

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
CÂMPUS DE ARAÇATUBA

CAROLINA DE MARCHI SOARES

**Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico
Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador**

ARAÇATUBA – SP
2021

CAROLINA DE MARCHI SOARES

**Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico
Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência Animal (Fisiopatologia Médica e Cirúrgica).

Orientadora: Prof^a. Adjunto Juliana Regina Peiró

ARAÇATUBA – SP

2021

S676a Soares, Carolina de Marchi
Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico
Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador / Carolina de
Marchi Soares. -- Araçatuba, 2021
64 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba
Orientadora: Juliana Regina Peiró

1. Acelerometria. 2. Equinos. 3. Fenômenos biomecânicos.
4. Marcha. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

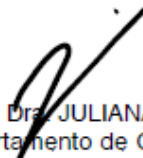
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador

AUTORA: CAROLINA DE MARCHI SOARES

ORIENTADORA: JULIANA REGINA PEIRÓ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Fisiopatologia Médica e Cirúrgica pela Comissão Examinadora:

A handwritten signature in black ink, appearing to be "J. Peiró", is written over the text of the first examiner.

Prof. Dra. JULIANA REGINA PEIRÓ (Participação Virtual)
Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dra. LINA MARIA WEHRLE GOMIDE (Participação Virtual)
Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. GUILHERME DE PAULA NOGUEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. FERNANDO CHRISTIANO GABRIEL MORELLI (Participação Virtual)
Curso de Medicina Veterinária / Faculdade de Ciências Agrárias de Andradina/FEA

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO HUSSNI (Participação Virtual)
Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu - UNESP

Araçatuba, 03 de agosto de 2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador

AUTORA: CAROLINA DE MARCHI SOARES

ORIENTADORA: JULIANA REGINA PEIRÓ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL. área: Fisiopatologia Médica e Cirúrgica pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. JULIANA REGINA PEIRÓ (Participação Virtual)
Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Profa. Dra. LINA MARIA WEHRLE GOMIDE (Participação Virtual)
Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. GUILHERME DE PAULA NOGUEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. FERNANDO CHRISTIANO GABRIEL MORELLI (Participação Virtual)
Curso de Medicina Veterinária / Faculdade de Ciências Agrárias de Andradina/FEA

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO HUSSNI (Participação Virtual)
Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu - UNESP

Araçatuba, 03 de agosto de 2021.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador

AUTORA: CAROLINA DE MARCHI SOARES

ORIENTADORA: JULIANA REGINA PEIRÓ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Fisiopatologia Médica e Cirúrgica pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. JULIANA REGINA PEIRÓ (Participação Virtual)

Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Profa. Dra. LINA MARIA WEHRLE GOMIDE (Participação Virtual)

Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. GUILHERME DE PAULA NOGUEIRA (Participação Virtual)

Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. FERNANDO CHRISTIANO GABRIEL MORELLI (Participação Virtual)

Curso de Medicina Veterinária / Faculdade de Ciências Agrárias de Andradina/FEA

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO HUSSNI (Participação Virtual)

Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu - UNESP

Araçatuba, 03 de agosto de 2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador**

AUTORA: CAROLINA DE MARCHI SOARES

ORIENTADORA: JULIANA REGINA PEIRÓ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Fisiopatologia Médica e Cirúrgica pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. JULIANA REGINA PEIRÓ (Participação Virtual)

Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Profa. Dra. LINA MARIA WEHRLE GOMIDE (Participação Virtual)

Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. GUILHERME DE PAULA NOGUEIRA (Participação Virtual)

Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. FERNANDO CHRISTIANO GABRIEL MORELLI (Participação Virtual)

Curso de Medicina Veterinária / Faculdade de Ciências Agrárias de Andradina/FEA

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO HUSSNI (Participação Virtual)

Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu - UNESP

Araçatuba, 03 de agosto de 2021.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador

AUTORA: CAROLINA DE MARCHI SOARES

ORIENTADORA: JULIANA REGINA PEIRÓ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIA ANIMAL, área: Fisiopatologia Médica e Cirúrgica pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. JULIANA REGINA PEIRÓ (Participação Virtual)

Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Profa. Dra. LINA MARIA WEHRLE GOMIDE (Participação Virtual)

Departamento de Clínica, Cirurgia e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. GUILHERME DE PAULA NOGUEIRA (Participação Virtual)

Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Dr. FERNANDO CHRISTIANO GABRIEL MORELLI (Participação Virtual)

Curso de Medicina Veterinária / Faculdade de Ciências Agrárias de Andradina/FEA

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO HUSSNI (Participação Virtual)

Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu - UNESP

Araçatuba, 03 de agosto de 2021.

DADOS CURRICULARES

CAROLINA DE MARCHI SOARES – nascida em São Paulo, São Paulo, em 08 de setembro de 1989. Graduada em Medicina Veterinária, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus Araçatuba, em 2015. Mestre em Ciência Animal e discente do Curso de Pós-Graduação em Ciência Animal pela mesma instituição desde 2017.

Aos meus pais e irmã, que caminham ao
meu lado nessa jornada e me ensinam
diariamente a ter perseverança.

Este mérito também é de vocês!

AGRADECIMENTOS

À minha família: pai, mãe e Thaís, aqueles que estão sempre por perto, dando suporte as minhas decisões, conquistas e fracassos, aos quais nunca conseguirei agradecer o suficiente. Minha eterna gratidão e respeito.

A toda a minha família, minhas avós e Tia Heloísa, que sempre estão perto mesmo de longe, com uma palavra de apoio, me dando forças e vibrando com todas as minhas evoluções e conquistas.

À minha orientadora Juliana, quem mais me incentivou e apoiou, me convencendo de que somos capazes de seguir em frente independente do obstáculo a ser ultrapassado. Muito obrigada por me ajudar a evoluir e por toda compreensão! Agradecerei sempre, por tudo.

Às minhas parceiras e amigas Rafa, Dani e Lilian que formaram um ótimo grupo para fazer as coletas de dados. Muito obrigada pelo experimento, pela companhia, amizade e pelo apoio em tudo!

Ao Professor Luiz Claudio que sempre esteve por perto me dando força e incentivo.

Aos funcionários da Fazenda Haras Cachoeirinha, em especial Valdei e Caio que sempre se disponibilizaram a ajudar, mesmo tendo muito trabalho a fazer. Obrigada pela paciência e disponibilidade!

Ao senhor João Manoel Junqueira de Andrade, proprietário da Fazenda Haras Cachoeirinha.

Aos colegas de profissão que tive o prazer de conhecer durante as disciplinas cursadas e que me ajudaram a aprender muitas coisas sobre nossa profissão e sobre a vida. Vocês se tornaram peças importantes nessa longa trajetória.

Aos meus amigos de graduação, que mesmo distantes permanecem me apoiando, Tamirís, Fernando, Amanda e André Luiz.

Aos amigos que fiz ao longo da vida e que têm importante papel em minha chegada até aqui. Obrigada por entenderem todas as minhas ausências em momentos importantes da vida de vocês!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de Demanda Social, possibilitando a realização do meu doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão do apoio financeiro ao projeto de pesquisa (2014/18323-8).

À Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da FMVA e aos funcionários da Seção Técnica de Graduação e Pós-graduação.

A Deus, por me dar uma segunda chance de viver e permitir que eu aprenda com os exemplos de outras pessoas.

E talvez os mais importantes, agradeço a todos os animais que um dia me fizeram querer ser Médica Veterinária e permitiram que eu chegasse até aqui. Aos que passaram e deixaram um pouco de si e aos que ainda passarão por minha vida, espero não decepcioná-los.

SOARES, C. M. **Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador**. 2021. 64 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2021.

AVALIAÇÃO DE ANDAMENTOS PELO MÉTODO ACCELEROMÉTRICO EQUIMETRIX EM CAVALOS MANGALARGA MARCHADOR

RESUMO - O método acelerométrico, para a análise biomecânica quando usado a campo tem mostrado vantagens com relação à videogrametria, permitindo obter dados cinemáticos e cinéticos e possuindo um processamento de dados mais rápido. Objetivou-se avaliar o efeito do crescimento sobre as características biomecânicas do passo e da marcha de potros da raça Mangalarga Marchador a partir dos 2 meses até três anos e meio de idade, comparando-os com adultos da mesma raça, e estabelecer parâmetros de referência para a raça. Os potros foram equipados com o sistema de análise de andamento Equimetrix® e acompanharam a trajetória da mãe, guiada no cabresto pelo treinador, à marcha e ao passo, com velocidade acompanhada por GPS. As variáveis cinemáticas (comprimento e frequência das passadas, regularidade, simetria e deslocamento dorsoventral do animal) e cinética (propulsão, potências dorsoventral e mediolateral e potência total) foram calculadas e obtidas com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®. Esta técnica grava os dados das acelerações 3D (longitudinal, dorsoventral and mediolateral) do movimento. Durante o passo e à marcha, a maioria das variáveis cinemáticas e cinéticas apresentaram diferenças entre as duas idades, exceto na regularidade ao passo ($p=0$) e à marcha ($p=0,4331$), simetria ao passo ($p=0,7511$) e marcha ($p=0,8863$) e o deslocamento dorsoventral ao passo ($p=0,1593$). Conclui-se que a maior parte das características biomecânicas (cinemáticas e cinéticas) avaliadas, se alterou nos potros da raça Mangalarga Marchador, à marcha e ao passo, nos primeiros três anos e meio de idade. Para determinar se este padrão será mantido, sugere-se a avaliação da marcha destes potros durante a idade adulta.

Palavras-chave: Acelerometria. Equinos. Fenômenos biomecânicos. Marcha.

SOARES, C. M. **Gait evaluation by the accelerometric equimetrix method in horses of the Mangalarga Marchador.** 2021. 64 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2021.

GAIT EVALUATION BY THE ACCELEROMETRIC EQUIMETRIX METHOD IN HORSES OF THE MANGALARGA MARCHADOR

ABSTRACT - The accelerometric method when used to analyze biomechanical parameters in the field has shown advantages in relation to the videogrammetry, enabling to obtain kinematic and kinetic data, and allowing faster gait data processing. The goals of this study was to evaluate the biomechanical characteristics of 150 foals, Mangalarga Marchador breed, at 2 months to three and a half years old, to establish parameters for the march gait in this breed. Foals were equipped with the gait analysis system Equimetrix®, and were allowed to follow the trajectory of their dams, at speed controlled by GPS. Kinematic (length and frequency of steps, and dorsoventral displacement of the animal) and kinetics (propulsion force) variables were calculated and obtained with the Equimetrix®. This technique is helpful to record the 3D acceleration data (longitudinal, dorsoventral and mediolateral) during the exercise. During step and march, most kinematic and kinetic characteristics did change in the foals. During step, mean values for regularity (R), symmetry (S) and dorsoventral displacement (DDV) were the same and in the march, mean values for regularity (R) and symmetry (S) were statistically the same between the ages. It was concluded that most of the biomechanical characteristics (kinematic and kinetic) evaluated, did change in the Mangalarga Marchador foals, gait and step in the first third and a half years of age. To determine if this pattern will be maintained, we suggest to assess the gait of these foals during adulthood.

Keywords: Accelerometric. Biomechanic phenomena. Equine. Gait.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Fases do apoio do membro torácico em relação ao solo (A) 1o impacto, (B) 2o impacto, (C) fase de suporte e (D) fase de rolamento com início da fase de elevação. As setas representam a orientação das forças (de reação do solo) de acordo com a posição do membro (adaptado de Thomason e Peterson, 2008). 29
- Figura 2 – (A) Sequência de distribuição de apoios da marcha batida e em (B) do trote. Na marcha batida se observam os apoios bipedais diagonais intercalados por momentos de tríplice apoio, com o mínimo de tempo em apoios bipedais laterais ou ainda, não apresentar estes apoios bipedais laterais na sequencia da passada. Já no trote se observam os apoios diagonais intercalados por momentos de suspensão (adaptado de Hussni et al.,1996). 31
- Figura 3 – (A) Colocação e fixação do equipamento de análise de andamento Equimetrix® (Centaure Métrix, Fontainebleau, France) com atadura elástica autoadesiva em potro. (B) Atadura elástica já posicionada, fixando e protegendo o monitor na região caudal do esterno. Crédito: Juliana R. Peiró. 35
- Figura 4 – Valores das variáveis cinéticas ($P = 5,00 \text{ W/kg}$; $FDD = 19,80 \text{ W/kg}$) e cinemáticas ($CP = 1,35 \text{ m}$; $FP = 1,46 \text{ ciclos/s}$, Regularidade = 307 e Simetria = 382) alcançadas pelo potro durante a marcha com velocidade igual a $7,1 \text{ km/h}$. 37
- Figura 5 – Valores das variáveis cinéticas ($P = 5,00 \text{ W/kg}$; $FDD = 19,80 \text{ W/kg}$) e cinemáticas ($CP = 1,35 \text{ m}$; $FP = 1,46 \text{ ciclos/s}$, Regularidade = 307 e Simetria = 382) alcançadas pelo potro durante a marcha com velocidade igual a $7,1 \text{ km/h}$. 38

Figura 6 - Valores médios normalizados de frequência da passada (Hz), deslocamento dorsoventral (cm), regularidade, simetria, potência dorsoventral (W/kg) e propulsão (W/kg) de potros da raça Mangalarga Marchador dos grupos G1 e G2, em relação aos cavalos adultos (G3) de marcha da propriedade, avaliados ao passo (A) e à marcha (B).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis cinemáticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n= 10) da raça Mangalarga Marchador avaliados ao passo. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®	43
Tabela 2 – Tabela 2 – Variáveis cinéticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n= 10) da raça Mangalarga Marchador avaliados ao passo. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®	44
Tabela 3 – Variáveis cinemáticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n= 10) da raça Mangalarga Marchador avaliados a marcha. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®	46
Tabela 4 – Variáveis cinéticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n=10) da raça Mangalarga Marchador avaliados a marcha. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®	47

LISTA DE ABREVIATURAS

cm	centímetros
CP	comprimento da passada
DDV	deslocamento dorsoventral
EPM	erro padrão da média
FP	frequência da passada
GPS	Global Positioning System
Hz	hertz
km/h	quilômetro por hora
m	metros
m/s	metros por segundo
P	propulsão
PDV	potência dorsoventral
PML	potência mediolateral
PT	potência total
USB	Universal Serial Bus
W/kg	Watts por quilograma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1	Histórico	25
2.2	Análise do movimento.....	26
2.2.1	Cinética	27
2.2.2	Cinemática	27
2.3	Andamentos.....	30
2.3.1	Pré-impacto.....	31
2.3.2	Impacto.....	31
2.3.3	Suporte.....	31
2.3.4	Rolamento.....	31
2.3.5	Pós-rolamento.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1	Seleção dos animais.....	36
3.2	Análise do andamento.....	36
3.3	Características da passada.....	41
3.3.1	Variáveis cinemáticas.....	41
3.3.1.1	Velocidade.....	41
3.3.1.2	Comprimento da passada.....	41
3.3.1.3	Frequência da passada.....	42
3.3.1.4	Regularidade da passada.....	42
3.3.1.5	Simetria da passada.....	42
3.3.1.6	Deslocamento dorsoventral.....	42
3.3.2	Variáveis cinéticas.....	43
3.3.2.1	Potência dorsoventral.....	43

3.3.2.2 Força de propulsão.....	43
3.3.2.3 Potência mediolateral.....	43
3.3.2.4 Potência total.....	43
3.4 Análise estatística.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5 CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O Mangalarga Marchador é uma raça de cavalos conhecidos pelo andamento único e suave. É também um cavalo tipicamente brasileiro que surgiu no sul do Estado de Minas Gerais há aproximadamente 200 anos. Originado do cruzamento de cavalos da raça Alter, trazidos de Portugal, com outros cavalos selecionados pelos criadores da região mineira, tornou-se a raça de cavalos com maior número de registros do Brasil, somando mais de 645.000 animais registrados segundo a Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador (ABCCMM, 2021). Isto talvez se justifique por ter como base cavalos da raça espanhola Andaluza, que são animais de porte elegante, beleza plástica, temperamento dócil e próprios para a montaria (ABCCMM, 2021).

No Brasil, os cavalos Mangalarga Marchador devem passar por rígidos padrões de conformação, marcha, desempenho e resistência (USMMA, 2021). Tais padrões são regulamentados e supervisionados pela Associação Brasileira dos Criadores de Cavalo Mangalarga Marchador (ABCCMM, 2021) e pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (PATTERSON; STAIGER; BROOKS, 2015).

Com o 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 três e quatro anos de idade, quando o animal ainda não atingiu seu completo desenvolvimento estrutural (SIMONATO, 2016).

A marcha é o andamento natural e simétrico da raça Mangalarga Marchador. Caracteriza-se pelo apoio alternado dos bípedes laterais e diagonais em quatro tempos, intercalados por momentos de tríplice apoio, reações suaves e pouco deslocamento vertical do centro de gravidade (NASCIMENTO, 1999). Há muitas variações deste andamento, mas podemos simplificá-los em: (a) marcha batida, onde ocorre o deslocamento dos bípedes em diagonal, aproximando-se do trote e (b) marcha picada onde os membros

se movimentam predominantemente em bípedes laterais, aproximando-se, em seus extremos, da andadura (PROCÓPIO, 2005).

A qualidade da marcha do Mangalarga Marchador é certificada por um sistema de registro oficial, que envolve inspeções e concursos que têm sido organizados há mais de três décadas no Brasil. Para obter o registro, o cavalo é submetido a duas inspeções realizadas por um técnico (veterinário ou especialista em ciências animais) autorizado pela ABCCMM e MAPA (PATTERSON; STAIGER; BROOKS, 2015).

A primeira inspeção é provisória e é realizada antes dos dois anos de idade para avaliar a saúde do animal. Em uma segunda inspeção, os cavalos com mais de três anos de idade são montados pelo inspetor e devem cumprir todos os requisitos dos padrões da raça, por exemplo, nenhum momento de suspensão ou movimento lateral excessivo durante a marcha deve ser observado. Somente os cavalos aprovados na segunda inspeção, recebem o registro, que permite a concorrência em provas montadas e o registro da prole. Estes regulamentos não permitem que o animal trote ou galope durante as provas (ABCCMM, 2021).

As avaliações do andamento são feitas por técnicos experientes e certificados pelas associações de criadores de cavalos, cujo objetivo é selecionar os animais com passadas amplas e elásticas que cubram a maior distância, porém com o menor número de passadas, mantendo o ritmo de andamento natural (LAGE, 2001; BRETAS, 2006; PROCÓPIO et al., 2007) e o fator determinante para a atribuição da nota final é a qualidade da marcha do animal. Entretanto, as avaliações qualitativas são subjetivas, ou seja, baseadas no julgamento do observador e quase sempre leva à discordância entre árbitros (BACK et al., 1993).

Estudos relacionados com a locomoção da espécie são desejáveis e estão sendo realizados mundialmente em diferentes raças, devido à frequência de alterações que ocorrem no sistema locomotor de equinos (SILVA et al., 2016).

Na biomecânica, existem duas formas de estudar o corpo em movimento: a análise cinética e a cinemática. Para modificar a velocidade de um corpo em movimento, é preciso atuação de forças externas, as quais realizam certo trabalho. Este trabalho é uma apreciação da energia que o corpo apresenta pelo fato de estar em movimento em relação a um dado sistema de referência (BARREY; GALLOUX, 1997).

A cinética é a área da biomecânica que estuda as forças que criam e alteram o movimento (CLAYTON, 2003) e é o método pelo qual se estuda acelerômetros determinantes do movimento (BARREY; GALLOUX, 1997). Esta análise pode ser realizada por meio de placa de força, ferradura com sensores ou pista de medição de força (BUCHNER, 2005). A cinemática é um ramo da biomecânica que estuda as mudanças de posição dos segmentos corporais no espaço durante um determinado período de tempo. E estudos dessa natureza são utilizados para obtenção de informação mais fidedigna sobre a locomoção dos equinos (BARREY; GALLOUX, 1997). Entretanto, são raros os estudos em equinos da raça Mangalarga Marchador utilizando essa técnica considerada eficiente.

A abordagem cinemática é a mais empregada em pesquisas com equinos, provavelmente devido à facilidade de mensuração e de visualização das variáveis quando comparadas com outras técnicas utilizadas na biomecânica (BARREY, 1999; BARREY, 2008; CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001).

Os sistemas de análise cinética e cinemática do andamento têm sido utilizados em cavalos para detectar claudicações e ataxias, monitorar os efeitos de drogas sedativas, estudar o efeito do ferrageamento e o quanto este influencia na biomecânica do membro, assim como correlacionar as variáveis locomotoras com o desempenho dos animais (BACK et al., 2009; BARREY, 1999; BARREY et al., 2001, KEEGAN et al., 2004; ISHIHARA et al., 2009).

Estudos dessa natureza são importantes nas diferentes raças de equinos, pois ao avaliar o movimento natural em um animal sadio pode-se aprimorar o desempenho do atleta e facilitar o diagnóstico de anormalidade no andamento (BACK et al., 1993), sendo assim uma ferramenta essencial e

inovadora para os veterinários que trabalham na área de clínica médica e cirúrgica de equinos.

Desta forma, os objetivos do presente estudo foram avaliar o efeito do crescimento sobre as características biomecânicas (comprimento e frequência da passada, deslocamento dorsoventral, regularidade e simetria da passada, além da propulsão e potências dorsoventral, mediolateral e total) do passo e da marcha, em potros da raça Mangalarga Marchador a partir dos 2 meses até três anos e meio de idade, comparando-os com adultos da mesma raça, utilizando o equipamento de análise de andamento Equimetrix[®]; e determinar através dos valores obtidos, quais animais apresentam as características desejadas para os padrões da raça desde jovens, para que seja possível realizar a seleção precoce, buscando a uniformidade e qualidade do plantel.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico

A locomoção equina começou a ser estudada por Aristóteles (384 a 322 A.C.) através da observação da coordenação dos animais quadrúpedes (SMITH; ROSS, 1910). Porém, a primeira tentativa para explicar o movimento dos mamíferos, através de análises mecânicas e a determinação do centro de gravidade foi realizada por Borelli entre os anos de 1608 e 1679 (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001). Anteriormente à cinematografia, os estudos do movimento equino eram analisados e observados pelo som dos cascos batendo no solo, porém os dados obtidos eram imprecisos e apresentavam erros na descrição do movimento. No entanto, esse método ainda é utilizado em muitos locais (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001).

Mais tarde, a análise dos movimentos dos equinos iniciou-se com Marey, em 1873, na França, o qual estudou o tempo de cada andamento durante a locomoção utilizando o método cronográfico, e com Muybridge, em 1887, nos Estados Unidos da América, que utilizou 24 máquinas fotográficas acopladas para fornecer fotos em sequência realizando pequenos filmes. Assim, foi possível observar que alguns movimentos realizados pelo cavalo não eram identificados pelo olho humano (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001).

Muitos anos depois, no Brasil, em meados da década de 30, as pesquisas sobre a locomoção dos equinos iniciaram para estudar a posição do centro de gravidade (CHIEFFI, 1943). Na década seguinte, os estudos começaram a avaliar a marcha dos cavalos da raça Mangalarga Marchador (1943) e suas diferentes fases na andadura (1945 e 1946). Na época, em sua tese publicada em 1949, Chieffi descreveu que havia pouco ou nada relatado na literatura sobre a transição e tipos de andaduras (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001).

Após o final da Segunda Guerra Mundial, as pesquisas sobre locomoção equina foram retomadas com o trabalho de Fredricson em 1970, onde foi realizada uma análise quantitativa do movimento dos cascos, utilizando

filmagens em alta velocidade (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001). A partir de então, com o crescimento do interesse pelos esportes equestres e a organização de modalidades esportivas, como rédeas e enduro em grandes eventos, surgiram os Jogos Equestres Mundiais, tendo sua primeira edição em Estocolmo, na Suécia, em 1990 (PERREIRA, 2016).

Somente no início da década de 1990 houve estabelecimento da técnica de análise dos andamentos dos equinos, com a formação de vários centros de qualidade na Europa e nos Estados Unidos da América (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001). Além disso, outros projetos em escala menor foram realizados, aumentando assim a importância da pesquisa, inclusive no Brasil (HORIZONTE, 2012).

Após extensas pesquisas sobre o fundamento e metodologia da locomoção equina, a biomecânica pode ser considerada uma ciência madura, atualmente fornecendo aplicações práticas para quantificação e prevenção de lesões no aparato locomotor, bem como durante o treinamento e avaliação de desempenho (BARREY, 1999). Tais avanços são importantes para toda a comunidade científica, pois possibilita a popularização desses métodos bem como a sua aplicação em diversos setores da indústria equina (BARREY, 1999).

2.2 Análise do movimento

Os avanços tecnológicos facilitam a análise do movimento em equinos através dos equipamentos de vídeo e computadores, porém, quando comparados às pesquisas feitas com análise de andamento humano, ainda deixam muito a desejar (BARREY, 1999). No Brasil, os estudos cinematográficos com análises tridimensionais do movimento de equinos ainda não são tão comuns como em humanos, embora ofereçam dados qualitativos e quantitativos do padrão de movimentação desta espécie, o que os torna ferramentas de indiscutível importância na análise do andamento (CHRISTÓVÃO et al., 2007).

Devido às falhas que podem ocorrer quando utilizamos os métodos qualitativos, alguns estudos têm buscado auxílio na avaliação do andamento dos equinos através de métodos quantitativos. Estes dados são obtidos através das mensurações cinéticas e cinemáticas, tendo como principal objetivo a análise das características do movimento (POWERS; HARRISON, 1999). Tais métodos têm como base, a biomecânica, uma disciplina que descreve e explica os movimentos utilizando termos, métodos e leis da mecânica (LEACH, 1983).

Na equideocultura a análise biomecânica está relacionada, principalmente, com os aspectos do rendimento atlético, da morfologia e da prevenção de lesões (CHRISTOVÃO et al., 2007). As análises biomecânicas podem ser divididas em duas categorias, a cinética e a cinemática, onde:

2.2.1 Cinética

É a área da biomecânica que estuda as forças que criam e alteram o movimento. É o método pelo qual se estuda a determinante do movimento. Avalia as variáveis: força de propulsão, potência dorsoventral, potência mediolateral e potência total (BARREY; GALLOUX, 1997).

2.2.2 Cinemática

Esta área estuda as mudanças de posição dos segmentos corporais no espaço durante um determinado período de tempo. Avalia então o comprimento e frequência da passada, deslocamento dorsoventral, regularidade e simetria da passada (BARREY; GALLOUX, 1997).

Sendo assim, as análises cinemáticas e cinéticas permitem quantificar as características da marcha equina, frequentemente avaliadas durante as provas de marcha (BARREY; GALLOUX, 1997; CLAYTON, 2004).

A técnica mais comum no estudo da biomecânica dos equinos é a análise por meio de sistemas de análises do movimento com a utilização de câmeras e filmes de alta resolução, que aliado a métodos ópticos e computacionais (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001) podem oferecer diagramas e gráficos cujos resultados podem ser utilizados na avaliação do aperfeiçoamento do treinamento físico do animal, auxiliar na obtenção de

melhores resultados em competições desportivas, ajudar em diagnósticos de alterações locomotoras, além de demonstrar dados preliminares que possam ser utilizados nas avaliações durante a recuperação do animal (BACK et al., 1993; FREDRICKSON et al., 1980).

Como os sistemas padrões requerem que o cavalo se movimente dentro dos limites de visão da câmera, muitas análises cinemáticas são realizadas em esteira rolante (KRAMER; KEEGAN, 2014), mas também é possível estudar a locomoção destes animais em pista experimental (BARREY et al., 2002; LOREDO et al., 2012; BARREY, 2008), o que torna os dados mais próximos à realidade.

Quando se utilizam uma ou mais câmeras, a campo ou em laboratórios, é necessária a colocação de marcadores reflexivos sobre as articulações de cada membro, permitindo a calibração do espaço da gravação, a captura e a digitalização das imagens para coleta das coordenadas fornecidas pelos marcadores. Esta técnica permite avaliar as características do movimento de cada segmento do corpo, segundo as trajetórias das articulações (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001). No entanto, deve-se ter cuidado na avaliação dos resultados, pois a fixação de marcadores para técnicas de filmagens pode tornar-se imprecisa quando são selecionados locais de difícil palpação ou onde a individualização das estruturas anatômicas apresenta-se duvidosa, como é o caso dos processos espinhosos das vértebras sacrais (LICKA et al., 2001).

O método acelerométrico é outra técnica utilizada para a análise biomecânica do movimento, cuja principal vantagem é a simplicidade da técnica de medição tanto em condições a campo, quanto em laboratório. A principal limitação deste método é que as medidas são dadas apenas por um segmento em relação a um conjunto de eixos corporais (BARREY, 1999).

Porém, para a análise biomecânica a campo, o método acelerométrico tem mostrado vantagens em relação à videogrametria, permitindo obter dados cinemáticos e cinéticos sem a necessidade de um campo limitado para a filmagem e de câmeras de boa resolução, além de possuir um processamento

dos dados mais rápido (BARREY et al., 2002; KEEGAN et al., 2002; NANKERVIS et al., 2008; BARREY, 2008; BURLA et al., 2014).

A acelerometria é a técnica de avaliação cinética que mede a aceleração em relação à superfície à qual os animais estão conectados (CLAYTON; SCHAMHARDT, 2001). Esta técnica tem sido amplamente utilizada em medicina humana e veterinária para comparar padrões de marchas normais e alteradas, avaliar os efeitos biomecânicos de diferentes tipos de pistas, avaliar a evolução após procedimentos cirúrgicos e avaliar as mudanças de marcha e atividade física, incluindo indivíduos idosos (BARTHÉLÉMY et al., 2009; CHATEAU et al., 2009; THOMSEN et al., 2010; WATT et al., 2010).

Além de humanos e equinos, há ainda estudos utilizando a acelerometria, de forma semelhante, para diagnosticar e diferenciar cães saudáveis daqueles que possuem alguma alteração locomotora (BARTHÉLÉMY et al., 2009).

O presente estudo utilizou o método acelerométrico através do equipamento de análise de andamento Equimetrix®, que possibilita que as coletas de dados sejam realizadas a campo, o que pode tornar os dados obtidos mais próximos da realidade. Outra vantagem deste equipamento é o fato de ele utilizar apenas um sensor que é fixo com o auxílio de uma cinta ou cilha própria, na região caudal ao esterno, próximo ao centro de gravidade, enquanto os demais equipamentos necessitam de dois ou mais sensores.

Existem diversos relatos publicados demonstrando a eficiência deste aparelho, inclusive para realizar avaliações a campo (BARREY, 1999; BARREY et al., 2002; BARREY, 2008). No entanto, no Brasil, não há muitas pesquisas realizadas com o Equimetrix®, que tem sido utilizado para analisar e comparar as variáveis biomecânicas dos andamentos, passo e marcha, de potros da raça Mangalarga Marchador em diferentes idades (SOARES, 2017), para acompanhar o crescimento de potros, também da raça Mangalarga Marchador, desde o primeiro até o décimo quinto dia de vida (SANTOS, 2018) e em diversos estudos realizados para avaliar a eficácia da ginástica laboral em equinos terapêuticos (OLIVEIRA et al., 2019).

2.3 Andamentos

Sabe-se que o andamento é a forma de locomoção que tem como objetivo o deslocamento do centro de gravidade para frente, para o lado ou para trás, permitindo que os membros apresentem os movimentos de elevação, avanço, apoio e propulsão. Portanto, o andamento é definido por um conjunto de características próprias dos movimentos que são realizados como forma de locomoção: velocidade, simetria, comprimento do passo, sequência e número de apoios dos cascos no solo, sequência dos membros e número de batidas. Estas são descritas de forma semelhante por diversos autores (HUSSNI et al., 1996; STASHAK, 1994; SEIDEL, 1989; THOMASSIAN, 1990), determinando assim diferentes andamentos bem como suas respectivas variações, como por exemplo: passo, marcha, trote, andadura e galope (BRETAS, 2010). Resumindo, o andamento apresenta-se como um padrão de coordenação entre os membros de forma repetida, em que cada repetição é uma passada (CLAYTON, 2016).

O passo, o trote e o galope são os andamentos mais comuns encontrados nas diferentes raças de equinos, sendo a função locomotora de interesse na produção e exploração da espécie. Além disso, como citado anteriormente, o conhecimento dos diferentes tipos de andamentos é extremamente importante durante a avaliação do aparelho locomotor para o diagnóstico de claudicações. Neste sentido, o trote é considerado o andamento ideal para tal finalidade (STASHAK, 1994).

Os diversos tipos de andamentos que os equinos realizam, assim como as particularidades morfológicas e comportamentais, são decorrentes da grande variabilidade dos equinos (ANDRADE, 2014). Os andamentos são divididos em passadas, que apresentam duas fases: (a) voo ou elevação, quando o dígito se encontra no ar e (b) fase de apoio, que é o período em que o casco do animal se encontra em contato com o solo (FLOYD; MANSMANN, 2007).

A fase de apoio é subdividida em cinco fases (THOMASON; PETERSON, 2008), como descrito a seguir. É importante observar que cada

fase tem características biomecânicas diferentes, com sobreposição das fases de suporte:

2.3.1 Pré-impacto

Fase imediatamente anterior ao casco atingir o solo.

2.3.2 Impacto

Dividido em dois tempos:

a) 1º impacto (Fig. 1 A): responsável por aproximadamente 7% do início do apoio e caracteriza-se pela colisão do casco com o solo.

b) 2º impacto (Fig. 1 B): responsável por 5 a 30% do apoio, caracterizando o primeiro momento do encontro do casco do cavalo com o solo.

2.3.3 Suporte

Responsável por aproximadamente 5% a 90% do apoio e caracterizado pela descarga do peso do corpo sobre o membro, representando a maior parte da colisão do casco com o solo (Fig. C).

2.3.4 Rolamento

Representa cerca de 85% a 100% da posição de apoio, ocorre logo após a fase de suporte, onde a área de contato entre o casco e o solo diminui gradativamente. Os talões iniciam o descolamento do solo e terminam quando a pinça o deixa totalmente (Fig. D).

2.3.5 Pós-rolamento ou fase de elevação

É o período imediatamente após o casco sair do chão, onde o casco e o dígito flexionam-se rapidamente.

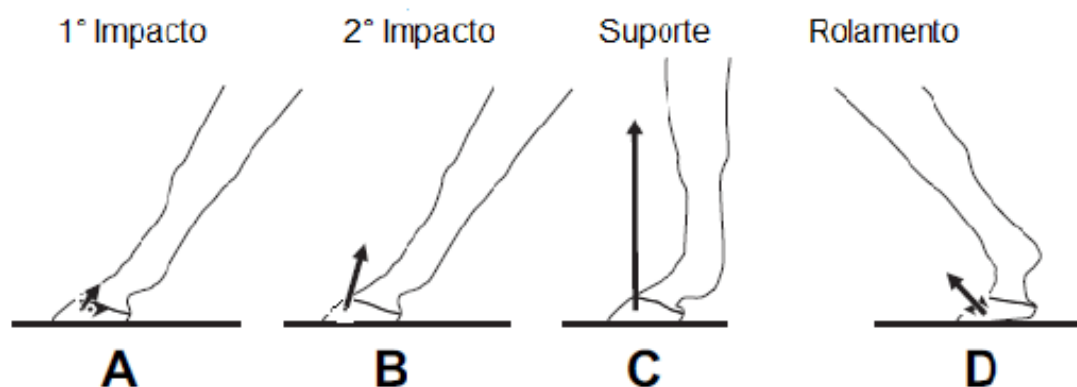


Figura 1 – Fases do apoio do membro torácico em relação ao solo (A) 1º impacto, (B) 2º impacto, (C) fase de suporte e (D) fase de rolamento com início da fase de elevação. As setas representam a orientação das forças (de reação do solo) de acordo com a posição do membro (adaptado de Thomason e Peterson, 2008).

O passo é definido como um conjunto de movimentos percorrido desde a elevação da pata do animal até a propulsão. O comprimento do passo representa o trecho que foi percorrido durante um passo, sendo que ao tocar o solo o casco produz uma batida. Outra característica de um andamento refere-se à frequência do contato do animal com o solo, sendo assim marchado ou saltado quando o animal apresenta momento de suspensão (momento em que os quatro membros encontram-se no ar) (HUSSNI; WISSDORF; NICOLETTI, 1996).

Alguns autores definem a passada como sendo um ciclo completo de movimento. Semelhante ao passo, cada passada é iniciada com a colocação de um membro posterior no chão (HILDEBRAND, 1962). Assim, como o padrão é repetido, para o início de cada passada pode ser considerado qualquer ponto deste padrão cíclico, onde depois se iniciará um novo ciclo (BARREY, 2008).

No entanto, algumas raças de equinos, como Campolina, Mangalarga e Mangalarga Marchador, não possuem o trote e sim a marcha como andamento natural. Desta forma, tal andamento, pelas suas características, pode vir a confundir o veterinário durante o exame do aparelho locomotor, exigindo maior

atenção e conhecimento deste tipo particular de locomoção (HUSSNI et al., 1996).

O padrão da raça Mangalarga Marchador caracteriza a marcha como sendo andamento natural, simétrico, realizado em quatro tempos, com apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplice apoio, onde as reações são suaves, com pouco deslocamento vertical do centro de gravidade (NASCIMENTO, 1999). Durante as provas e julgamentos, os juízes buscam por animais que além de comodidade, ofereçam passadas elásticas, desenvoltas e equilibradas que alcancem maior distância com o menor número de passos (LAGE, 2001).

A marcha é considerada um andamento complexo (PROCÓPIO, 2005), com muitas variações (ideal, batida, picada, legítima e intermediária), sendo a marcha batida e a picada as mais comuns (HUSSNI et al., 1996; PROCÓPIO, 2005). Na marcha picada, os membros se movimentam predominantemente com os bípedes laterais, aproximando-se, em seus extremos, da andadura (PROCÓPIO, 2015). A marcha batida, por outro lado, apresenta predomínio dos deslocamentos dos bípedes em diagonal, aproximando-se do trote (PROCÓPIO, 2005). Portanto, a avaliação clínica do sistema locomotor requer bom conhecimento da movimentação normal do animal e da variação entre raças e tipos (DYSON, 2003).

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 que ocorre em quatro tempos, podendo ser natural ou artificial. A distribuição dos apoios ocorre como no passo, com os bípedes diagonais e laterais intercalados por momentos de tríplice apoio (Figura 2), que ocorrem pela dissociação dos membros (NASCIMENTO, 1999).

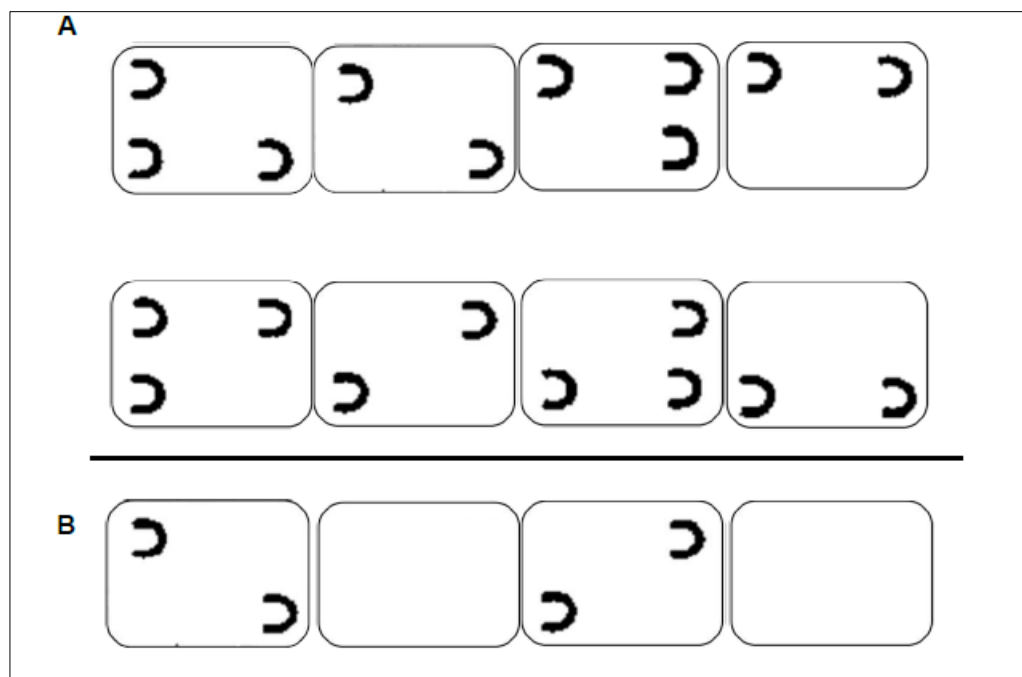


Figura 2 – (A) Sequência de distribuição de apoios da marcha batida e em (B) do trote. Na marcha batida se observam os apoios bipedais diagonais intercalados por momentos de tríplice apoio, com o mínimo de tempo em apoios bipedais laterais ou ainda, não apresentar estes apoios bipedais laterais na sequência da passada. Já no trote se observam os apoios diagonais intercalados por momentos de suspensão (adaptado de Hussni et al.,1996).

As características de andamento relacionadas à idade podem interferir nas análises biomecânicas. Quando o cavalo se move à velocidade constante, as medidas temporais são bastante consistentes entre passadas. Por isso, o controle da velocidade do movimento é necessário, pois muitos parâmetros cinemáticos são dependentes da velocidade (CLAYTON, 2004; LELEUA et al., 2005; KRAMER; KEEGAN, 2014).

Variações maiores são mais encontradas entre animais diferentes do que em relação a passadas consecutivas do mesmo animal (CLAYTON, 2004). Determinadas assimetrias locomotoras podem ser notadas desde muito cedo em alguns cavalos jovens, tornando o exame completo dos movimentos de potros muito importante (DREVEMO et al., 1987).

As elevadas perdas econômicas decorrentes das claudicações em equinos justificam o grande investimento material e humano voltado à pesquisa

da locomoção equina, inclusive com aplicações clínicas e técnicas para preveni-las (BACK; CLAYTON, 2013; BARREY, 2008) ou realizar ajustes na forma e intensidade do movimento do animal (PILLINER et al., 2004), podendo também ser útil quando utilizadas durante o treinamento, ou auxiliar na seleção, manutenção ou descarte de animais do plantel. Inclusive, a análise da locomoção com o intuito de avaliar as passadas de cavalos atletas para fins de seleção e treinamento, tem sido cada vez mais utilizada na indústria equestre (LELEU et al., 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Seleção dos animais

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Unesp, número de protocolo 2134/2021.

Para o presente estudo, foram utilizados dados de 150 potros, avaliados em diversos períodos que variam dos dois meses até três anos e meio de idade. Os animais foram selecionados em uma propriedade de criador tradicional de cavalos da raça Mangalarga Marchador, localizada na cidade de Santo Antônio do Aracanguá, na região de Araçatuba. O proprietário da fazenda autorizou o uso de seus animais durante o projeto, proporcionando um método de avaliação diferenciado a ele.

A título de comparação com dados da raça foram utilizados os valores das análises biomecânicas de dez equinos adultos (8 fêmeas e 2 machos), com idades variando entre 7 e 13 anos.

Todos os animais permaneceram em pastos de Tifton (*Cynodon* spp.), com água *ad libitum*. Os animais foram submetidos a exame geral para avaliação da higidez e exame físico minucioso do sistema locomotor de acordo com os métodos de Alves (2014). Desta forma, foram utilizados animais hígidos.

3.2 Análise do andamento

A obtenção das variáveis cinemáticas (comprimento e frequência da passada, deslocamento dorsoventral, regularidade e simetria) e cinética (propulsão, potência dorsoventral, potência mediolateral e potência total) foi realizada com o equipamento de análise de andamento Equimetrix® (Centaure Métrix, Fontainebleau, França). A velocidade foi obtida com o uso do GPS (Polar Equine RS-300X G1®, Polar, Estados Unidos). Os potros foram avaliados ao completarem 2, 3, 4, 5, 18, 30 e 42 meses de idade. A partir disso,

os animais foram divididos em três grupos, chamados de G1, G2 e G3, onde: G1 é composto pelos potros mais jovens com idades entre 2 e 5 meses; G2 pelos potros de 18 a 42 meses e o G3 é o grupo dos adultos.

O sistema de análise de andamento Equimetrix® é constituído por um transdutor de aceleração conectado a um pequeno registrador de dados. O transdutor é composto por dois acelerômetros ortogonais, este mede a aceleração contínua do tórax nos eixos dorsoventral e longitudinal e mediolateral do cavalo. O aparelho é fixado na região do esterno, abaixo do centro de gravidade do animal, e captura as informações cinéticas sobre o andamento (BIAU; BARREY 2004).

Nos potros, o equipamento foi preso e fixado na região do esterno com o auxílio de atadura elástica autoadesiva (Figura 2). Os animais seguiam a trajetória da mãe, que era conduzida no cabresto pelo treinador, mantendo uma linha reta e velocidade confortável para que o animal executasse o andamento natural durante, pelo menos, dez segundos, em pista plana de grama, primeiro ao passo e depois à marcha, com a velocidade acompanhada com auxílio de um GPS (Polar Equine RS-300X G1®) preso no braço do treinador.



Figura 3 – (A) Colocação e fixação do equipamento de análise de andamento Equimetrix® (Centaure Métrix, Fontainebleau, France) com atadura elástica autoadesiva em potro. (B) Atadura elástica já posicionada, fixando e protegendo o monitor na região caudal do esterno. Crédito: Juliana R. Peiró.

Cada potro, por estar em liberdade, foi avaliado no trajeto de 2 a 4 vezes, até que o andamento fosse mantido de forma regular, por pelo menos, 10 segundos. A hora era anotada nos momentos em que o aparelho era ligado e quando o animal iniciava e terminava o andamento.

Nos animais adultos o equipamento foi fixado à região do esterno na barrigueira da sela, conforme as instruções do fabricante, sendo avaliados guiados no cabresto por um condutor, ao passo e depois à marcha média. A velocidade (Tabelas 1 e 3), assim como nos potros, foi monitorada com o auxílio de GPS.

Após a obtenção dos dados a campo, as informações foram transmitidas para um computador através de cabo USB e analisadas através do software Equimetrix V 3.0®. A seleção dos dados foi feita baseado na análise de gráficos, selecionando-se a melhor parte do trajeto realizado pelo potro (Figura 3). Nestes trechos, um padrão regular foi visualizado, permitindo que os dados necessários para o cálculo das variáveis cinemáticas e cinéticas pudesse ser determinado.

A velocidade mantida pelo animal e o tipo de andamento (passo e trote) foram inseridos em campos próprios para gerar os valores das variáveis desejadas (Figura 4).

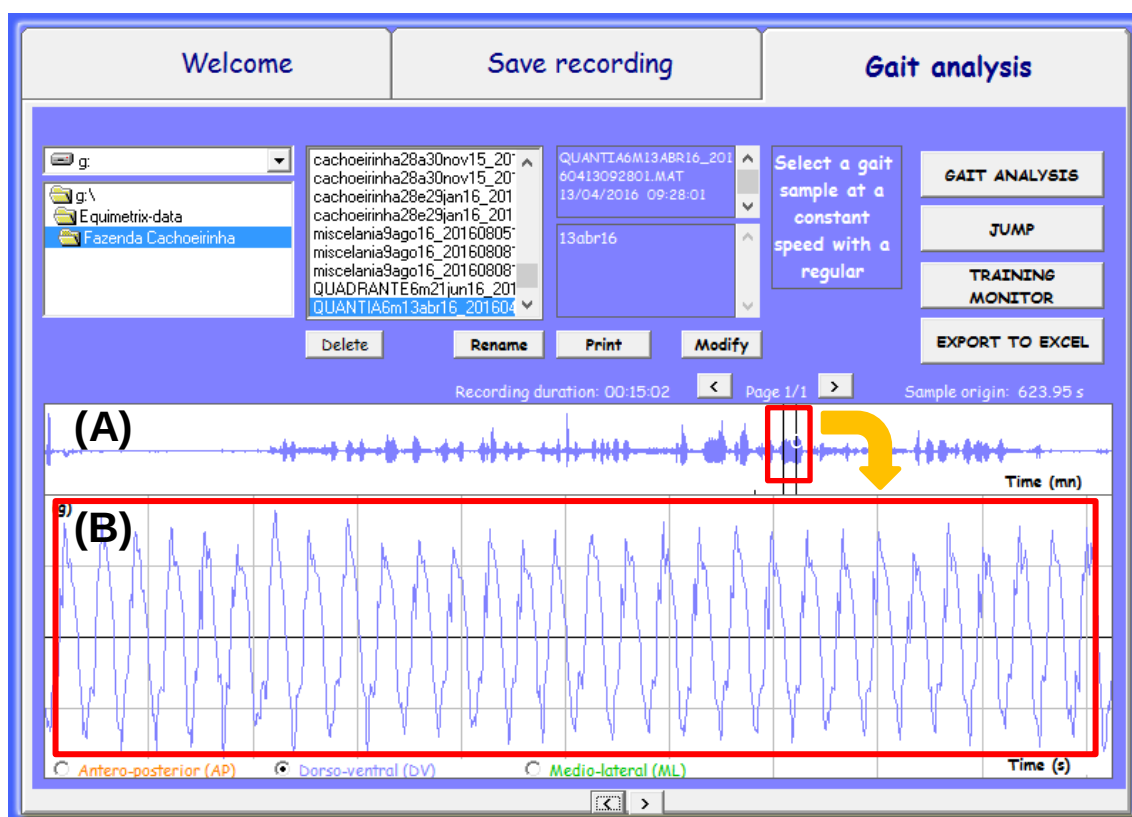


Figura 4 – Imagem gerada pelo software Equimetrix V 3.0®. Em (A) temos a seleção da melhor parte do trajeto efetuado pelo potro em 10 segundos. O trecho destacado (B) representa a ampliação do trecho selecionado em (A).

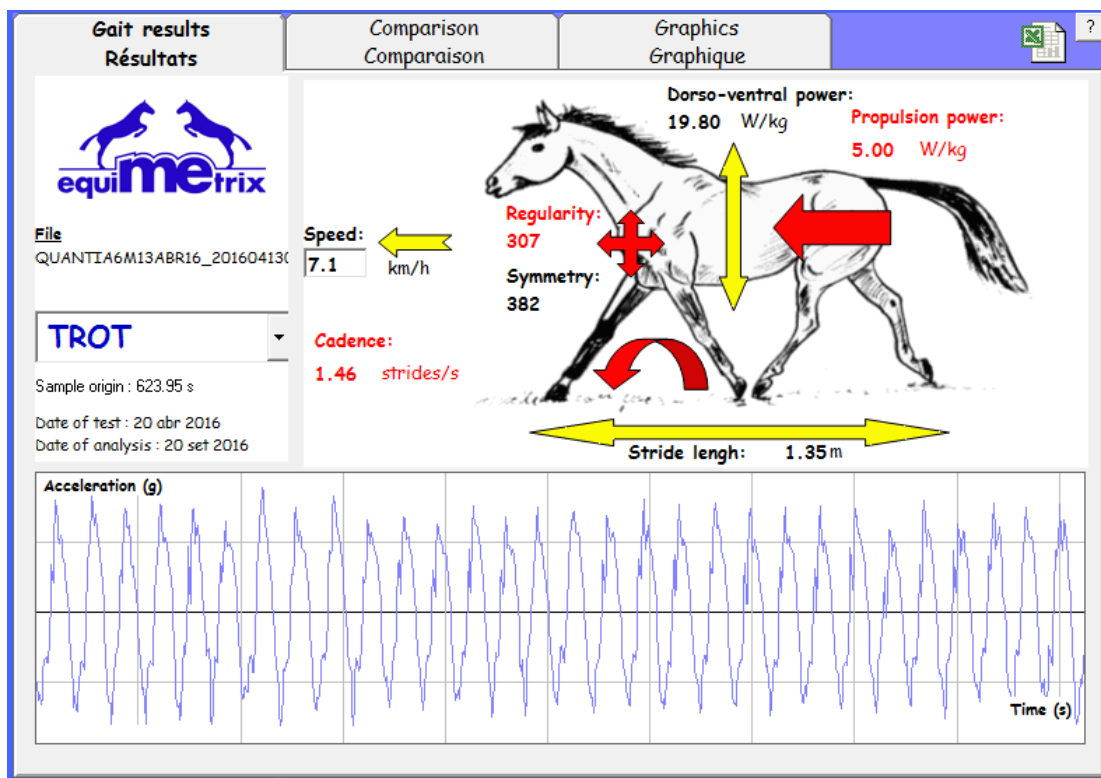


Figura 5 – Valores das variáveis cinéticas ($P = 5,00 \text{ W/kg}$; $FDD = 19,80 \text{ W/kg}$) e cinemáticas ($CP = 1,35 \text{ m}$; $FP = 1,46 \text{ ciclos/s}$, Regularidade = 307 e Simetria = 382) alcançadas pelo potro durante a marcha com velocidade igual a $7,1 \text{ km/h}$.

3.3 Características da passada

3.3.1 Variáveis cinemáticas

3.3.1.1 Velocidade (V)

Deslocamento do animal em função do tempo, normalmente expresso em metros por segundo (m/s) ou quilômetros por hora (km/h) (PROCÓPIO, 2008).

3.3.1.2 Comprimento da passada (CP)

Corresponde ao deslocamento efetuado pelo membro em uma passada completa. Expresso em centímetros (cm) ou metros (m) (PROCÓPIO, 2008).

3.3.1.3 Frequência da passada (FP)

A frequência de passadas foi determinada pelo número de passadas por unidade de tempo, sendo igual ao inverso da duração da passada. Os resultados estão expressos em passos/segundo ou em hertz (Hz) (BIAU; BARREY, 2004).

3.3.1.4 Regularidade da passada (R)

Refere-se à cadência e a precisão rítmica com a qual se realiza cada passada. A regularidade foi igual à soma dos coeficientes correspondentes aos picos da função de correlação da aceleração dorsoventral, medida em um momento igual à metade da passada e sua duração. Considera-se ideal quando os valores da regularidade estão próximos de 300, tanto para o passo, quanto para o trote. Quando a velocidade aumenta, a regularidade diminui. Não é expressa com unidades e o valor máximo deve ser 450 (BIAU; BARREY, 2004; CENTAURE METRIX MANUEL, 2009).

3.3.1.5 Simetria da passada (S)

Simetria é quando a ação de cada diagonal se repete em cada ciclo (MAE, MPD, MAD E MPE). A simetria foi o coeficiente de correlação correspondente ao pico da função de autocorrelação da aceleração dorsoventral, medida no tempo igual à metade da duração do passo. O padrão da aceleração foi medido de forma semelhante ao longo do tempo. É uma média linear, considerada boa quando está próxima a 200, para passo e trote e muito sensível às condições do teste. O valor máximo alcançado deve ser 350 (BIAU; BARREY, 2004; CENTAURE METRIX MANUEL, 2009).

A simetria de um andamento pode ser representado pela regularidade na repetição dos tipos de apoio na sequência destes (HUSSNI et al., 1996).

3.3.1.6 Deslocamento dorsoventral (DDV)

Deslocamento de um corpo ou objeto medido por uma linha reta entre o ponto inicial até o ponto final.

O deslocamento dorsoventral (cm) do esterno foi estimado por dupla integração do sinal de aceleração dorsoventral (BIAU; BARREY, 2004).

3.3.2 Variáveis cinéticas

As potências são definidas como a força propulsora, de equilíbrio e, algumas vezes, empuxo. A unidade é Watt / quilogramas (W / kg). São calculadas pela transformação da análise de Fourier (CENTAURE METRIX MANUEL, 2009).

3.3.2.1 Potência dorsoventral (PDV)

Representa a potência mecânica média do movimento ao longo do eixo dorsoventral, ou seja, a quantidade de desaceleração e aceleração ao longo do eixo dorsoventral (FREILICH, 2015).

3.3.2.2 Força de Propulsão (P)

É a potência mecânica média do movimento ao longo do eixo longitudinal, craniocaudal ou anteroposterior, ou seja, a quantidade de desaceleração e aceleração ao longo do eixo longitudinal. Se a propulsão é poderosa com grande amplitude de aceleração e mudança repentina de sinal de aceleração, a potência mecânica será alta (FREILICH, 2015).

3.3.2.3 Potência mediolateral (PML)

Representa a potência mecânica média do movimento ao longo do eixo mediolateral, ou seja, a quantidade de desaceleração e aceleração ao longo do eixo lateral (FREILICH, 2015).

3.3.2.4 Potência total (PT)

É a soma das três potências calculadas em cada eixo (dorsoventral, longitudinal e mediolateral) (FREILICH, 2015).

3.4 Análise estatística

Como não há, no software utilizado, um grupo de animais da mesma raça para fazer o gráfico de radar (como apresentado no software), optamos por realizá-lo comparando os potros com os dados dos dez animais adultos na

marcha (Figura 5). Para a confecção deste gráfico os dados foram normalizados, mantendo assim a mesma escala entre todas as variáveis, através da fórmula:

$$DN = \frac{(DO - \text{mín})}{(\text{máx} - \text{mín})}$$

Onde DN: dado normalizado; DO: dado original; mín: valor mínimo obtido para a variável estudada; máx: valor máximo obtido para a variável estudada.

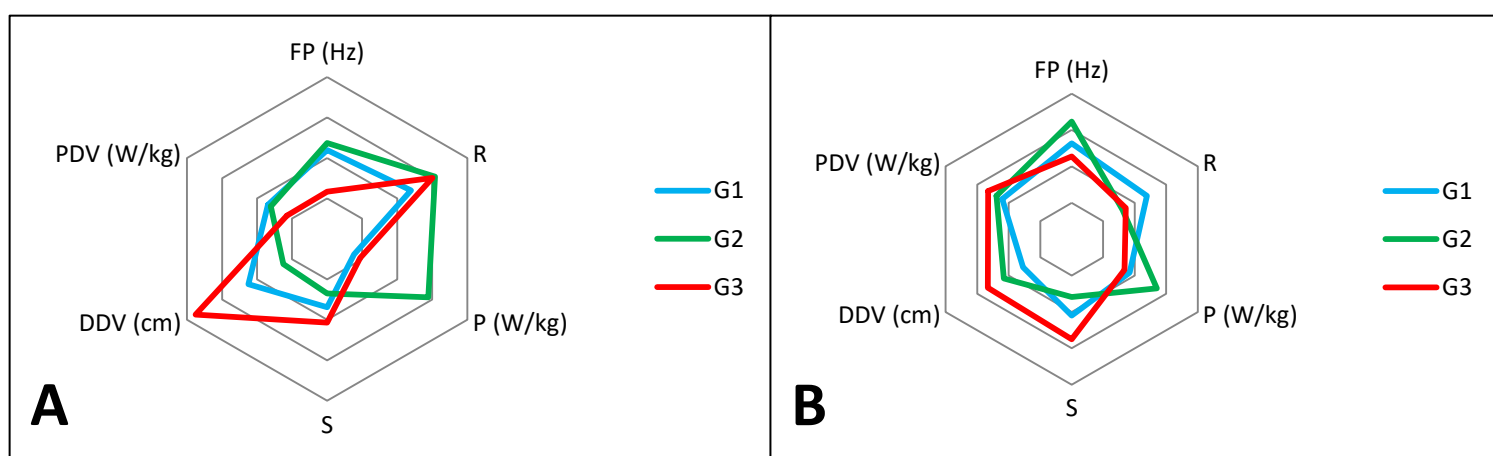


Figura 6 - Valores médios normalizados de frequência da passada (Hz), deslocamento dorsoventral (cm), regularidade, simetria, potência dorsoventral (W/kg) e propulsão (W/kg) de potros da raça Mangalarga Marchador dos grupos G1 e G2, em relação aos cavalos adultos (G3) de marcha da propriedade, avaliados ao passo (A) e à marcha (B).

Os dados quantitativos de cinemática e cinética dos equinos adultos e dos potros de 2 a 42 meses de idade foram analisados pela Análise de Variância, utilizando o procedimento GLM do SAS para comparar os grupos, seguido do teste de Tukey. Os dados foram testados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias. As estatísticas foram sendo consideradas significativas quando $p < 0,05$. As análises estatísticas foram

efetuadas empregando-se o programa SAS University Edition (SAS Institute Inc. The SAS System, SAS Institute Inc., Cary, NC, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises das variáveis cinemáticas e cinéticas dos equinos avaliados nos andamentos passo e marcha, estão apresentados nas tabelas 1 a 4.

Tabela 1 – Variáveis cinemáticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n= 10) da raça Mangalarga Marchador avaliados ao passo. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®

Parâmetros	Grupo			
	G1	G2	G3	P
Velocidade (m/s)	0,98 $\pm$ 0,02 ^c	1,33 $\pm$ 0,04 ^b	4,31 $\pm$ 0,13 ^a	<0,0001
Frequência da passada (Hz)	0,95 $\pm$ 0,01 ^b	0,99 $\pm$ 0,02 ^a	0,88 $\pm$ 0,03 ^c	<0,0001
Comprimento da passada (m)	1,03 $\pm$ 0,02 ^b	1,34 $\pm$ 0,04 ^a	1,45 $\pm$ 0,04 ^a	<0,0001
Regularidade	111,09 $\pm$ 2,48 ^a	98,50 $\pm$ 8,39 ^a	94,66 $\pm$ 12,82 ^a	0,1270
Simetria	203,99 $\pm$ 4,36 ^a	195,72 $\pm$ 15,95 ^a	194,30 $\pm$ 21,25 ^a	0,7511
Deslocamento dorsoventral (cm)	3,35 $\pm$ 0,06 ^a	3,00 $\pm$ 0,26 ^a	3,00 $\pm$ 0,15 ^a	0,1593

^{a,b,c} Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 2 – Variáveis cinéticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n= 10) da raça Mangalarga Marchador avaliados ao passo. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®

Parâmetros	Grupo			
	G1	G2	G3	P
Potência dorsoventral (W/kg)	0,80 $\pm$ 0,03 ^{ab}	0,95 $\pm$ 0,10 ^a	0,60 $\pm$ 0,13 ^b	0,0362
Propulsão (W/kg)	1,16 $\pm$ 0,04 ^c	3,93 $\pm$ 0,36 ^a	2,87 $\pm$ 0,81 ^b	<0,0001
Potência mediolateral (W/kg)	0,87 $\pm$ 0,03 ^c	2,12 $\pm$ 0,19 ^a	1,66 $\pm$ 0,31 ^b	<0,0001
Potência total (W/kg)	2,83 $\pm$ 0,08 ^b	6,61 $\pm$ 0,55 ^a	6,05 $\pm$ 1,98 ^a	<0,0001

^{a,b,c} Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Avaliando os resultados obtidos a partir da análise estatística dos dados, é possível observar que ao passo (Tabelas 1 e 2) e à marcha (Tabelas 3 e 4), houve alteração significativa ($p < 0,05$) em quase todos os parâmetros avaliados, quando comparamos os potros em diferentes idades e os mesmos com os adultos.

Os cavalos adultos (G3) alcançaram maior velocidade ($p < 0,0001$) tanto ao passo (Tabela 1), como na marcha (Tabela 3) durante os momentos de coletas, do que os potros dos demais grupos. Da mesma forma, os potros com idades entre 18 e 42 meses (G2) também demonstraram velocidade maior do que os potros mais jovens com idades entre 2 e 5 meses (G1).

A frequência da passada dos adultos foi menor ($p < 0,0001$) que a frequência dos potros mais jovens enquanto o comprimento da passada foi maior ($p < 0,0001$). Este fato já foi descrito na literatura (SILVA; JARDIM, 1987)

e é esperado, pois sabe-se que quanto maior a frequência, menor o comprimento da passada (PROCÓPIO, 2005). Isto pode ocorrer devido à nítida diferença de tamanho entre os animais estudados.

Outra pesquisa realizada com cavalos da raça Mangalarga Marchador, executada a campo e utilizando o mesmo método acelerométrico, demonstrou resultados semelhantes ao deste estudo, onde os potros, quando comparados aos adultos, apresentaram velocidade e comprimento da passada menores (SOARES, 2017). E ainda, um segundo estudo, utilizando a mesma metodologia do anterior, avaliou potros diariamente durante os quinze primeiros dias de vida e os comparou com cavalos adultos da mesma raça, também obteve resultados onde a velocidade e o comprimento da passada, foram menores nos cavalos mais jovens (SANTOS, 2018).

Tabela 3 – Variáveis cinemáticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n= 10) da raça Mangalarga Marchador avaliados a marcha. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®

Parâmetros	Idade			
	G1	G2	G3	P
Velocidade (m/s)	2,21 $\pm$ 0,05 ^c	3,43 $\pm$ 0,17 ^b	8,80 $\pm$ 0,52 ^a	<0,0001
Frequência da passada (Hz)	1,60 $\pm$ 0,01 ^b	1,70 $\pm$ 0,02 ^a	1,48 $\pm$ 0,02 ^c	<0,0001
Comprimento da passada (m)	1,37 $\pm$ 0,02 ^c	1,94 $\pm$ 0,04 ^a	1,65 $\pm$ 0,10 ^b	<0,0001
Regularidade	286,18 $\pm$ 3,16 ^a	299,60 $\pm$ 8,00 ^a	288,10 $\pm$ 4,77 ^a	0,4331
Simetria	248,99 $\pm$ 4,01 ^a	252,89 $\pm$ 17,12 ^a	242,60 $\pm$ 18,19 ^a	0,8863
Deslocamento dorsoventral (cm)	8,71 $\pm$ 0,17 ^a	6,29 $\pm$ 0,18 ^b	7,60 $\pm$ 0,34 ^{ab}	<0,0001

^{a,b,c} Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 4 – Variáveis cinéticas dos potros com idades entre 2 e 5 meses (G1; n= 157), 18 a 42 meses (G2; n= 18) e de equinos adultos (G3; n=10) da raça Mangalarga Marchador avaliados a marcha. Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão da média e foram obtidos com o equipamento de análise de andamento Equimetrix®

Parâmetros	Grupo			
	G1	G2	G3	P
Potência dorsoventral (W/kg)	21,50 $\pm$ 0,32 ^a	16,06 $\pm$ 0,66 ^b	10,37 $\pm$ 0,69 ^c	<0,0001
Propulsão (W/kg)	8,55 $\pm$ 0,22 ^c	15,35 $\pm$ 1,41 ^a	11,84 $\pm$ 0,80 ^b	<0,0001
Potência mediolateral (W/kg)	6,06 $\pm$ 0,17 ^a	6,52 $\pm$ 0,67 ^a	4,03 $\pm$ 0,45 ^b	0,0099
Potência total (W/kg)	36,13 $\pm$ 0,47 ^a	37,93 $\pm$ 2,55 ^a	26,05 $\pm$ 0,66 ^b	<0,0001

^{a,b,c} Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A fim de se manter a velocidade mais alta, é necessário impor maior frequência de passadas (SOARES, 2018). No entanto, cavalos de 3 anos de idade da raça Andaluz, durante análise do andamento trote, por sistema de vídeo, apresentaram maiores valores de CP, porém, valor semelhante de FP (2,36 m e 1,69 Hz, respectivamente) em relação aos animais do G2 no presente estudo, avaliados no andamento marcha. Esta diferença provavelmente foi decorrente da maior altura e velocidade (3,84 m/s) dos animais da raça Andaluz (CANO et al., 2002) em comparação aos cavalos da raça Mangalarga Marchador (SOARES, 2018).

Pesquisa realizada com pôneis de quatro meses de idade, utilizando videogrametria, demonstrou valores de comprimento da passada (1,44 m), ao trote, semelhantes aos potros do grupo G1 (1,37 m) deste estudo, apesar de maior valor de frequência da passada (2,12 Hz) dos pôneis (BACK et al., 2002). Esta diferença no valor da frequência da passada deve-se, provavelmente, à

maior velocidade (3 m/s) imposta a esses pôneis durante o momento de colheita dos dados.

Ao passo, as variáveis cinéticas, propulsão ($p < 0,0001$), potência mediolateral ($p < 0,0001$) e potência total ($p < 0,0001$) também foram maiores nos cavalos adultos e nos potros do G2, se comparados aos potros do G1. Estas variações, juntamente com a diferença de velocidade, podem ser decorrentes do maior tamanho e massa muscular dos animais adultos (SMITH; WEBBON, 1996).

Ao mesmo tempo, os potros do G2 demonstraram potências maiores ou iguais aos cavalos adultos, em ambos os andamentos. No entanto, estes resultados podem ter sido influenciados pela diferença na condução destes animais, como sugere Santos (2018), onde os potros realizaram o percurso em liberdade (seguindo a trajetória da mãe), enquanto os adultos foram guiados no cabresto.

Ainda ao passo, é possível observar que o comprimento da passada e potência total, apresentaram valores semelhantes ($p < 0,05$) entre os potros do G2 e os adultos. Ou seja, a partir dos 18 meses de idade, já é possível prever que estes animais apresentarão determinado padrão para estas duas variáveis.

Os cavalos Mangalarga Marchador avaliados neste estudo não apresentaram diferenças significativas na regularidade quando comparadas às diferentes idades, tanto no passo quanto na marcha (Tabelas 1 e 3). Os valores obtidos foram satisfatórios durante a marcha, sendo mantidos próximos a 300 (CENTAURE METRIX MANUEL). No entanto, a regularidade destes animais ao passo, pode ser considerada baixa, já que apresentaram valores inferiores a 150.

Os baixos valores na regularidade durante o passo, também foram observados em estudo anterior (SOARES, 2017), executado com a mesma metodologia deste, comparando potros de 30 e 180 dias com adultos. Estes dois trabalhos demonstraram que não há diferença desta variável entre potros e adultos. Sendo assim, sugerimos ter encontrado um padrão, permitindo

afirmar que a partir dos 30 dias de vida a regularidade do passo destes animais é semelhante àquela na vida adulta.

Potros recém-nascidos da raça Mangalarga Marchador apresentaram valores menores de regularidade quando comparados aos cavalos adultos até o décimo e no décimo quinto dias de avaliação (SANTOS, 2018). Este padrão pode ser justificado pelos diferentes graus de relaxamento dos ligamentos e tendões nos potros ao nascimento (DAVID; LEVINE, 2015), à instabilidade natural da idade (NAUWELAERTS et al., 2013) e à menor massa muscular destes animais (SMITH; WEBBON, 1996; SANTOS, 2018).

A regularidade pode ser um parâmetro muito sensível para detectar e quantificar a coordenação dos movimentos ao passo. Tanto que, cavalos sedados com xilazina e avaliados pelo método acelerométrico, apresentaram diminuição significativa nos valores de regularidade, o que refletiu a maior velocidade para a variabilidade da passada (LÓPEZ-SANROMÁN et al., 2012). Além disso, a regularidade pode auxiliar na classificação de determinadas condições e eficiência de tratamentos (AUVINET et al., 2005), em cavalos com sintomas neurológicos, como a ataxia (STROBACH et al., 2006).

Um fator que pode influenciar na regularidade da passada é o nível de treinamento dos animais (BARREY et al., 2002). Na propriedade onde os animais foram avaliados, a doma inicia aos três anos de idade. Desta forma, podemos afirmar que os potros até 36 meses de idade deste estudo, ainda não desenvolveram habilidades decorrentes da doma e treinamento, podendo assim melhorar os parâmetros avaliados se o treinamento for direcionado para isso.

De acordo com um estudo realizado com cavalos terapeutas mestiços, a ginástica laboral, quando realizada por pelo menos três vezes na semana, pode melhorar o movimento tridimensional do trote, pois contribui com a melhora da regularidade e da simetria, mantendo a mesma cadência de passadas (OLIVEIRA et al., 2019). Este método poderia ser empregado para ajudar os cavalos deste estudo, futuramente, a melhorar sua regularidade.

Quanto a simetria, os três grupos avaliados apresentaram valores semelhantes durante os andamentos passo ($p=0,7511$) e marcha ($p=0,8863$). Os resultados do presente estudo tiveram padrão semelhante àquele de potros avaliados até quinze dias de vida (SANTOS, 2018), onde os valores da simetria também foram semelhantes entre os grupos (potros e adultos).

A simetria de um andamento é representada pela regularidade na repetição dos tipos de apoio na sequência destes (HUSSNI et al., 1996), ou seja, quando a ação de cada diagonal se repete em cada ciclo (MAE, MPD, MAD e MPE) porém, é muito sensível às condições do teste.

Como citado anteriormente, a simetria é uma média linear, considerada boa quando está próxima a 200, devendo atingir o valor máximo de 350, tanto para o passo, quanto para o trote ou marcha, no caso (CENTAURE METRIX MANUEL, 2009). Assim, podemos considerar que os potros avaliados a partir dos dois meses de idade, apresentam boa simetria, assim como os cavalos adultos da propriedade, já que também apresentaram valores de simetria próximos ao desejado.

A simetria é um dos principais parâmetros utilizados para se diagnosticar a claudicação, pois a assimetria do andamento torna-se mais facilmente visualizada no trote, principalmente na fase aérea (BUCHNER et al., 1995). É possível afirmar então, que os potros do presente estudo não apresentaram claudicações, sendo as características biomecânicas observadas nestes animais decorrentes de seu andamento natural.

Comparados ao G2, os potros mais jovens (G1) da raça Mangalarga Marchador apresentaram maior deslocamento dorsoventral à marcha (Tabela 3), enquanto os adultos tiveram resultados semelhantes aos outros dois grupos. Esta diferença também foi observada nos potros de 15 dias de idade em relação aos cavalos adultos (SANTOS, 2018). Ao passo (Tabela 1), o DDV foi semelhante ($p=0,0362$) entre os grupos. Isto também foi observado no estudo realizado com potros de 30 e 180 dias (SOARES, 2017).

Em relação aos cavalos da raça Sela Francesa, também avaliados nos andamentos passo e trote, através do Equimetrix®, porém montados (BARREY

et al., 2002), os valores do deslocamento dorsoventral foram menores tanto nos potros em liberdade quanto nos adultos puxados da raça Mangalarga Marchador, nos dois andamentos. Menores valores também foram observados nos potros de 30 e 180 dias de vida, assim como nos cavalos adultos montados, da mesma raça (SOARES, 2017). Este menor DDV poderia justificar e favorecer o andamento confortável característico desta raça brasileira.

O DDV está diretamente ligado ao grau de conforto atribuído ao cavalo, já que o mesmo interfere no impacto que é passado ao cavaleiro durante a montaria. Por esse motivo, é possível afirmar que esta é a variável que mais influencia no conforto da marcha do Mangalarga Marchador. Isto porque a biomecânica deste, mantém o equino sempre em contato com o solo, transmitindo pouco impacto ao cavaleiro (BARREY, 2013).

Um estudo que avaliou a biomecânica da coluna vertebral de cavalos da raça Mangalarga Marchador, observou que a amplitude de movimento do ângulo lombar nos cavalos marchadores foi menor (SIMONATO, 2016) do que os ângulos encontrados em cavalos de trote (ÁLVAREZ et al., 2009). 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 à coluna (BACK, 2013). O trote por ser um andamento saltado, gera mais energia cinética pelo deslocamento corporal (tórax e abdômen), e consequentemente 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 de atrito.

Os animais deste estudo apresentaram diferença na maior parte das variáveis, exceto na regularidade, simetria e deslocamento dorsoventral, quando comparadas as duas faixas etárias dos potros e adultos durante o passo e a marcha. Desta forma, podemos afirmar que a partir dos 2 meses de idade, os potros apresentam características que determinarão que estes parâmetros serão os mesmos na fase adulta.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a maior parte (V, CP, FP, PDV, P, PML e PT) das características biomecânicas (cinemáticas e cinéticas) avaliadas, através do equipamento de análise de andamento Equimetrix[®], se alterou nos potros da raça Mangalarga Marchador, à marcha e ao passo, nos primeiros três anos e meio de idade.

Com dois meses de idade, ao passo e à marcha, as variáveis cinemáticas regularidade e simetria podem ser indicativas das características do animal na vida adulta. Assim como o deslocamento dorsoventral ao passo.

É possível prever o andamento baseado no comprimento da passada e a potência total do andamento passo, a partir dos 18 meses de idade.

Para determinar se este padrão será mantido, sugere-se a continuidade da avaliação seriada da marcha destes potros até atingirem a idade adulta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCCMM. Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador (2021) <http://www.abccmm.org.br/quemsomos>. Acessado em 15 de julho de 2021.

ALVES, A.L.G. Semiologia do sistema locomotor de equinos. In: FEITOSA, F.L.F. Semiologia Veterinária: a arte do diagnóstico. 3ª ed. 2014. São Paulo: Gen Roca. p.448-476.

ANDRADE, A. M. **Biometria e locomoção de equinos da raça brasileiro de hipismo**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/2121>

AUVINET, B., ALIX, A.S., CHALEIL, D., BRUN, M., BARREY, E. Gait regularity: Measurement and significance. *Gait and Posture* 21, S143, 2005.

BACK, W.; BARNEVELD, A.; VAN WEEREN, P.R. et al. Kinematic gait analysis in equine carpal lameness. **Acta Anatomy**, v.146, p.86-89, 1993.

BACK, W., SCHAMHARDT, H. C., BARNEVELD, A., WEEREN, P. R. V. Longitudinal development of kinematics in Shetland ponies and the influence of feeding and training regimes. **Equine Veterinary Journal**, Suppl. 34, p. 609-614, 2002.

BACK, W., MACALLISTER, C.G., VAN HEEL, M.C.V., POLLMEIER, M., HANSON, P.D., The use of force plate measurements to titrate the dosage of a new COX-2 inhibitor in lame horses. **Equine Veterinary Journal** Suppl. 41, p. 309–312, 2009.

BACK, W.; CLAYTON, H. *Equine Locomotion*. 2nd ed. London: W. B. Saunders, 2013.

BARREY, E. Biomechanics of locomotion in the athletic horse. In: HINCHCLIFF, K.W.; GEOR, R.J.; KANEPS, A.J. **Equine exercise physiology** – the science of exercise in the athletic horse. Saunders, p.143-168, 2008.

BARREY E., GALLOUX P. Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. **Equine Veterinary Journal** Suppl. v. 23, p. 45-49, 1997.

BARREY, E. Methods, applications and limitations of gait analysis in horse, **Equine Veterinary Journal**. v.1, p.1-22, 1999.

BARREY, E. et al. Early evaluation of dressage ability in different breeds. **Equine Veterinary Journal**, v. 34, n. 34, p. 319–324, 2002.

BARREY, E., et al. Locomotion evaluation for racing in Thoroughbreds. **Equine Veterinary Journal** v. 33, p. 99–103, 2001.

BARTHÉLÉMY, et al. Gait analysis using accelerometry in dystrophin-deficient dogs. **Neuromuscular Disorders**, v. 19, p. 788–796, 2009.

BIAU, S.; BARREY, E. The trot characteristics during the first years of dressage training. **Pferdeheilkunde**, v. 20, n. 2, p. 135-138, 2004.

BRASIL Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Ofício Circular 02/2009. Brasília, 2021.

BRETAS, M. S. **Associação entre características morfométricas e cinemáticas de equinos da raça Campolina**. 2006. 70 f. Dissertação (mestrado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

BRETAS, M. S. **Uso de acelerômetros para a avaliação do andamento de equinos marchadores**. 2010. 47 f. Tese (Doutorado) - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BUCHNER, H.H.F. Distal limb internal dynamics: joint moments, tendon forces, and lessons for orthopedic shoeing. In: Annual Convention Of The American Association Of Equine Practitioners. Seattle, Washington, 2005. **Proceedings...** Seattle: Aaep, v. 51, p.134-140.

BUCHNER, H.H.F., et al. Temporal stride patterns in horses with experimentally induced fore- or hindlimb lameness. **Equine Veterinary Journal**. v. 18, p.161–165, 1995.

BURLA, J-B., et al. Gait determination and activity measurement in horses using an accelerometer. **Computers and electronics in agriculture**, v.102, p.127-133, 2014.

CANO, M. R., et al. Changes due to age in the kinematics of trotting Andalusian foals. **Equine veterinary Journal, Suppl**, v. 33, p. 16-12, 2002.

CHATEAU, H., et al. Effects of a synthetic all-weather waxed track versus a crushed sand track on 3D acceleration of the front hoof in three horses trotting at high speed. **Equine Veterinary Journal**, v. 41, p. 247–251, 2009.

CHIEFFI, A. A. A marcha do cavalo Mangalarga. **Revista da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da USP – USP**, São Paulo, v. 2, n. 3, p 177-192, 1943.

CHRISTOVÃO, F. G. et al. Análise cinemática tridimensional do movimento de eqüinos em esteira rolante. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia**, v. 59, n. 4, p. 862–868, 2007.

CLAYTON, H.M. **The dynamic horse**. Mason: Sport Horse, 2003 p. 17-59.

CLAYTON, H.M.; SCHAMHARDT, H.C. Measurement techniques for gait analysis. In: BACK, W; CLAYTON, H.M. W.B. **Equine locomotion**. Saunders, 2001, p.55-76.

CLAYTON, H.M. Temporal kinematics. In: The dynamic horse: a biomechanical guide to equine movement and performance. Mason, USA: **Sport Horse Publications**. p.19-32, 2004.

CLAYTON, H. M..Horse species symposium: Biomechanics of the exercising horse. **Journal of Animal Science**, 94, 4076–4086, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.2527/jas.2015-9990>

DAVID G.; LEVINE, DVM. The Normal and abnormal equine neonatal musculoskeletal system. **Veterinary Clinic Equine**. Sup. 31, p. 601–613, 2015.

DYSON, S. Poor performance and lameness. In: ROSS, M.W.; DYSON, S. **Diagnosis and management of lameness in the horse**. Missouri: Saunders, 2003. p.828-832.

FLOYD, A.; MANSMANN, R. **Equine Podiatry** - E-Book. [S.l.]: Elsevier Health Sciences, 2007.

FREDRICSON, I., et al. The application of high-speed cinematography for the quantitative analysis of equine locomotion. **Equine Veterinary Journal**, v.12, p.54-59, 1980.

FREILICH, G. M. **Análisis mediante acelerometría del patrón locomotor, tras la administración de morfina con o sin acepromacina, en el caballo**. 2015. Tesis (Doctoral em Medicina Veterinária) – Facultad de Veterinária, Universidad Complutense de Madrid, 2016.

GODOI, F. N. **Avaliação cinemática de variáveis relacionadas ao resultado dos saltos de potros**, 2012. 151. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

HILDEBRAND, M. Walking, Running, and Jumping. **American Zoologist**, 2(2), 151–155, 1962.

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

ISHIHARA, A., et al. Use of kinetic gait analysis for detection, quantification, and differentiation of hind limb lameness and spinal ataxia in horses. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 234, p. 644–651, 2009.

KEEGAN, K. G., et al. Accelerometer-based system for the detection of lameness in horses. **Biomedical Sciences Instrumentation**, v. 38, p. 107-112, 2002.

KEEGAN, K.G., et al. Detection of spinal ataxia in horses using fuzzy clustering of body position uncertainty. **Equine Veterinary Journal** v. 36, p. 712–717, 2004.

KRAMER, J.; KEEGAN, K.G. Kinematics of lameness. In: HINCHCLIFF, K.W.; KANEPS, A.J.; GEOR, R.J. **Equine sports medicine and surgery: basic and clinical sciences of the equine athlete**. London: W. B. Saunders, 2014, p.223-238.

LAGE, M.C.G.R. **Caracterização morfométrica, dos aprumos e do padrão de deslocamento de equinos da raça Mangalarga Marchador e suas associações com a qualidade da marcha**. 2001. 114 f. Tese (Doutorado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

LEACH, D.; DAGG, A. A review of research on equine locomotion and biomechanics. **Equine Veterinary Journal**, v. 15 n. 2, p. 103-110, 1983.

LELEU, C.; BARILLER, F.; COTREL, C. et al. Reproducibility of a locomotor test for trotter horses. **The Veterinary Journal**, v. 168, p. 160–166, 2004.

LELEUA, C.; COTRELA, C.; BARREY, E. Relationships between biomechanical variables and race performance in French Standardbred trotters. **Livestock Production Science**, v.92, p.39-46, 2005.

LICKA, T.F.; PEHAM, C.; ZOHMANN, E. Treadmill study of the range of back movement at the walk in horses without back pain. **American Journal Veterinary Resercher**, v.62, p.1173-1179, 2001.

LÓPEZ-SANROMÁN, F. J. et al. Gait analysis using 3D accelerometry in horses sedated with xylazine. **The Veterinary Journal**, v. 193, n. 1, p. 212–216, 2012.

LOREDO, D.C., et al. Análise cinematográfica de equinos submetidos à prova de três tambores. In: CONFERÊNCIA ANUAL DA ABRAVEQ, 13., 2012, Campinas. Proceedings... Campinas: ABRAVEQ, 2012. Suplemento III. v. 41. p. 378.

NANKERVIS, K.; HODGINS, D.; MARLIN, D. Comparison between a sensor (3D accelerometer) and ProReflex motion capture systems to measure stride frequency of horses on a treadmill. **Comparative Exercise Physiology**, v.5, n.3-4, p.107-109, 2008.

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

NAUWELAERTS, S.; MALONE, S.R.; CLAYTON H.M. Development of postural balance in foals. **The Veterinary Journal**, Sup. 1, p. e70-74, 2013.

OLIVEIRA, K.; BOCCI, C.L.;PATINI, A.F.; ARAÚJO, M.S. Ginástica laboral em cavalos terapeutas melhora a qualidade do movimento tridimensional do trote. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13(2):147-154, 2019.

PATTERSON, L.; STAIGER, E. A.; BROOKS, S. A. DMRT3 is associated with gait type in Mangalarga Marchador horses, but does not control gait ability. **Animal Genetics**, v. 46, n. 2, p. 213-215, 2015.

PEREIRA, E. L. **Configurações sociohistóricas da equitação no Rio Grande do Sul: uma investigação das redes de interdependência nas práticas esportivas equestres**. 2016. 254 f. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PILLINER, S.; ELMHURST, S.; DAVIES, Z. Movement and action. In: **The Horse in Motion: the anatomy and physiology of equine locomotion**, Oxford: Blackwell Science, 2004. p.79-81.

POWERS, P.N.R.; HARRISON, A. J. Models for biomechanical analysis of jumping horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 19, n. 12, p. 799-806, 1999.

PROCÓPIO, A.M. **Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores**. 2005. 69f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

PROCÓPIO, A. M. **Biomecânica da locomoção de equinos**. AMAZONPEC - Belém, 2008.

SCHAPHAUSER, P. E. **Instrumentação utilizando fibra ótica para análise de andadura equina**. 2017. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

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, 2013.

SANTOS, L.U. **Análise biomecânica do andamento em potros da raça Mangalarga Marchador nos primeiros 15 dias de vida.** 2018. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2018.

SILVA, T.O.; FONSECA, M.G.; SIMONATO, S.P.; SILVATTI, A.P.; FONSECA, B.P.A.; SOUZA, M.V. **Deslocamento vertical dos cascos dos membros torácicos de equinos da raça Mangalarga Marchador.** In: Conferencia Internacional de Cabalos de Deporte - CICADE, 2016, Ribeirão Preto.

SIMONATO, S.P. **Análise descritiva da cinemática tridimensional e eletromiográfica da coluna toracolombar da raça Mangalarga Marchador.** 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SMITH, R.K.W.; WEBBON, P.M. The physiology of normal tendon and ligament. In: DUBAI INTERNATIONAL EQUINE SYMPOSIUM, 1996. **Proceedings...**Dubai: Rantanen Design, 1996. p. 55-81.

SOARES, C.M. **Análise biomecânica do andamento de potros da raça Mangalarga Marchador aos 30 e 180 dias de idade.** 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2017.

STASHAK, T. S. **Claudicação em equinos segundo Adams.** 4. ed. São Paulo: Rocca, 1994. Cap.3. p.101 – 105.

STROBACH, A., KOTSCHWAR, A., MAYHEW, I.G., PEHAM, C., LICKA, T., 2006. Gait pattern of the ataxic horse compared to sedated and nonsedated horses. *Equine Veterinary Journal Suppl.* 36, 423–426.

THOMSEN, M.H., et al. Agreement between accelerometric symmetry scores and clinical lameness scores during experimentally induced transient distension of the metacarpophalangeal joint in horses. **Equine Veterinary Journal**. v. 42, p. 510–515, 2010.

THOMASON, J. J.; PETERSON, M. L. Biomechanical and mechanical investigations of the hoof-track interface in racing horses. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**, Elsevier, v. 24, n. 1, p. 53–77, 2008.

U.S. Mangalarga Marchador Association. USMM Breed Standard (2016) Disponível em: <http://www.namarchador.org/breed/usmma-breed-standard/>. Acesso em: 05 jul. 2021.

WATT, J.R., et al. A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of over ground and treadmill walking in healthy elderly subjects. **Clinical Biomechanics** v. 25, p. 444–449, 2010.