predomínio da extensão nesta região, que foi atribuído a dissociação nas trocas de apoio, necessária para que o Mangalarga Marchador desenvolva seu andamento marchado com dissociação nas trocas de apoio.

Os resultados da avaliação da atividade eletromiográfica mostraram que a atividade dos músculos estudados é semelhante aos cavalos de trote, sugerindo que os músculos Reto Abdominal e Oblíquo Abdominal Externo possuem função estabilizadora durante o ciclo da marcha, restringindo o movimento de extensão, o Glúteo Médio função de extensão da articulação coxofemoral, e o Longuíssimo dorsal função de estabilização da coluna para propagação do impulso gerado pelo membro pélvico, porém com atividade semelhante aos animais de trote quando estudados ao passo.

Apesar das limitações e do número reduzido de animais avaliados, foi possível realizar uma descrição do movimento da coluna do Mangalarga Marchador durante a marcha. Os resultados mostram que as diferenças entre a marcha e o trote vão muito além da distribuição dos apoios, e que para se compreender a fundo este andamento serão necessárias mais pesquisas com foco na biomecânica da marcha. Dentre elas destacam-se estabelecer a relação entre o grau de dissociação dos cavalos marchadores e os movimentos da coluna, o efeito da dor lombar nos

animais marchadores, a biomecânica da pelve e do pescoço, e dentre outras, pois ainda há muito a se aprender sobre a marcha.

8. CONCLUSÃO

Nas condições em que esse experimento foi realizado, podemos chegar às seguintes conclusões:

- Os animais não apresentaram grande mobilidade da coluna vertebral durante a marcha em nenhum dos planos estudados;
- A região torácica apresenta lateroflexão no terço médio da fase de apoio dos membros torácico, ipsilateral ao membro apoiado. No plano sagital o ângulo Torácico Cranial o pico de extensão ocorreu no terço médio de cada apoio diagonal e o pico de flexão durante o momento de suspensão. No ângulo Torácico Caudal o pico de extensão no plano sagital ocorreu no terço inicial dos apoios diagonais e o pico de flexão no terço final dos apoios diagonais. Nos dois ângulos estudados, os animais tendem a manter a coluna em postura de flexão durante as trocas de apoio diagonais.
- A região toracolombar apresenta lateroflexão no terço médio da fase de apoio diagonal, ipsilateral ao membro pélvico apoiado. No plano sagital a máxima extensão da coluna ocorreu durante o terço médio de cada fase de apoio diagonal, com o movimento completo de extensão ocorrendo durante as fases de apoio diagonal, e a máxima flexão ocorreu ao final das fases de apoio diagonais e durante as trocas destes apoios, incluindo os momentos de apoio tripedal.

- A articulação lombossacra apresentou pouco movimento no plano sagital durante a marcha, se comparada a outros andamentos, com predomínio do movimento de extensão, que correspondeu a 75% do ciclo da passada.
- A atividade eletromiográfica do músculo Longuíssimo Dorsal ocorre de maneira unilateral e ipsilateral durante o terço médio do apoio dos membros pélvicos.
- O músculo Oblíquo Abdominal Externo apresentou uma onda de atividade eletromiográfica em cada antímero avaliado, registrada no terço inicial de cada fase de apoio diagonal, ipsilateral ao membro pélvico apoiado.
- O músculo Reto Abdominal apresentou atividade eletromiográfica bilateral, no terço inicial das fases de apoio diagonal.
- O músculo Glúteo Médio apresentou atividade eletromiográfica no final da fase de suspensão, até o terço médio da fase de apoio do membro pélvico, ipsilateral ao músculo avaliado.

9. REFERÊNCIAS

ALVES, A.L.G.; FONSECA, B.P.A.; THOMASSIAN, A.; NICOLETTI, J.L.M.; HUSSNI, C.A.; BORGES, A. S. Estudo retrospectivo de dor lombar em eqüinos. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.41, p.268-269, 2004.

AUDIGIÉ, F.; POURCELOT, P.; DEGUEURCE, C.; DENOIX, J.M.; GEIGER, D. Kinematics of the equine back: flexion-extension movements in sound trotting horses. **Equine Veterinary Journal**, v.31, n. s30, 210-213, 1999.

BACK, W.; CLAYTON, H.M. **Equine Locomotion**. London: W.B. Saunders. 2013, 527p.

BARREY, E. Methods, applications and limitations of gait analysis in horses. **The Veterinary Journal**, v.157, n.1, p.7-22, 1999.

BARREY, E. Gaits and interlimb coordination. In: BACK, W.; CLAYTON, H.M. **Equine Locomotion**. London: W.B. Saunders. 2013, p.85-97.

BOYE, J.K.; THOMSEN, M.H.; PFAU, T.; OLSEN, E. Accuracy and precision of gait events derived from motion capture in horses during walk and trot. **Journal of Biomechanics**, v.47, n.5, p.1220-1224, 2014.

CLANCY, E.A.; MORIN, E.L.; MERLETTI, R. Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v.12, n.1, p.1-16, 2002.

CLAYTON, H.M.; SCHAMHARDT, H.C. Measurement techniques for gait analysis. In: BACK, W.; CLAYTON, H.M. **Equine Locomotion**. London: W.B. Saunders. 2013, p.31-60.

DENOIX, J.D. Kinematics of the thoracolumbar spine in the horse during dorsoventral movements: A preliminary report. **Equine Exercise Physiology**, 2nd ICEEP Publications, p.607-614, 1987.

DENOIX, J.D. Spinal biomechanics and functional anatomy. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**, v.15, p.27-60, 1999.

DENOIX, J.D., AUDIGIÉ, F. The neck and back. In: BACK, W., CLAYTON, H.M. **Equine Locomotion**. London: W.B. Saunders. 2001, p.167-192.

DENOIX, J.M.; PAILLOUX, J.P. **Physical Therapy and Massage for the Horse. 2 ed.** Vermont: Trafalgar Square Publishing, 2005. 224p.

DENOIX, J.D.; DYSON, S.J. Thoracolumbar Spine. In: ROSS, M. W.; DYSON, S. J. **Diagnosis and Management of Lameness in the Horse**. 1.ed. Philadelphia: Saunders, 2003. p.509-521.

FABER, M.; SCHAMHARDT, H.; VAN WEEREN, R.; JOHNSTON, C.; ROEPSTORFF, L.; BARNEVELD, A. Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses walking on a treadmill. **American Journal of Veterinary Research**, v.61, n.4, p.399-406, 2000.

FABER, M.; SCHAMHARDT, H.; VAN WEEREN, R.; JOHNSTON, C.; ROEPSTORFF, L., BARNEVELD, A. Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses trotting on a treadmill. **American Journal of Veterinary Research**, v.62, n.5, p.757-764, 2001.

FONSECA, B.P.A. **Termografia e ultra-sonografia no diagnóstico de lesões toracolombares em eqüinos atletas da raça quarto de milha**. 2005. 71p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

GALLOUX, P.; RICHARD, N.; DRONKA, T.; LEARD, M.; PERROT, A.; JOUFFROY, J.L.; CHOLET, A. Analysis of equine gait using three-dimensional accelerometers fixed on the saddle. **Equine Veterinary Journal**, v.26, n.17, p.44–47, 1994.

GÓMEZ ÁLVAREZ, C.B. **The biomechanical interaction between vertebral column and limbs in the horse: a kinematical study**. 2007. 144p. Tese (Doutorado) - Department of Equine Sciences, Universidade de Utrecht, Utrecht.

HAUSSLER, K.K. Anatomy of the thoracolumbar vertebral region. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**. v.15, p.13-26, 1999.

HAUSSLER, K.K.; BERTRAM, J.E.; GELLMAN, A.K.; HERMANSON, J. W. Segmental in vivo vertebral kinematics at the walk, trot and canter: a preliminary study. **Equine Veterinary Journal**, v.33, n.s33, p.160-164, 2001.

HUSSNI, C.A.; WISSDORF, H.; NICOLETTI, J.L.M. Variações da marcha em equinos da raça Mangalarga Marchador. **Ciência Rural**, v.26, n.1, p.91-95, 1996.

JEFFCOTT, L.B.; DALIN, G. Natural rigidity of the horse's backbone. **Equine Veterinary Journal**, v.12, n.3, p.101-108, 1980.

JOHNSTON, C.; HOLM, K.R.; ERICHSEN, C.; EKSELL, P.; DREVEMO, S. Kinematic evaluation of the back in fully functioning riding horses. **Equine Veterinary Journal**, v.36, n.8, p.495-498, 2004.

LANDMAN, M.A.A.M.; BLAAUW, J.A.; VAN WEEREN, P.R.; HOFLAND, J.L. Field study of the prevalence of lameness in horses with back problems. **Veterinary Record**, v.155, p.165-168, 2004.

LICKA, T.; PEHAM, C.; ZOHMANN, E. Range of back movement at trot in horses without back pain. **Equine Veterinary Journal**, v.33, n.s33, p.150-153, 2001.

LICKA, T.; PEHAM, C.; FREY, A. Electromyographic activity of the longissimus dorsi muscles in horses during trotting on a treadmill. **American Journal of Veterinary Research**, v.65, n.2, 155-158, 2004.

LICKA, T.; FREY, A.; PEHAM, C. Electromyographic activity of the longissimus dorsi muscles in horses when walking on a treadmill. **The Veterinary Journal** v.180, n.1, p.71-76, 2009.

LIMA, R.A.S.; SHIROTA R.; BARROS, G.S.C. **Estudo do complexo do agronegócio cavalo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. 250p.

NASCIMENTO, J.F. **Mangalarga marchador: tratado morfofuncional**. Belo Horizonte: ABCCMM, 1999, 577p.

OPTITRACK **Calibration**. Disponível em:
<<http://www.wiki.optitrack.com/index.php?title=Calibration>>. Acesso em: 1 abril 2016.

PEHAM, C.; FREY, A.; LICKA, T.; SCHEIDL, M. Evaluation of the EMG activity of the long back muscle during induced back movements at stance. **Equine Veterinary Journal**, v.33, n.s33, p.165-168, 2001.

PINHEIRO, A. P. **Desenvolvimento de um sistema de captura e análise de movimentos baseado em técnicas de visão computacional**. 2008. 109p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

POURCELOT, P., AUDIGIE, F., DEGUEURCE, C., DENOIX, J.M. AND GEIGER, D. Kinematics of the equine back: a method to study the thoracolumbar flexionextension movements at the trot. **Veterinary Research**. v.29, 519-525, 1998.

ROBERT, C.; VALETTE, J.P.; DEGUEURCE, C.; DENOIX, J.M. Correlation between surface electromyograph and kinematics of the hind limb of horses at trot on a treadmill. **Cell Tissues Organs**, v.165, n.2, p.113-122, 1999.

ROBERT, C.; VALETTE, J.P.; DENOIX J.M. The effects of treadmill inclination and speed on the activity of two hindlimb muscles in the trotting horse. **Equine Veterinary Journal**, v.32, n.4, p.312-317, 2000.

ROBERT, C.; AUDIGIÉ, F.; VALETTE, J.P. POURCELOT, P.; DENOIX J.M. Effects of treadmill speed on the mechanics of the back in the trotting saddle horse. **Equine Veterinary Journal**, v.33, n.s33, p.154-159, 2001.

ROBERT, C.; AUDIGIÉ, F.; VALETTE, J.P. The effects of treadmill inclination and speed on the activity of three trunk muscles in the trotting horse. **Equine Veterinary Journal**, v.33, n.5, p.466-472, 2001.

ROBERT, C.; AUDIGIÉ, F.; VALETTE, J.P. POURCELOT, P.; DENOIX J.M. Effects of trotting speed on muscle activity and Kinematics in saddlehorse. **Equine Veterinary Journal**, v.34, n.s34, p.154-159, 2002.

SANTIAGO, J.M. **Caracterização morfométrica da raça Mangalarga Marchador**, 2013. 110f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SCHAMHARDT, H.C.; VAN DEN BOGERT, A.J.; HARTMAN, W. Measurement techniques in animal locomotion analysis. **Acta Anatomica**, v.146, n.2-3, p.123-129, 1993.

SCHLACHER, C.; PEHAM, C.; LICKA, T.; SCHOBESBERGER, H. Determination of the stiffness of the equine spine. **Equine Veterinary Journal** v.36, n.8, p.699-702, 2004.

SISSON, S. Músculos do eqüino. In: GETTY, R. **Anatomia dos animais domésticos**. Vol1. 5ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1986. p.350-423.

STASHAK, T.S. Examination for lameness. In: STASHAK, T. S. **Adam's Lameness in Horse**. Baltimore: Williams & Wilkins, 2002. p.113-183.

TOKURIKI, M.; AOKI, O. Electromyographic activity of the hind limb muscles during the walk, trot and canter. **Equine Veterinary Journal**, v.27, n.18, p.152-155, 1995.

TOWNSEND, H.G.G., LEACH, D.H. Relationship between intervertebral joint morphology and mobility in the equine thoracolumbar spine. **Equine Veterinary Journal**, v.16, n.5, p.461-465, 1984.

TOWNSEND, H.G.G., LEACH, D.H., FRETZ, P.B. Kinematics of the equine thoracolumbar spine. **Equine Veterinary Journal**, v.15, n.2, p.117-122, 1983.

LIMA, R.A.S.; SHIROTA R.; BARROS, G.S.C. **Estudo do complexo do agronegócio cavalo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. 250p.

VAN WEEREN, P.R.; VAN DEN BOGERT, A.J.; BARNEVELD, A. Correction models for skin displacement in equine kinematic gait analysis. **Journal Of Equine Veterinary Science**, v.12, n.3, p.178-192, 1992.

VON SCHEVEN, C.C.A. **The anatomy and function of the equine thoracolumbar longissimus dorsi muscle**. 2010. 163p. Tese (Doutorado) - Departamento de Ciências Veterinárias, Universidade Ludwig Maximilian, Munique.

VIEIRA, E.R.; DE REZENDE, A.S.C.; LANA, A.M.Q.; BARCELOS, K.M.C.; SANTIAGO, J.M.; LAGE, J.; FONSECA, M. G.; BERGMANN, J.A.G. Caracterização da equideocultura no estado de Minas Gerais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.67, p.319-323, 2015.

WENNERSTRAND, J.; JOHNSTON, C.; ROETHLISBERGER-HOLM, K.; ERICHSEN, C.; EKSELL, P.; DREVEMO, S. Kinematic evaluation of the back in the sport horse with back pain. **Equine Veterinary Journal**, v.36, n.8, p.707-711, 2004.

WIJNBERG, I.D.; VAN DER KOLK, J.H.; FRANSSEN, H.; BREUKINK, H. J. Needle electromyography in the horse compared with its principles in man: a review. **Equine Veterinary Journal** v.35, n.1, p.9-17, 2003.

WOLSCHRIJN, C.; AUDIGIÉ, F.; WIJNBERG, I.D.; JOHNSTON, C.; DENOIX, J.M.; BACK W. The neck and back. In: BACK, W., CLAYTON, H.M. **Equine Locomotion**. London: W.B. Saunders. 2013, p.199-227.

ZSOLDOS, R. R.; KOTSCHWAR, A.; KOTSCHWAR, A.B.; RODRIGUEZ, C. P.; PEHAM, C.; LICKA, T. Activity of the equine rectus abdominis and oblique external abdominal muscles measured by surface EMG during walk and trot on the treadmill. **Equine Veterinary Journal**, v.42, n.s38, p.154-159, 2010.

CERTIFICADO

A Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA/UFV certifica que o processo nº 25/2015, intitulado “Análise cinemática e eletromiográfica da coluna toracolombar de equinos durante a marcha”, coordenado pela professora Brunna Patrícia Almeida da Fonseca do Departamento de Veterinária, está de acordo com a Legislação vigente (Lei Nº 11.794, de 08 de outubro de 2008), as Resoluções Normativas editadas pelo CONCEA/MCTI, a DBCA (Diretriz Brasileira de Prática para o Cuidado e a Utilização de Animais para Fins Científicos e Didáticos) e as Diretrizes da Prática de Eutanásia preconizadas pelo CONCEA/MCTI, portanto sendo aprovado por esta Comissão em 25/06/2015, com validade de 12 meses.

CERTIFICATE

The Ethic Committee in Animal Use/UFV certify that the process number 25/2015, named “Kinematics and electromyographic analysis of equine thoracolumbar spine during the gait march”, is in agreement with the actual Brazilian legislation (Lei Nº 11.794, 2008), Normative Resolutions edited by CONCEA/MCTI, the DBCA (Brazilian Practice Guideline for the Care and Use of Animals for Scientific Purposes and Teaching) and the Guidelines of Practice the Euthanasia recommended by CONCEA/MCTI therefore being approved by the Committee on June 25, 2015 valid for 12 months.


Prof. Atima Clemente Alves Zuanon

Presidente

Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/UFV