

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BAMBUÍ
CURSO DE BACHARELADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

Jennifer Araújo dos Santos

**OSCILAÇÕES DA MARCHA DE EQUINOS MENSURADAS POR
ACCELEROMETRIA: EVIDÊNCIAS PRELIMINARES PARA A
INDIVIDUALIZAÇÃO DA EQUOTERAPIA NO IFMG BAMBUÍ**

BambuÍ

2025

JENNIFER ARAÚJO DOS SANTOS

**OSCILAÇÕES DA MARCHA DE EQUINOS MENSURADAS POR
ACCELEROMETRIA: EVIDÊNCIAS PRELIMINARES PARA A
INDIVIDUALIZAÇÃO DA EQUOTERAPIA NO IFMG BAMBUÍ**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Bacharelado em Medicina Veterinária do IFMG – *Campus* Bambuí para obtenção do grau de bacharel em Medicina Veterinária.

Orientador(a): Simone Magela Moreira

Bambuí

2025

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - *Campus* Bambuí

S237o Santos, Jennifer Araújo dos.

Oscilação da marcha de equinos mensuradas por acelerometria: evidências preliminares para a individualização da equoterapia no IFMG Bambuí [manuscrito] / Jennifer Araújo dos Santos – 2025.

37 f. : il. ; color.

Orientadora: Simone Magela Moreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Medicina Veterinária) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Bambuí, 2025.

1. Análise de movimento. 2. Acelerometria. 3. Equoterapia personalizada. 4. Diversificação de produtos. 5. Prática baseada em evidências. I. Moreira, Simone Magela. II. Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Bambuí. III. Título.

CDD 636.10891

Catálogo: João Batista Rodrigues - CRB-6/2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

Campus Bambuí
Diretoria de Ensino
Departamento de Ciências Agrárias
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dezesseis dias do mês de dezembro do ano de 2025, às treze horas, por videoconferência, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Simone Magela Moreira e demais membros, Marcos Rogério Vieira Cardoso e Maria Clara de Moura Oliveira. Nesta ocasião o discente Jennifer Araújo dos Santos do curso de Bacharelado em Medicina Veterinária, com registro acadêmico de número 0057878 do IFMG - Campus Bambuí, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "Oscilações da marcha de equinos mensuradas por acelerometria: Evidências preliminares para a individualização da equoterapia no IFMG Bambuí" e foi **APROVADA**, com **97** (Noventa e sete) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação do discente e sua orientadora no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o consequente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pós-defesa devem ser finalizados dentro do prazo limite de 20 dias, a contar da data desta ata. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e consequente reprovação.

A sessão foi encerrada às quatorze horas e vinte e um minutos. Para constar, eu, Simone Magela Moreira, redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelo discente e membros da banca examinadora.

[Assinam: Membros da banca e discente]

Bambuí, 16 de dezembro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Simone Magela Moreira, Professora**, em 16/12/2025, às 14:22, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

TCC - Graduação - Ata de Defesa 2563065 SEI 23209,000378/2025-39 / pg. 1



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2563065** e o código CRC **B2D83025**.

23209.000378/2025-39	2563065v1
----------------------	-----------

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e amparo em cada etapa desta jornada. A realização deste trabalho somente foi possível devido à colaboração de várias pessoas. À minha orientadora, Dra. Simone Magela Moreira, pela orientação segura, pela confiança depositada e pela inspiração constante.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus Bambuí*, pelas oportunidades de desenvolvimento acadêmico, principalmente por meio da concessão de Bolsas de Extensão (PIBEX / PIBEX Jr.) pelo Edital 25/2023, cujo incentivo possibilitou o desenvolvimento do artigo científico que originou este trabalho. Um agradecimento especial ao Lucas Rodrigo de Moura Oliveira, que idealizou este projeto e tornou possível sua execução. Sua iniciativa, dedicação e apoio foram fundamentais desde o início. Também agradeço a Sandy Cristina Barros e Luiz Augusto da Silva, pela contribuição ao longo do processo.

Ao meu noivo, pelo apoio constante, compreensão e incentivo durante toda essa caminhada; e aos meus familiares, amigos e colegas, que também foram fonte essencial de suporte, deixo meus sinceros agradecimentos.

APRESENTAÇÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um estudo piloto realizado no Programa de Equoterapia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Bambuí, cujo objetivo foi mensurar e analisar as oscilações da marcha de equinos utilizados nas sessões terapêuticas. Para isso, empregou-se acelerometria triaxial acoplada à sela, permitindo a caracterização dos padrões de movimento dos animais nos andamentos passo e trote. Esta abordagem busca avançar em relação aos métodos tradicionalmente empíricos de escolha dos equinos, oferecendo parâmetros biomecânicos que auxiliem na seleção do animal mais adequado para cada praticante.

A execução deste estudo exigiu familiaridade com conceitos de biomecânica, análise de movimento, comportamento equino e princípios da equoterapia, além do domínio de ferramentas digitais para tratamento e interpretação de dados. Esse processo representou um percurso formativo desafiador e enriquecedor, que ampliou minha compreensão sobre a importância da padronização e da avaliação objetiva dentro das práticas assistidas por equinos. O estudo foi desenvolvido no âmbito de um projeto de extensão vinculado ao IFMG – *Campus* Bambuí, financiado por meio de bolsa concedida pelo Edital nº 25/2023 do Programa Institucional de Bolsas de Extensão Universitária (PIBEX), sob orientação da Profa. Simone Magela Moreira e com participação da equipe envolvida nas sessões terapêuticas. A pesquisa se insere em uma perspectiva inovadora dentro da instituição, contribuindo para a construção de métricas que possam fundamentar decisões clínicas e aprimorar a individualização das intervenções.

Na presente versão, adequa-se às exigências acadêmicas e institucionais para corresponder ao meu Trabalho de Conclusão de Curso, sendo acrescentada da primeira página do manuscrito encaminhado ao periódico (APÊNDICE A) para as devidas comprovações.

RESUMO

A equoterapia ofertada pelo IFMG – *Campus Bambuí* era realizada, até então, com cavalos selecionados por critérios observacionais, sem padronização biomecânica objetiva da marcha. Este estudo piloto teve como objetivo mensurar as oscilações da marcha de equinos utilizados nas sessões, por meio de acelerometria triaxial acoplada à sela, gerando parâmetros para a individualização terapêutica. Cinco equinos adultos foram avaliados durante 60 segundos de deslocamento (30s ao passo e 30s ao trote), com registro das acelerações nos eixos X (ânteroposterior), Y (latero-medial) e Z (ventro-dorsal). A instrumentação mostrou-se viável em ambiente real de atendimento e permitiu identificar perfis de oscilação específicos para cada animal, bem como maior amplitude de movimento no trote em relação ao passo em todos os eixos. Essas diferenças interindividuais e entre andamentos configuram evidências preliminares de que a caracterização biomecânica da marcha pode subsidiar a escolha do cavalo mais adequado ao objetivo terapêutico de cada praticante, contribuindo para uma equoterapia mais padronizada e orientada por dados. Segundo a Associação Nacional de Equoterapia (ANDE-Brasil), o cavalo ideal apresenta passo ritmado, cadenciado e tridimensional, capaz de promover estímulos proprioceptivos e vestibulares relevantes à reabilitação funcional, auxiliando na modulação do tônus muscular e na redução de déficits nas atividades de vida diária e instrumentais. Propõe-se a ampliação amostral e a validação estatística dos parâmetros obtidos em investigações subseqüentes.

Palavras-chave: Análise de movimento. Acelerometria. Equoterapia personalizada. Prática baseada em evidências.

ABSTRACT

Equine-assisted therapy offered by IFMG – Campus Bambuí had, until then, been conducted with horses selected based on observational criteria, without objective biomechanical standardization of gait. This pilot study aimed to measure gait oscillations of horses used in therapy sessions through triaxial accelerometry coupled to the saddle, generating parameters for therapeutic individualization. Five adult horses were evaluated during 60 seconds of locomotion (30s at walk and 30s at trot), with acceleration records along the X (anteroposterior), Y (lateromedial), and Z (ventrodorsal) axes. The instrumentation proved to be feasible in a real clinical environment and enabled the identification of specific oscillation profiles for each animal, as well as greater movement amplitude at trot compared to walk across all axes. These interindividual and inter-gait differences provide preliminary evidence that biomechanical characterization of gait may support the selection of the most suitable horse for each participant's therapeutic goals, contributing to a more standardized and data-driven equine-assisted therapy. According to the National Association of Equine-Assisted Therapy (ANDE-Brasil), the ideal horse presents a rhythmic, cadenced, and three-dimensional walk, capable of providing proprioceptive and vestibular stimuli relevant to functional rehabilitation, assisting in the modulation of muscle tone and in reducing deficits in basic and instrumental activities of daily living. Further studies with larger samples and statistical validation of the obtained parameters are proposed.

Keywords: Gait analysis. Accelerometry. Individualized equine-assisted therapy. Evidence based practice.

RESUMEN

La equinoterapia ofrecida por el IFMG – Campus Bambuí se realizaba, hasta entonces, con caballos seleccionados según criterios observacionales, sin una estandarización biomecánica objetiva de la marcha. Este estudio piloto tuvo como objetivo medir las oscilaciones de la marcha de los equinos utilizados en las sesiones mediante acelerometría triaxial acoplada a la silla, generando parámetros para la individualización terapéutica. Se evaluaron cinco equinos adultos durante 60 segundos de desplazamiento (30s al paso y 30s al trote), con registro de las aceleraciones en los ejes X (anteroposterior), Y (lateromedial) y Z (ventrodorsal). La instrumentación demostró ser viable en un entorno real de atención y permitió identificar perfiles de oscilación específicos para cada animal, así como una mayor amplitud de movimiento en el trote en comparación con el paso en todos los ejes. Estas diferencias interindividuales y entre andaduras constituyen evidencias preliminares de que la caracterización biomecánica de la marcha puede respaldar la selección del caballo más adecuado para los objetivos terapéuticos de cada practicante, contribuyendo a una equinoterapia más estandarizada y orientada por datos. Según la Asociación Nacional de Equinoterapia (ANDE-Brasil), el caballo ideal presenta un paso rítmico, cadenciado y tridimensional, capaz de promover estímulos propioceptivos y vestibulares relevantes para la rehabilitación funcional, ayudando en la modulación del tono muscular y en la reducción de déficits en las actividades básicas e instrumentales de la vida diaria. Se propone ampliar la muestra y realizar la validación estadística de los parámetros obtenidos en investigaciones posteriores.

Palabras clave: Análisis del movimiento. Acelerometría. Equinoterapia personalizada. Práctica basada en evidencias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – (A) Esquema do conjunto sensor–controlador e (B) instalação na sela.....	13
Figura 02 – Teste/captação com indicação dos eixos X/Y/Z.....	14
Figura 03 – (A) Traçados exemplares (acelerômetro/giroscópio) e (B) legenda interpretativa dos eixos.	14
Figura 04 – Cavalo Baio Seis (equoterapia do IFMG – Bambuí): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z.....	18
Figura 05 – Cavalo Didático (equoterapia do IFMG – Bambuí): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z.....	20
Figura 06 – Cavalo Pirulito (equoterapia do IFMG – Bambuí): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z.....	21
Figura 07 – Égua Juquinha (equoterapia do IFMG – Bambuí): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z.....	23
Figura 08 – Égua Ohara (equoterapia do IFMG – Bambuí): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores biomecânicos dos equinos da equoterapia do IFMG–Bambuí: o que mede, como é calculado e unidades.....	15
Tabela 2 – Síntese comparativa dos perfis de oscilação e usos terapêuticos preliminares (equinos da equoterapia do IFMG Bambuí).....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
2.1	Sistema de mensuração e protocolo de aquisição.....	13
2.2	Sinais e procedimentos de cálculo.....	14
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.1	Qualidade do sinal e aderência do sistema.....	16
3.2	Convenções de eixos e leitura dos traçados	17
3.2.1	<i>Cavalo Baio Seis.....</i>	18
3.2.2	<i>Cavalo Didático</i>	20
3.2.3	<i>Cavalo Pirulito.....</i>	21
3.2.4	<i>Égua Juquinha.....</i>	23
3.2.5	<i>Égua Ohara.....</i>	24
3.2.6	<i>Triagem/planejamento: Aplicações terapêuticas preliminares por animal (IFMG–Bambuí)</i>	25
3.3	Considerações complementares sobre a leitura dos traçados inerciais: limitações e recomendações.....	29
4	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33
	APÊNDICE A – Artigo Submetido à revista ForScience.....	37

1 INTRODUÇÃO

A equoterapia, também denominada terapia assistida por equino, é uma intervenção terapêutica interdisciplinar que utiliza o movimento do cavalo para promover ganhos motores, funcionais e psicossociais em diferentes populações, especialmente pessoas com dificuldades motoras e outros agravos neurológicos. Revisões sistemáticas e ensaios clínicos apontam benefícios sobre a função motora grossa, desempenho funcional e participação em crianças com paralisia cerebral submetidas a programas estruturados de equoterapia, ainda que com variação na qualidade metodológica dos estudos (WHALEN; CASE-SMITH, 2012; PARK *et al.*, 2014; KIM *et al.*, 2020; ORTEGA-CRUZ *et al.*, 2016).

A Associação Nacional de Equoterapia (ANDE-Brasil) define a equoterapia como um método terapêutico e educacional que utiliza o cavalo dentro de uma abordagem interdisciplinar nas áreas da saúde, educação e equitação, fundamentando-se nas características biomecânicas do movimento equino para a promoção de ganhos funcionais e psicossociais (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EQUOTERAPIA, 2025).

Estudos clássicos demonstram que a movimentação equina apresenta similaridade com a marcha humana, especialmente no que se refere ao padrão rítmico e à dissociação de cinturas pélvica e escapular, além da descarga de peso nos membros inferiores, favorecendo melhora da marcha, postura e equilíbrio postural em praticantes de equoterapia (MCGIBBON *et al.*, 1998).

O potencial terapêutico dessa terapia está diretamente relacionado às características biomecânicas da marcha do cavalo. Estudos cinéticos mostram que o deslocamento tridimensional do cavalo gera movimentos da pelve humana com padrão rítmico, cíclico e multidimensional, em muitos aspectos semelhante à marcha fisiológica (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021). Tais achados sustentam a hipótese de que o cavalo fornece ao praticante uma “experiência de marcha típica”, com estímulos proprioceptivos e vestibulares potencialmente úteis na reabilitação de indivíduos com alterações de marcha e controle postural, contribuindo ainda para a modulação do tônus muscular e para a redução de déficits nas atividades de vida diária (AVDs) e nas atividades instrumentais de vida diária (AIVDs).

Nas últimas décadas, revisões sistemáticas e meta-análises têm demonstrado que a equoterapia pode promover melhorias no equilíbrio, controle postural e função motora em crianças com paralisia cerebral e outros agravos neurológicos, embora os resultados ainda apresentem heterogeneidade (ZADNIKAR; KASTRIN, 2011; SILVA *et al.*, 2021; PEIA *et al.*,

2023). Em geral, esses trabalhos destacam limitações recorrentes, como amostras reduzidas, heterogeneidade de protocolos, falta de padronização dos desfechos e escassa descrição dos parâmetros de movimento do cavalo, o que dificulta a comparação entre estudos e a transposição dos resultados para a prática clínica. Apesar do acúmulo de evidências sobre os efeitos clínicos, a seleção dos equinos em programas de equoterapia permanece majoritariamente baseada em critérios de temperamento, porte, treinamento e experiência da equipe, sem mensuração objetiva e sistemática dos padrões de marcha de cada animal. Na prática, cavalos com perfis de oscilação bastante distintos podem ser utilizados de forma indistinta para usuários com necessidades terapêuticas diferentes, limitando o potencial de individualização da intervenção e a construção de protocolos reproduzíveis entre serviços.

Paralelamente, tecnologias baseadas em unidades de medida inercial (IMUs), que combinam acelerômetros e giroscópios, consolidaram-se como ferramentas precisas e de custo relativamente acessível para a análise da locomoção equina. Revisões e estudos aplicados demonstram que sistemas inerciais montados no dorso ou em segmentos específicos conseguem quantificar assimetrias, detectar claudicação, monitorar performance esportiva e analisar a interação cavalo–cavaleiro com acurácia comparável a métodos de referência, como plataformas de força e sistemas ópticos de captura de movimento (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024; RANA; MITTAL, 2023).

Diante desse cenário, o presente estudo piloto teve como objetivo mensurar e descrever as oscilações da marcha de equinos utilizados nas sessões de equoterapia do IFMG – *Campus Bambuí*, por meio de acelerometria triaxial acoplada à sela, gerando parâmetros biomecânicos preliminares ao passo e ao trote que permitam caracterizar perfis individuais de movimento. A intenção é oferecer evidências iniciais de que a análise objetiva da marcha pode subsidiar a escolha do cavalo mais adequado aos objetivos terapêuticos de cada praticante, contribuindo para uma prática de equoterapia mais padronizada e orientada por dados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

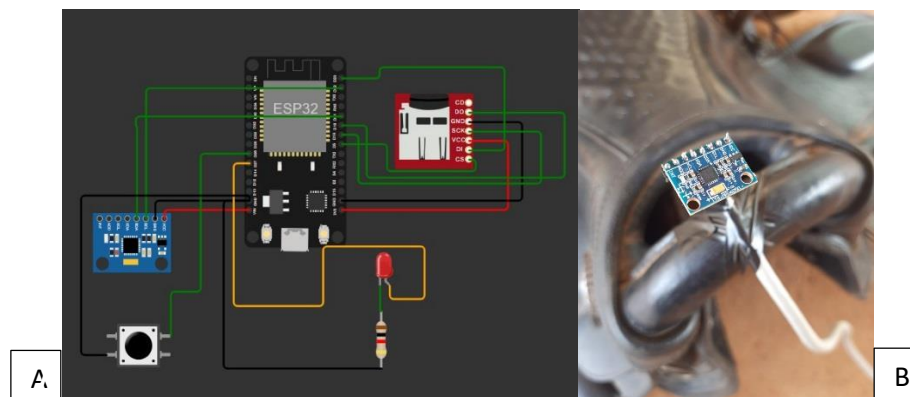
Este estudo piloto, de natureza observacional e descritiva, foi realizado no programa de equoterapia do IFMG – *Campus Bambuí*, com o propósito de mensurar e descrever as oscilações da marcha de equinos utilizados em sessões terapêuticas. O racional biomecânico que sustenta a mensuração objetiva é que o deslocamento tridimensional do cavalo — sobretudo ao passo — transmite ao praticante um padrão rítmico e multiaxial de movimento pélvico com semelhanças à marcha humana, justificando a quantificação dessas oscilações para fins clínicos

e de padronização (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

2.1 Sistema de mensuração e protocolo de aquisição

Foi desenvolvido um protótipo de baixo custo baseado em acelerometria triaxial acoplada à sela, composto por sensor MPU6050 (acelerômetro e giroscópio integrados), microcontrolador ESP32, módulo de armazenamento em microSD e bateria externa. Os componentes foram montados em placa de circuito impresso e fixados centralmente na sela (região torácica média), buscando estabilidade mecânica e conforto do animal (Figura 1), conforme recomendações de instrumentação em montaria terapêutica (MCGIBBON *et al.*, 1998). A adoção de unidades de medida inercial (IMUs) apoia-se na literatura que demonstra viabilidade, repetibilidade e acurácia em campo, inclusive com validações frente à cinematografia óptica (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024).

Figura 01. (A) Esquema do conjunto sensor–controlador e (B) instalação na sela.



Fonte: Autores (2024)

Cada animal percorreu trechos retos, em piso habitual, realizando 30 segundos ao passo e 30 segundos ao trote, em sequência contínua. Os sinais foram visualizados e exportados pelo software “Medidor de Impacto Equino”, gerando séries temporais contínuas nas quais se convencionou passo = amostras 0–400 e trote = amostras 401–800. As oscilações foram registradas (Figura 2) nos eixos X (ântero-posterior), Y (látero-medial) e Z (dorso-ventral).

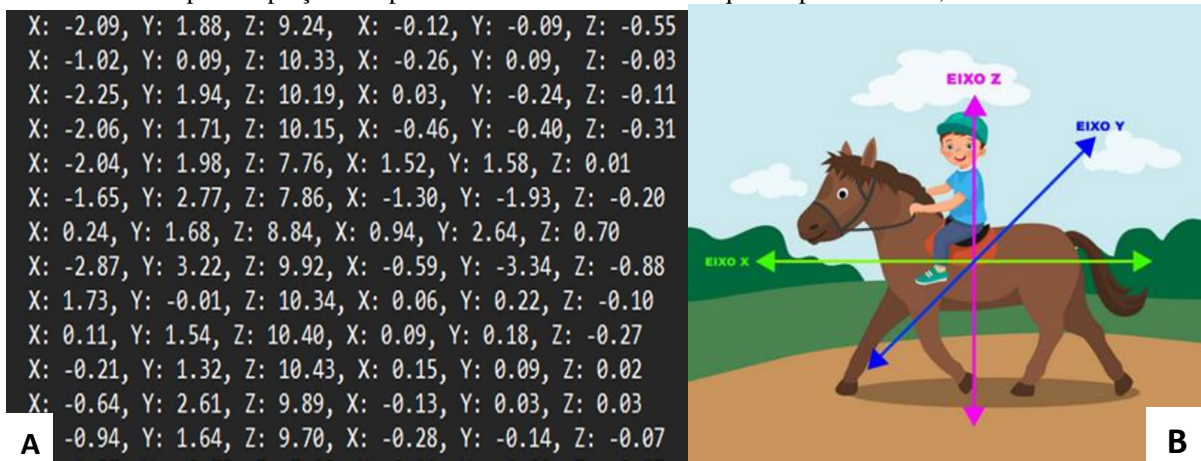
Figura 02. Teste/captação com indicação dos eixos X/Y/Z



Fonte: Autores (2023)

Para fins de transparência metodológica e inspeção inicial das séries temporais, apresentam-se os traçados brutos obtidos pelo MPU6050, com os eixos do acelerômetro (x, y, z em m/s^2) e do giroscópio (x, y, z em $^\circ/s$) plotados em função do tempo, incluindo a marcação do protocolo temporal — passo (amostras 0–400) e trote (amostras 401–800) — e a legenda interpretativa dos eixos (Figura 3). Esta visualização auxilia na verificação de estabilidade do sinal, na identificação de artefatos e na coerência das oscilações por eixo, justificando as etapas subsequentes de filtragem (10 Hz), segmentação (janelas de 2,0 s; 50% de sobreposição) e estimação espectral adotadas no processamento (CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

Figura 03. (A) Traçados exemplares (acelerômetro/giroscópio) e (B) legenda interpretativa, dos eixos analisados após adaptação do aparelho à sela dos animais da equoterapia do IFMG, Bambuí



Fonte: Autores (2023)

2.2 Sinais e procedimentos de cálculo

As séries foram submetidas a inspeção de qualidade e remoção do componente constante (demean). Em seguida, aplicou-se filtro passa-baixas Butterworth de 4ª ordem em dupla passada (zero-phase), com corte em 10 Hz para preservar o conteúdo típico da marcha e

atenuar ruídos de alta frequência. Esse pipeline acompanha práticas consolidadas na análise da locomoção equina com IMUs (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024).

A caracterização dos perfis individuais de oscilação foi realizada por eixo (X/Y/Z) e por andamento (passo/trote) a partir das séries pós-processadas, sendo computados:

- Amplitude pico-a-pico e RMS (raiz-média-quadrática) por eixo;
- Variabilidade intra-sinal por desvio-padrão e coeficiente de variação em janelas deslizantes de 2,0 s com 50% de sobreposição;
- Frequência dominante pela análise espectral de Welch com segmentos de 2,0 s, 50% de sobreposição e janela de Hann, usada como aproximação da cadência;
- Métricas de forma por correlação cruzada entre pares de eixos (X–Y, X–Z, Y–Z), para quantificar a ênfase relativa das oscilações nos três planos.

A seleção desses descritores e parâmetros analíticos (Tabela 1) fundamenta-se em estudos e revisões que documentam viabilidade, repetibilidade e acurácia das IMUs na marcha equina (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024) e no uso consagrado do estimador de Welch para densidade espectral de potência em sinais biomecânicos (WELCH, 1967).

Tabela 1 - Indicadores biomecânicos dos equinos da equoterapia do IFMG–Bambuú: o que mede, como é calculado e unidades

Descritor	Símbolo	Eixo(s)	Definição	Janela	Unidade
Amplitude pico-a-pico	A_{pp}	X/Y/Z	Máx – Mín da aceleração na janela	2,0 s (50%)	m/s ²
RMS	a_{rms}	X/Y/Z	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum a^2}$	2,0 s (50%)	m/s ²
Desvio-padrão	(SD)	X/Y/Z	Variabilidade intra-janela	2,0 s (50%)	m/s ²
Coef. de variação	(CV)	X/Y/Z	SD/\bar{a}	2,0 s (50%)	adim.
Freq. dominante	f_{dom}	X/Y/Z	Pico da PSD (Welch, Hann)	2,0 s (50%)	Hz
Correlação cruzada	r_{XY}, r_{XZ}, r_{YZ}	pares	Ênfase relativa de plano	2,0 s (50%)	adim.

Fonte: Autores (2025)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade do sinal e aderência do sistema

Os sinais de aceleração apresentaram estabilidade temporal e responsividade compatíveis com a dinâmica dos andamentos, confirmando a aderência do dispositivo à sela e a confiabilidade da aquisição em ambiente real de atendimento — uma etapa recomendada em protocolos de instrumentação para montaria terapêutica, a fim de mitigar vibrações espúrias e artefatos de fixação (MCGIBBON *et al.*, 1998). Para fins de transparência metodológica, a visualização contínua dos traçados do acelerômetro e do giroscópio, com marcação do protocolo temporal (0–400 amostras = passo; 401–800 amostras = trote) e legenda interpretativa dos eixos, encontra-se ilustrada na Fig. 3 (Materiais e Métodos).

Do ponto de vista interpretativo, a coerência entre padrão de andamento e assinatura do sinal observada aqui é consistente com a literatura que descreve a transmissão de um movimento rítmico e multiaxial do cavalo à pelve do praticante, com semelhanças a componentes da marcha humana (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021). Esse alinhamento biomecânico funciona como verificação externa da plausibilidade dos registros, reforçando que o sistema captou fenômenos esperados (maior exigência dinâmica no trote; oscilações distribuídas nos eixos X/Y/Z) e, portanto, sustenta a validade de conteúdo das medidas.

Adicionalmente, a estabilidade dos traçados e a ausência de saturação em faixas de aceleração relevantes apoiam a exequibilidade do uso de IMUs de baixo custo para mensuração de marcha equina em campo, convergindo com achados de validação e revisões que reportam viabilidade, repetibilidade e acurácia de sistemas inerciais em comparação a métodos de referência (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024). Pequenos offsets iniciais nos eixos X/Y e o viés gravitacional em Z ($\sim 9,81 \text{ m/s}^2$, com variações de montagem) são esperados pela inclinação relativa do sensor e altura do conjunto na sela e não comprometem a análise, sobretudo após o pré-processamento padronizado (demean + filtragem Butterworth 10 Hz) descrito em Materiais e Métodos (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

Em síntese, a boa qualidade do sinal obtida neste estudo fornece a base para as análises subsequentes de perfis individuais de oscilação por eixo e andamento, permitindo comparar variação e amplitude entre passo e trote de modo consistente com a biomecânica dos andamentos e com os referenciais já consolidados na área (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA,

2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021; MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024).

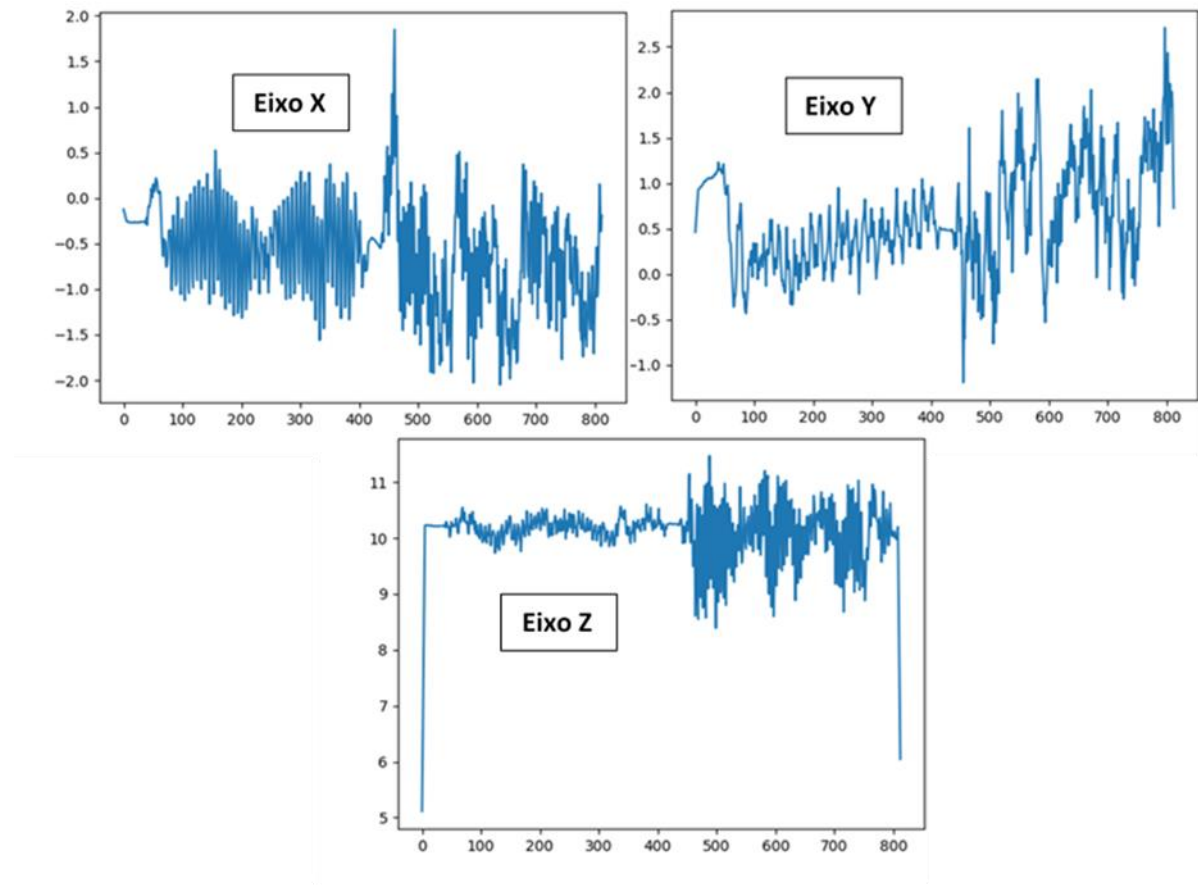
3.2 Convenções de eixos e leitura dos traçados

Nos traçados do acelerômetro, X corresponde ao plano ântero-posterior, Y ao látero-medial e Z ao dorso-ventral. Sinais positivos/negativos refletem o sentido de oscilação em cada eixo; pequenas diferenças de offset no início das séries podem ocorrer devido à postura do animal e à fixação relativa da sela, sem prejuízo à análise intra-série. No eixo Z, observa-se um viés gravitacional ($\sim 9,81 \text{ m/s}^2$) ajustado ao posicionamento do conjunto na sela; por isso, valores iniciais próximos de $\sim 10,2 \text{ m/s}^2$ são esperados quando o sensor está levemente inclinado em relação à vertical.

A seguir, apresentam-se os perfis individuais por animal, organizados em painéis de três subgráficos. Em cada painel, a primeira metade da série corresponde ao passo e a segunda metade ao trote. As descrições sintetizam as faixas de oscilação observadas (valores aproximados, conforme seus traçados).

3.2.1 Cavalo Baio 6

Figura 04. Cavalo Baio Seis (equoterapia do IFMG–Bambu): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z com passo e trote indicados.



Fonte: Autores (2025).

O padrão observado no Baio Seis — maiores amplitudes no trote em todos os eixos (X: $\sim +2,0/-2,0$; Y: $\sim +2,5/-1,0$; Z: $\sim 11,5/8,8$) em relação ao passo (X: $\sim +0,5/-1,5$; Y: $\sim +1,5/-0,5$; Z: $\sim 10,5/9,8$) sendo coerente com a cinemática dos andamentos, nos quais o trote impõe maior exigência dinâmica e, portanto, excursões mais amplas do dorso (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015). O componente ântero-posterior (X) mais amplo no trote sugere um estímulo mais marcado de transferência de peso/propulsão, alinhando-se ao racional de que oscilações rítmicas do cavalo podem simular elementos da marcha humana no praticante (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021). O incremento látero-medial (Y) no trote indica maior solicitação de controle médio-lateral do tronco, aspecto frequentemente valorizado em programas terapêuticos orientados a equilíbrio e estabilidade (LIGHTSEY *et al.*, 2021). Já a excursão dorso-ventral (Z) mais ampla no trote (picos mais altos e vales mais baixos) é compatível com maior variação vertical do dorso, o que pode contribuir para respostas posturais de acomodação do praticante (GARNER; RIGBY, 2015).

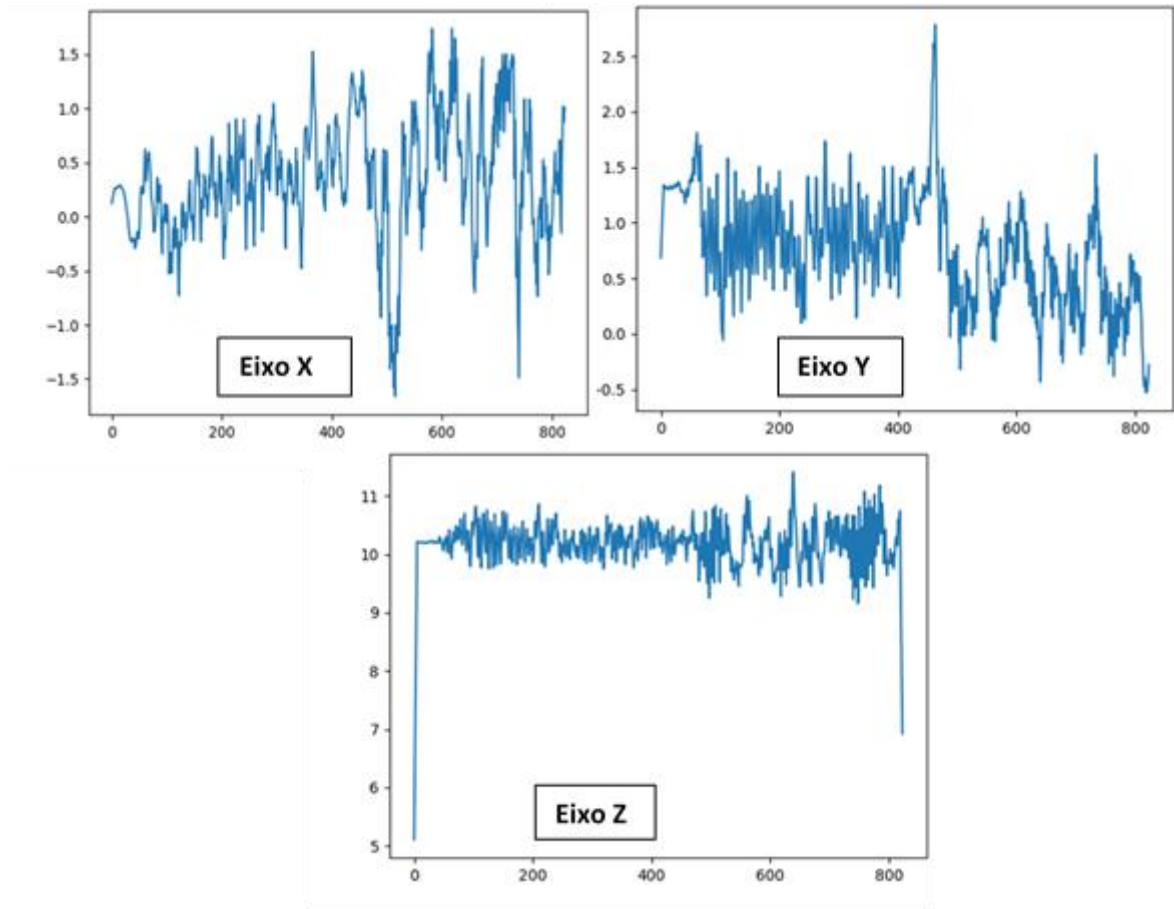
Do ponto de vista instrumental, a consistência desses traçados reforça a exequibilidade das IMUs de baixo custo para mensurar perfis individuais em campo (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024). Pequenos offsets iniciais e viés gravitacional em Z são esperados pela orientação/local fixação do conjunto na sela e não comprometem a interpretação após o pré-processamento padronizado (demean + Butterworth 10 Hz) descrito nos Métodos (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

Como implicação prática preliminar para a equoterapia do IFMG–BambuÍ, o perfil do Baio 6 sugere: uso potencial quando se deseja ênfase em propulsão/transferência de peso (maior X no trote); atenção a objetivos de controle médio-lateral (Y aumentado no trote); e possibilidade de treinos que demandem acomodação postural vertical (Z mais amplo).

Tais inferências devem ser tratadas como exploratórias, dado o n pequeno e a ausência de teste inferencial nesta etapa; estudos subsequentes devem ampliar amostra e incorporar métricas padronizadas (RMS, variabilidade, frequência dominante) para robustecer a associação entre assinaturas de oscilação e objetivos terapêuticos (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

3.2.2 Cavalo Didático

Figura 05. Cavalo Didático (equoterapia do IFMG–Bambuê): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z com passo e trote indicados.



Fonte: Autores (2025).

Didático foi o equino que apresentou elevação da componente posterior em X no trote (passo: $\sim+1,5/-0,8$; trote: $\sim+1,5/-1,6$), mantendo o pico ântero semelhante e ampliando a excursão posterior. Esse padrão é compatível com a maior exigência de propulsão e transferência de peso no trote, em que a oscilação ântero-posterior tende a se acentuar por ciclos mais rápidos e forças inerciais superiores (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015). Em Y, observou-se assimetria látero-medial moderada no trote (passo: $\sim+1,8/0$; trote: $\sim+2,6/-0,5$), sugerindo um incremento do desafio médio-lateral do tronco, aspecto frequentemente valorizado em programas terapêuticos orientados a equilíbrio e controle postural (LIGHTSEY *et al.*, 2021). Em Z, a maior excursão vertical no trote (passo: $\sim 10,5/9,81$; trote: $\sim 11,2/9,2$) é coerente com a biomecânica do andamento, que impõe variação dorso-ventral mais ampla do dorso e, potencialmente, respostas de acomodação no praticante (GARNER; RIGBY, 2015).

Do ponto de vista instrumental, a consistência dos traçados confirma a exequibilidade do IMUs (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*,

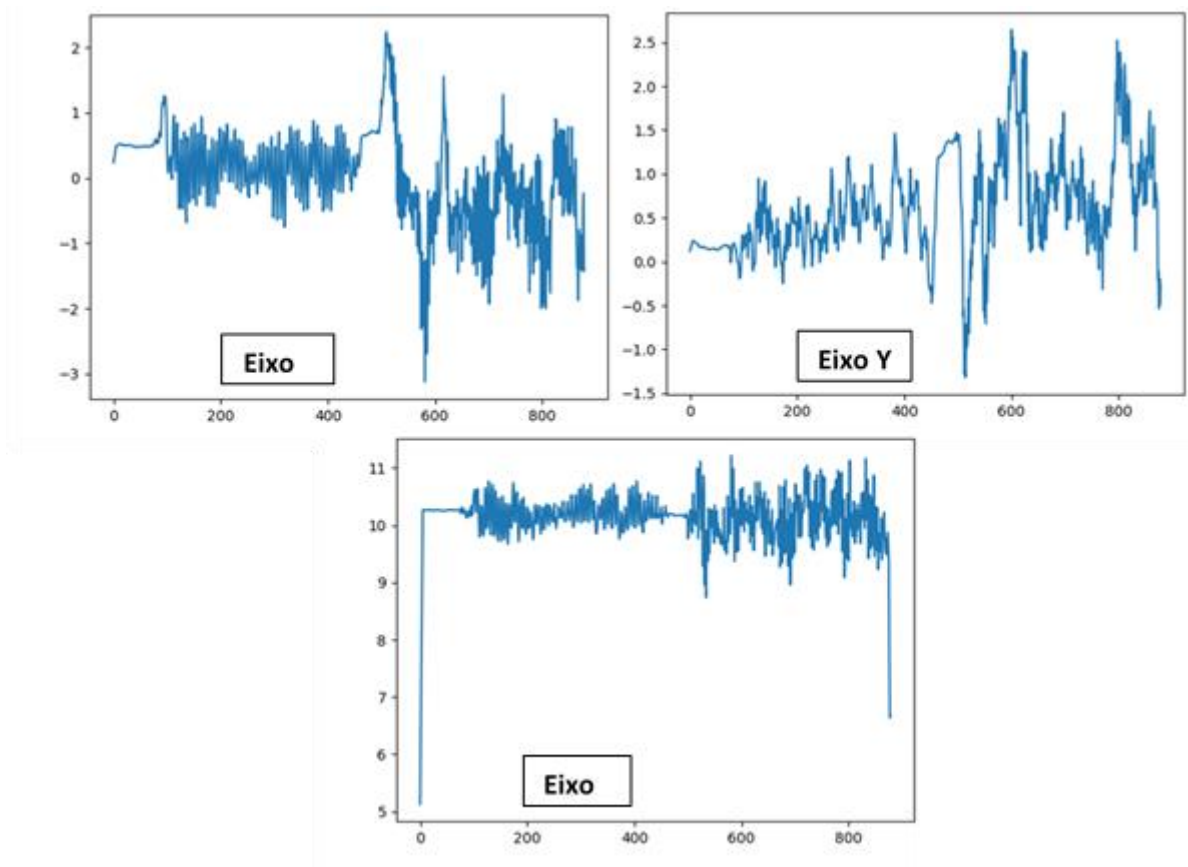
2024). Os pequenos *offsets* de base (p.ex., $Y \approx 0$ no passo) podem refletir postura/aprumos e orientação local do sensor, sem prejuízo para a comparação intra-série, após o pré-processamento.

Como implicação preliminar para a equoterapia do IFMG, o perfil desse animal indica potencial utilidade em objetivos que combinem treino de propulsão/transferência de peso (ênfase posterior em X no trote) com demanda de controle médio-lateral (assimetria moderada em Y), além de acomodação postural vertical (amplitude em Z).

Ressalta-se, contudo, o caráter exploratório (N reduzido, ausência de testes inferenciais), devendo estudos subsequentes ampliar a amostra e incorporar métricas padronizadas (RMS, variabilidade, frequência dominante) para robustecer a associação entre assinaturas de oscilação e metas terapêuticas (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

3.2.3 Cavalo Pirulito

Figura 06. Cavalo Pirulito (equoterapia do IFMG–BambuÍ): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z com passo e trote indicados.



Fonte: Autores (2025).

O Pirulito apresentou um padrão marcante de amplitude posterior em X no trote (passo: $\sim +1,2/-0,8$; trote: $\sim +2,1/-3,0$), mantendo incremento também em Y (passo: $\sim +1,5/-0,5$;

trote: $\sim+2,5/-1,4$) e Z (passo: $\sim 10,4/9,81$; trote: $\sim 11,1/8,9$). Esse comportamento também é coerente com a cinemática do trote, que impõe maior exigência dinâmica e tende a ampliar as oscilações ântero-posteriores e a variação vertical do dorso, com paralelos reconhecidos entre o movimento do cavalo e componentes da marcha humana no praticante (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

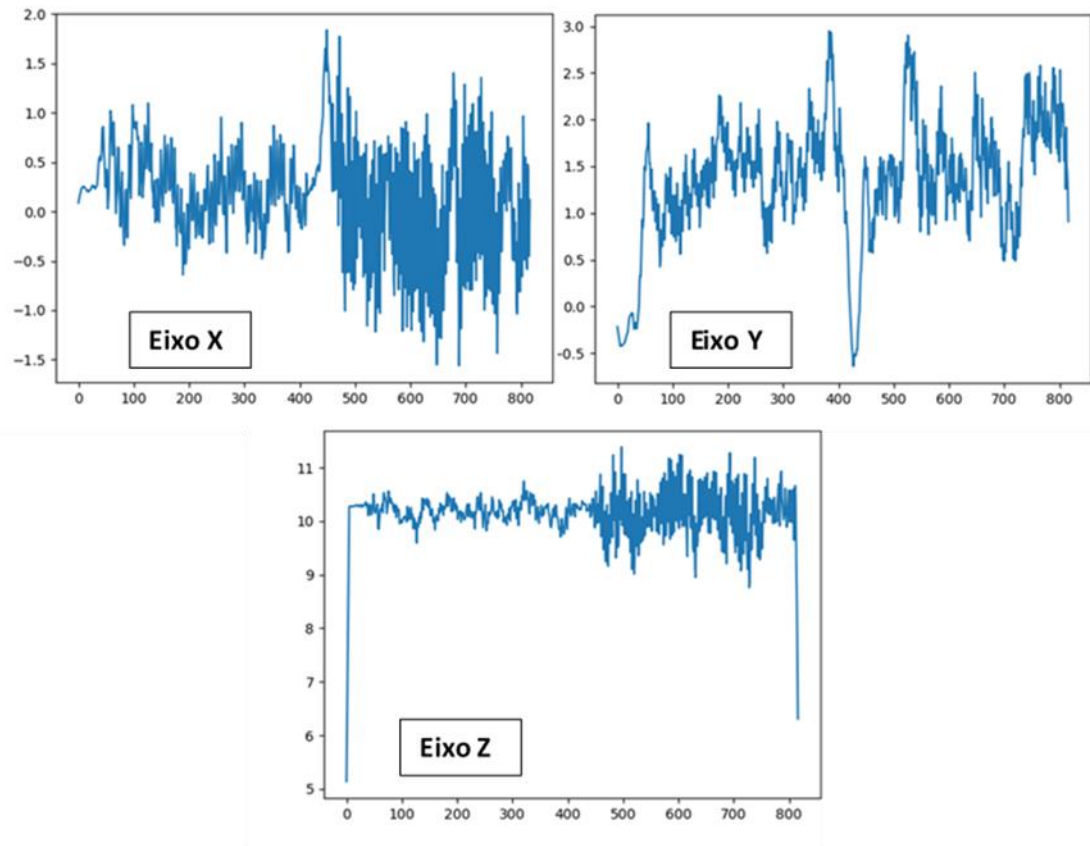
A ênfase posterior (X negativo mais profundo) sugere um estímulo mais pronunciado de transferência de peso/propulsão no trote, enquanto o aumento em Y indica maior demanda de controle médio-lateral do tronco—aspectos clinicamente valorizados em intervenções voltadas a equilíbrio e estabilidade (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021). Em Z, a excursão vertical ampliada no trote (picos mais altos e vales mais baixos) é compatível com respostas de acomodação postural do praticante (GARNER; RIGBY, 2015).

Do ponto de vista instrumental, a consistência dos traçados—sem sinais de saturação e com comportamento esperado entre andamentos—reforça a exequibilidade do arranjo com IMUs de baixo custo em campo, convergindo com validações e revisões que documentam viabilidade, repetibilidade e acurácia de sistemas inerciais na marcha equina (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024). Pequenos offsets ou assimetrias basais podem advir de postura/aprumos e da orientação local do sensor na sela; contudo, a aplicação do pré-processamento padronizado (demean + Butterworth 10 Hz) mitiga esses efeitos para a comparação intra-série (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

Como implicação preliminar para a equoterapia, o perfil do Pirulito indica potencial utilidade quando se pretende enfatizar propulsão/transferência de peso (X com componente posterior acentuado), associada a treinos que exijam controle médio-lateral (Y elevado) e acomodação postural vertical (Z ampliado). Novamente, cabe ressaltar que tais inferências devem ser tratadas como exploratórias para que futuras etapas venham robustecer a ligação entre assinaturas de oscilação e metas terapêuticas (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

3.2.4 Égua Juquinha

Figura 07. Égua Juquinha (equoterapia do IFMG–Bambu): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z com passo e trote indicados.



Fonte: Autores (2025).

A égua Juquinha exibiu incremento global de amplitude no trote em relação ao passo (X: $\sim +1,8/-1,5$ vs. $\sim +1,1/-0,7$; Y: $\sim +3,0/-0,6$ vs. até $\sim +2,4/\sim +0,5$; Z: $\sim 11,2/8,9$ vs. $\sim 10,5/9,7$), padrão coerente com a cinemática dos andamentos, em que o trote impõe maior exigência dinâmica e resulta em excursões mais amplas do dorso (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015).

No eixo X (ântero-posterior), a ampliação da excursão no trote sugere estímulo mais marcado de transferência de peso/propulsão, alinhado à ideia de que o movimento rítmico do cavalo pode simular componentes da marcha humana no praticante (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021). Em Y (látero-medial), nota-se maior ênfase latero-direita no trote, indicando incremento da demanda de controle médio-lateral do tronco, aspecto valorizado em intervenções focadas em equilíbrio e estabilidade (LIGHTSEY *et al.*, 2021). Em Z (dorso-ventral), a maior excursão vertical no trote (picos mais altos e vales mais baixos) é compatível com a variação vertical do dorso e pode favorecer respostas de acomodação postural do praticante (GARNER; RIGBY, 2015).

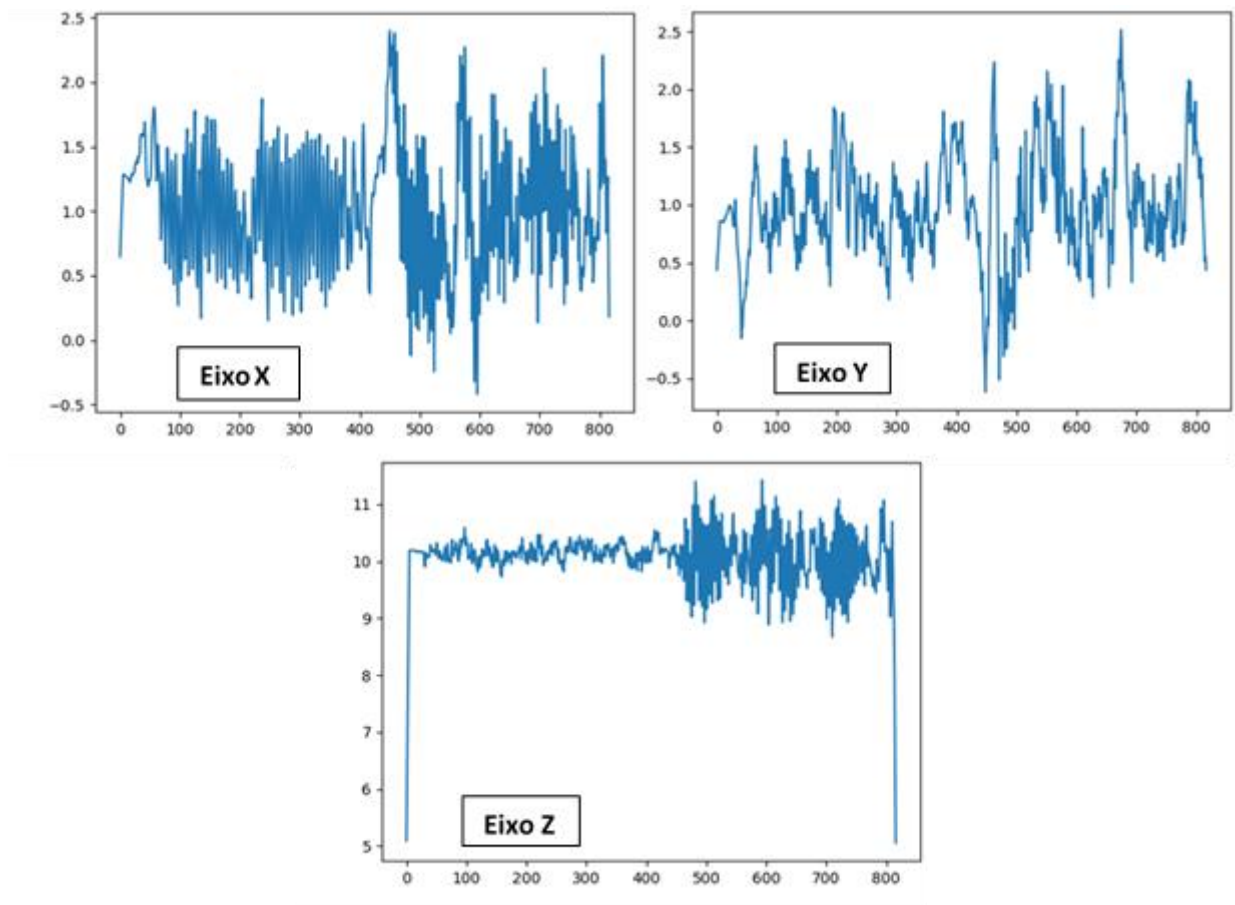
Do ponto de vista instrumental, a consistência dos traçados da Juquinha converge, igualmente, com as validações citadas. Pequenos *offsets* de base ou assimetrias iniciais são

esperados pela orientação/local de fixação e postura/aprumos e não comprometem a interpretação após o pré-processamento padronizado (demean + Butterworth 10 Hz) descrito em Materiais e Métodos (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

Como implicação preliminar para a equoterapia, o perfil da Juquinha sugere utilidade potencial em metas terapêuticas que combinem propulsão/transferência de peso (X ampliado), controle médio-lateral (ênfase em Y) e acomodação postural vertical (Z ampliado), reconhecendo o caráter exploratório desta etapa (n reduzido, sem inferência estatística) e a necessidade de ampliar amostra e incorporar métricas padronizadas (RMS, variabilidade, frequência dominante) em estudos subsequentes (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

3.2.5 Égua Ohara

Figura 08. Égua Ohara (equoterapia do IFMG–Bambu): painéis A/B/C para eixos X/Y/Z com passo e trote indicados.



Fonte: Autores (2025).

A Ohara apresentou maior excursão ântero-posterior (X) no trote em relação ao passo (passo: $\sim +1,8/\sim +0,2$; trote: $\sim +2,4/\sim -0,5$), mantendo pico ântero elevado e ampliando a componente posterior no trote. Esse comportamento é congruente com a cinemática do trote,

que impõe maior exigência dinâmica e tende a acentuar oscilações em X por ciclos mais rápidos e forças inerciais superiores (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015). Em Y (lâtero-medial), observa-se manutenção do padrão com leve aumento no trote (passo: $\sim+1,8/-0,8$; trote: $\sim+2,5/-0,6$), sugerindo incremento moderado da demanda de controle médio-lateral do tronco — aspecto frequentemente valorizado em intervenções orientadas a equilíbrio e estabilidade (LIGHTSEY *et al.*, 2021). Em Z (dorso-ventral), a excursão vertical mais ampla no trote (passo: $\sim 10,5/9,81$; trote: $\sim 11,2/8,9$) é compatível com maior variação vertical do dorso, potencialmente evocando respostas de acomodação postural do praticante (GARNER; RIGBY, 2015).

Do ponto de vista instrumental, os traçados da Ohara exibem coerência entre andamentos e ausência de saturação, reforçando a exequibilidade de IMUs para mensurar perfis individuais. Pequenos *offsets* basais podem decorrer de postura/aprumos e da orientação local do sensor na sela; contudo, o pré-processamento padronizado (demean + Butterworth 10 Hz) descrito em Materiais e Métodos mitiga tais efeitos para a comparação intra-série (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

O perfil da Ohara indica potencial utilidade em metas terapêuticas que combinem estímulo de propulsão/transferência de peso (X mais amplo, com componente posterior no trote), treino de controle médio-lateral (Y discretamente aumentado) e acomodação postural vertical (Z mais amplo). Devido ao N reduzido; sem testes inferenciais, tais inferências devem ser investigadas com métricas padronizadas (RMS, variabilidade, frequência dominante) e ampliação amostral em etapas subsequentes.

3.2.6 Triagem/planejamento: Aplicações terapêuticas preliminares por animal (IFMG–Bambuí)

A seguir, incluímos um mapeamento prático e técnico de uso terapêutico preliminar por animal, derivado dos perfis de oscilação observados (X = ântero-posterior; Y = lâtero-medial; Z = dorso-ventral) e ancorado no racional biomecânico da equoterapia (transferência de movimento do cavalo para tronco/pelve do praticante; semelhanças com componentes da marcha humana) e na exequibilidade de IMUs em campo (UCHIYAMA *et al.*, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021; MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024).

1) Cavalo Baio Seis = Perfil “trifásico” (X, Y e Z elevados no trote)

- Indicado para:

- Propulsão/transferência de peso (X bem marcado no trote).
- Controle médio-lateral do tronco (Y com incremento claro).
- Acomodação postural vertical (Z amplo).
- Usar com cautela: Praticantes com hipersensibilidade vestibular ou baixa tolerância a variações verticais/ML inicialmente.
- Racional: Trote naturalmente mais exigente; combinação de oscilações rítmicas em X/Y/Z favorece treino integrado de equilíbrio, ajuste postural e componentes de marcha (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

2) Cavalo Didático = Perfil “propulsão + ML moderado” (X posterior ↑; Y moderado; Z↑)

- Indicado para:
 - Transferência de peso/propulsão com ênfase posterior (X).
 - Controle médio-lateral moderado (Y sem extremos) — bom para fases iniciais de treino de tronco.
 - Acomodação vertical (Z ampliado, porém sem extremos).
- Usar com cautela: casos que requeiram estímulo ML intenso (Y aqui é moderado).
- Racional: oferta de desafio progressivo sem saturar ML; útil para consolidar base postural e depois avançar (LIGHTSEY *et al.*, 2021).

3) Pirulito — perfil “AP com posterior muito marcado + ML e Z altos”

- Indicado para:
 - Propulsão/transferência de peso com ênfase posterior pronunciada (X -3,0).
 - Controle médio-lateral intenso (Y elevado no trote).
 - Acomodação vertical exigente (Z amplo).
- Usar com cautela: início de programa em praticantes com hipotonia importante ou hipersensibilidade; melhor para fases intermediárias/avançadas.
- Racional: oferta de alto desafio AP-ML-Z pode ser direcionada a metas combinadas de força postural, equilíbrio e componentes de marcha (GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

4) Juquinha (égua) — perfil “equilíbrio + vertical” (X ↑; Y com ênfase latero-direita; Z↑)

- Indicado para:
 - Equilíbrio médio-lateral com leve assimetria dirigida (treinos de alinhamento e correção).
 - Acomodação vertical (Z consistente).
 - Componentes de marcha/propulsão (X aumentado, sem extremos).
- Usar com cautela: escolioses estruturadas/hipercorreções em que assimetria ML possa ser indesejada nas primeiras sessões.
- Racional: assimetria ML moderada pode ser explorada terapêuticamente (desafios dirigidos), mantendo componente vertical e AP coerentes (GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

5) Ohara (égua) — perfil “AP acentuado + estabilidade ML” (X ↑ com componente posterior; Y discreto; Z ↑)

- Indicado para:
 - Treinos focados em propulsão/transferência de peso (X acentuado no trote).
 - Estabilidade ML com desafio leve (Y pouco ampliado) — bom para praticantes que não toleram grande ML.
 - Acomodação vertical (Z ampliado).
- Usar com cautela: quando a meta principal for estimular controle ML intenso (pode não oferecer ML suficiente nas fases avançadas).
- Racional: entrega estímulo AP robusto com ML contido, útil para sequenciamento de objetivos (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

Observações e salvaguardas clínicas

Ressaltamos que tais indicações são preliminares e devem ser moduladas por velocidade/cadência, superfície, ajuste da sela e tolerância do praticante (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024). Além do fato de que, para transitar de hipótese operativa a protocolo clínico, recomenda-se ampliar amostra, controlar velocidade/cadência, incluir segmentação por passada e validar contra desfechos do praticante (equilíbrio, estabilidade troncular, funcionalidade) (ASTI *et al.*, 2024; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

Propõe-se uma progressão terapêutica graduada baseada nos perfis oscilatórios medidos por IMU: iniciar com animais que apresentem demanda médio-lateral (Y) moderada e excursão vertical (Z) mais contida — como Didático e Ohara — e evoluir para perfis com maior desafio médio-lateral e vertical — como Baio 6 e Pirulito — conforme a resposta clínica do praticante. Essa estratégia alinha-se ao racional biomecânico da equoterapia, segundo o qual o movimento rítmico e multiaxial do cavalo é transferido à pelve do praticante e pode ser dosado em eixos específicos (X: ântero-posterior/propulsão; Y: látero-medial/controle de tronco; Z: dorso-ventral/acomodação postural) para atingir metas funcionais distintas (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

Na prática, recomenda-se estratificar previamente o objetivo predominante da sessão — equilíbrio médio-lateral, propulsão/transferência de peso (ênfase em X) ou acomodação vertical (ênfase em Z) — selecionando o animal cujo perfil de oscilação melhor corresponda a essa meta, e reavaliar periodicamente a aderência entre perfil do equino e necessidades do praticante, incorporando ajustes de velocidade/cadência e superfície quando pertinente (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024).

Essa combinação de dosimetria por eixos e monitoramento contínuo favorece uma progressão segura e orientada por dados, mantendo a intervenção tecnicamente coerente com a biomecânica dos andamentos e com a tolerância clínica individual (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

Visando organizar e melhorar a visualização de tais achados preliminares, segue em uma única tabela comparativa (Tabela 2), a análise do perfil de oscilação, uso terapêutico sugerido, sendo incluídas as cautelas citadas, para cada animal.

Tabela 2. Síntese comparativa dos perfis de oscilação e usos terapêuticos preliminares (equinos da equoterapia do IFMG–BambuÍ)

Animal	Perfil de oscilação (resumo)	Uso terapêutico sugerido	Cautelas
Baio Seis	X: ↑ no trote Y: ↑ no trote Z: ↑ no trote	(i) Propulsão/transferência de peso (X) (ii) Controle médio-lateral do tronco (Y) (iii) Acomodação postural vertical (Z)	Evitar início com usuários com hipersensibilidade vestibular ou baixa tolerância a ML/vertical elevados
Didático	X: ênfase posterior no trote Y: moderado Z: ↑	(i) Propulsão/transferência com foco posterior (X) (ii) Treino de tronco com ML moderado (iii) Acomodação vertical sem extremos	Pode não ser ideal quando se exige ML intenso nas fases avançadas
Pirulito	X: ênfase posterior muito marcada Y: ↑ Z: ↑	(i) Propulsão/transferência de peso com ênfase posterior (X) (ii) Controle ML intenso (Y) (iii) Acomodação vertical exigente (Z)	Preferir fases intermediárias/avançadas; cautela em hipotonia importante/hipersensibilidade
Juquinha (égua)	X: ↑ Y: ênfase latero-direita no trote Z: ↑	(i) Equilíbrio ML com leve assimetria dirigida (ii) Acomodação vertical (Z) (iii) Componentes de marcha/propulsão (X)	Cautela em casos com escoliose estruturada/hipercorreções — assimetria ML pode ser indesejada no início
Ohara (égua)	X: ↑ com componente posterior Y: discreto Z: ↑	(i) Propulsão/transferência de peso (X) (ii) Estabilidade ML com desafio leve (iii) Acomodação vertical (Z)	Pode oferecer ML insuficiente quando a meta principal é intensificar controle médio-lateral

Fonte: Autores (2025)

Notas de uso:

- Tabela destinada a triagem/planejamento: escolher o animal conforme a meta terapêutica predominante (propulsão/AP, controle ML, acomodação vertical) e a tolerância do praticante.
- Ajustar conforme velocidade/cadência, superfície, ajuste da sela e resposta clínica; reavaliar periodicamente.

3.3 Considerações complementares sobre a leitura dos traçados inerciais: limitações e recomendações

Entre os cinco equinos avaliados, duas são fêmeas. À luz da literatura disponível com IMUs em marcha equina, o efeito do sexo sobre os traçados inerciais do dorso não está

estabelecido: revisões e estudos de validação frequentemente não estratificam por sexo ou não reportam diferenças sistemáticas nos descritores de oscilação quando outras covariáveis (porte, conformação, treinamento, velocidade/andamento, superfície) são controladas (CRECAN; PEȘTEAN, 2023; MOORMAN *et al.*, 2012). Em outras palavras, no estado atual da evidência, não há consenso de que o fato de o animal ser fêmea, por si só, produza um padrão específico e reprodutível de oscilação ântero-posterior (X), látero-medial (Y) ou dorso-ventral (Z) em registros com IMU.

Do ponto de vista biomecânico, as diferenças que observamos entre indivíduos (machos e fêmeas) são compatíveis com variações interindividuais esperadas (conformação, aprumos, condicionamento, cadência/velocidade efetiva), além de fatores de instrumentação (posição/ângulo do sensor), e não com um efeito primário do sexo. Essa interpretação é coerente com a base teórica que relaciona as oscilações do cavalo às respostas no tronco/pelve do praticante, dependentes sobretudo do andamento e da cinemática do dorso, e não do sexo isoladamente (UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; GARNER; RIGBY, 2015; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

Como implicação prática e agenda de pesquisa, recomenda-se que estudos subsequentes: (i) registrem o estado reprodutivo (ciclo estral, gestação, castração, uso de fármacos) e estratifiquem por sexo quando o tamanho amostral permitir; (ii) controlem velocidade/cadência e superfície; (iii) incorporem métricas padronizadas (RMS, variabilidade, frequência dominante) e testes inferenciais; e (iv) considerem tamanho corporal/conformação como covariáveis, visando eventualmente propor faixas de referência por subgrupos (CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024). À luz do N reduzido e da ausência de estratificação formal neste piloto, os perfis das duas fêmeas devem ser interpretados como características individuais no contexto dos andamentos, sem atribuição causal ao sexo.

Além disso, outros aspectos devem ser observados quando em pesquisas posteriores, visando aprimorar os achados descritos. Dentre eles, destacamos que:

(v) variações não controladas de velocidade/cadência entre trechos e entre animais tendem a alterar a amplitude e a frequência dominante dos sinais (efeito mecânico esperado do aumento de energia do sistema), influenciando comparações interindividuais. Recomenda-se registrar ou controlar a velocidade/cadência e interpretar métricas espectrais sempre à luz do andamento executado (ASTI *et al.*, 2024; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

(vi) diferenças de piso (rigidez, irregularidade, atrito) e de ambiente (declive, vento) podem introduzir variação sistemática na oscilação do dorso e nos artefatos de alta frequência.

Sempre que possível, manter superfície constante e reportar suas características (CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

(vii) pequenos desvios de posição e orientação do módulo na sela (inclinação/rotação) geram offsets em X/Y e viés gravitacional em Z; fixação subótima aumenta ruído por microvibração. Por isso, recomenda-se montagem central e estável na sela, seguindo referências de instrumentação, e checagem de qualidade com traçados brutos antes do processamento (MCGIBBON *et al.*, 1998; MOORMAN *et al.*, 2012).

(viii) a remoção do componente constante (demean) e a filtragem passa-baixas a 10 Hz (Butterworth 4ª ordem, zero-phase) são adequadas para preservar conteúdo típico da marcha e reduzir ruído; a estimativa espectral de Welch (janela de Hann; 2,0 s; 50%) oferece compromisso robusto entre resolução e variância para séries curtas. Todavia, resultados podem variar com outras escolhas de corte/janela; recomenda-se reportar parâmetros e, em estudos futuros, explorar análises de sensibilidade (WELCH, 1967; MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

(ix) a análise por janelas fixas no tempo (2,0 s; 50%) é prática e consistente com estudos com IMUs em campo, mas não é sincronizada ao ciclo de passada. Quando o objetivo for comparar simetria/assimetria entre membros ou fases do ciclo, recomenda-se acrescentar segmentação por passada (detecção automática de eventos) para reduzir variabilidade intra-janela (ASTI *et al.*, 2024; CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

(x) diferenças individuais de conformação/aprumos, condicionamento e ajuste da sela podem modular a cinemática do dorso e, portanto, a leitura dos eixos, especialmente Y (látero-medial). Sempre que possível, registrar essas covariáveis para apoiar comparações interanimais (CRECAN; PEȘTEAN, 2023).

(xi) o presente delineamento piloto (n=5) é adequado para provas de conceito, mas limita inferência estatística e generalização. Estudos subsequentes devem ampliar amostra, incorporar descritores padronizados (RMS, variabilidade, frequência dominante) e aplicar testes inferenciais/intervalos de confiança para robustecer conclusões (MOORMAN *et al.*, 2012; CRECAN; PEȘTEAN, 2023; ASTI *et al.*, 2024).

(xii) a convergência entre achados e a biomecânica esperada dos andamentos (maiores amplitudes no trote; incremento em X/Y/Z) é um indício de validade de conteúdo. Para validade externa, recomenda-se, quando viável, validação cruzada com métodos de referência (ex.: sistemas ópticos, plataformas de força) em amostras futuras (MOORMAN *et al.*, 2012; GARNER; RIGBY, 2015; UCHIYAMA; OHTANI; OHTA, 2011; LIGHTSEY *et al.*, 2021).

E por fim, (xiii) a literatura enfatiza a importância de protocolos padronizados (trajeto, tempo em cada andamento, superfície, montagem do sensor), pois a reprodutibilidade depende da consistência operacional. Por isso, manter e reportar checklists operacionais facilitará a comparação entre estudos e serviços futuramente analisados (CRECAN; PEȘTEAN, 2023; MOORMAN *et al.*, 2012).

4 CONCLUSÃO

Este estudo piloto comprovou a viabilidade operacional de mensurar, em campo, oscilações tridimensionais da marcha de equinos utilizados na equoterapia por meio de um arranjo inercial de baixo custo, com qualidade de sinal, estabilidade e responsividade compatíveis com a biomecânica dos andamentos. O pipeline adotado (aquisição padronizada, pré-processamento e extração de descritores por eixo e andamento) mostrou-se suficiente para delinear assinaturas oscilatórias individuais por animal, oferecendo base objetiva para hipóteses de seleção direcionada do equino conforme metas terapêuticas (controle médio-lateral, transferência de peso/propulsão, acomodação postural).

Os achados sustentam a premissa de que a individualização da equoterapia pode ser informada por métricas quantitativas e reprodutíveis, aproximando a prática clínica de um modelo padronizado e orientado por dados. Trata-se de um avanço metodológico diretamente aplicável ao contexto do IFMG–Bambuú, com potencial de aprimorar a alocação de animais às necessidades funcionais dos praticantes e de apoiar decisões terapêuticas transparentes e auditáveis.

Reconhecemos, contudo, limites inerentes a um piloto: amostra reduzida, centro único, ausência de controle objetivo de velocidade/cadência e segmentação temporal não sincronizada à passada. Esses pontos não anulam a utilidade do método, mas definem o escopo de suas inferências e indicam prioridades para consolidação.

Como próximos passos, propomos: (i) ampliação amostral com estratificação por sexo, porte, conformação e treinamento; (ii) controle/registo de velocidade e cadência; (iii) detecção de eventos de passada e métricas de simetria; (iv) validação cruzada com sistemas de referência; e (v) correlação prospectiva entre descritores oscilatórios e desfechos do praticante (equilíbrio, estabilidade troncular, funcionalidade). Com esses aprimoramentos, o método aqui descrito pode evoluir de prova de conceito para ferramenta de suporte à decisão, robusta e transferível, para a individualização da equoterapia.

REFERÊNCIAS

AMERICAN HIPPO THERAPY ASSOCIATION (AHA). The History of Hippotherapy. Disponível:<http://www.americanhippotherapyassociation.org/hippotherapy/history-hippotherapy/>. Acessado em 05/05/2017.

ANDERSON, S., & MEINTS, K. Brief Report: The Effects of Equine-Assisted Activities on the Social Functioning in Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder. **Journal of autism and developmental disorders**, 46(10), 3344–3352.2016. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2869>.

ANGSUPAISAL M , VISSER B , ALKEMA A, *et al.* Therapist-Designed Adaptive Riding in Children With Cerebral Palsy: Results of a Feasibility Study. **Phys Ther.** 2015; 95(8):1151-1562.

ANTUNES, F.N.; PINHO, A.S. DO, KLEINER, A.F.R., *ET AL.* Different horse's paces during hippotherapy on spatio-temporal parameters of gait in children with bilateral spastic cerebral palsy: A feasibility study. **Res Dev Disabil.**v.59, p.65– 72, 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE EQUOTERAPIA (ANDE- Brasil) [Apostila]. Brasília: Curso Básico de Equoterapia. 2016.

ASTI, V.; ABLONDI, M.; MOLLE, A. *et al.* Inertial measurement unit technology for gait detection: a comprehensive evaluation of gait traits in two Italian horse breeds. **Frontiers in Veterinary Science**. V.11, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinaryscience/articles/10.3389/fvets.2024.1459553>.

BERTOTI DB. Effect of therapeutic horseback riding on posture in children with cerebral palsy. **Phys Ther** 1988; 68: 1505–12.

BRETAS, M.S. **Uso de acelerômetros para a avaliação do andamento de equinos marchadores**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. 2010. 46 p

BIAŁOSZEWSKID, KORABIEWSKAI, LEWANDOWSKA M, WASIAK K. The usefulness of hippotherapy in the rehabilitation of cerebrally palsied children. Pilot study. **Fizjoterapia Pol.** 2011;11(2):175–181.

CRECAN, C. M.; PEȘTEAN, C. P. Inertial sensor Technologies - their role in equine gait analysis, a review. **Sensors**, v. 23, n. 14, p. 6301, 2023.

FÁVERO, L.P.; BELFIORE, P.; SILVA, F.L. *et al.* **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2009. 544p

FINE, A. H. (Ed.). **Handbook on Animal-Assisted Therapy: Theoretical Foundations and Guidelines for Practice** (3rd ed.). Academic Press. 2010.

FREEMAN G. Hippotherapy: therapeutic horseback riding. **Clin Manag Phys Ther**; 4: 20–5. 1984

GARNER, B. A.; RIGBY, B. R. Human pelvis motions when walking and when riding a therapeutic horse. **Human Movement Science**, v. 39, p. 121-137, 2015

HOMES R, CLARK D, MORIDZADEH S, TOSOVIC D, VAN DEN HOORN W, TUCKER K, MIDWINTER M. Comparison of a Wearable Accelerometer/Gyroscopic, Portable Gait Analysis System (LEGSYS+™) to the Laboratory Standard of Static Motion Capture Camera Analysis. **Sensors**. 23(1):537. 2023. <https://doi.org/10.3390/s23010537>.

KIM, K. H. *et al.* Effects of hippotherapy on function, gait, and balance of children with cerebral palsy. **Journal of Physical Therapy Rehabilitation Science**, v. 9, n. 1, p. 55-62, 2020.

LEARD, JOHN S. ; CIRILLO, MELISSA A. ; KATSNELSON, EUGENE; KIMIATEK, DEENA A.; MILLER, TIM W.; TREBINCEVIC, KENAN; GARBALOSA, JUAN C. Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height. **Journal of Strength and Conditioning Research** 2007;21(4):1296-1299.

LEVINGER P, ZEINA D, TESHOME AK, SKINNER E, BEGG R, ABBOTT JH. A real time biofeedback using Kinect and Wii to improve gait for post-total knee replacement rehabilitation: a case study report. **Disabil Rehabil Assist Technol**. 2016;11(3):251-62.

LIGHTSEY P, LEE Y, KRENEK N, HUR P. Physical therapy treatments incorporating equine movement: a pilot study exploring interactions between children with cerebral palsy and the horse. **Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation**, v. 18, n. 133, 2021.

MCGEE MC, REESE NB. Immediate effects of a hippotherapy session on gait parameters in children with spastic cerebral palsy. **Pediatr Phys Ther** 2009; 21: 212–8.

MCGIBBON NH, ANDRADE CKK, WIDENER G, CINTAS HL. Effect of an equine-movement therapy program on gait, energy expenditure, and motor function in children with spastic cerebral palsy: a pilot study. **Dev Med Child Neurol**. 1998;40(11):754–762.

MILLER F. **Physical Therapy of Cerebral Palsy**. New York:Springer, 2007.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG. 2005. 300p.

MOORMAN, V.J.; REISER, R.F.; MCILWRAITH, W.; KAWCAK, C.E. Validation of an equine inertial measurement unit system in clinical practice. **American Journal of Veterinary Research**, v. 73, n. 8, p. 1160-1166, 2012.

MURPHY D, KAHN-D'ANGELO L, GLEASON J. The effect of hippotherapy on functional outcomes for children with disabilities: a pilot study. **Pediatr Phys Ther** 2008; 20: 264–70.

ORTEGA-CRUZ, A.; SÁNCHEZ-SILVERIO, V.; RIQUELME-AGUADO, V.; ALONSOPEREZ, J.L.; ABUÍN-PORRAS, V.; VILLAFANE, J.H. Effects of hippotherapy and horse-riding simulators on gross motor function in children with cerebral palsy: a systematic review. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 1, p. 283, 2025.

- PARK ES, RHA D-W, SHIN JS, KIM S, JUNG S. Effects of Hippotherapy on Gross Motor Function and Functional Performance of Children with Cerebral Palsy. **Yonsei Med J.** 2014; 55(6): 1736–1742.
- PEIA F.; VEIGA N.C.; GOMES A.P.; SANTOS B.N.D.; MARQUES N.M.S.; GLÓRIA I.P.D.S.; GOULARDINS J.B. Effects of hippotherapy on postural control in children with cerebral palsy: a systematic review. **Pediatric Physical Therapy**, v. 35, n. 2, p. 211-223, 2023. doi: 10.1097/PEP.0000000000000999.
- POTTER JT, EVANS JW, NOLT BH. Therapeutic horseback riding. **J Am Vet Med Assoc** 1994; 204: 131–3.
- RANA, M.; MITTAL, V. Horse gait analysis using wearable inertial sensors and machine learning. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: **Journal of Sports Engineering and Technology**, 2023.
- SAMPAIO, I.B.M. **Estatística aplicada a experimentação animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 1998. 221p.
- SATHLER, M. **Uso de acelerômetros para a avaliação do andamento de equinos marchadores**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 27 de maio de 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/EEFF-87JPFW>
- SHURTLEFF TL, STANDEVEN JW, ENGSBERG JR. Changes in dynamic trunk/head stability and functional reach after hippotherapy. **Arch Phys Med Rehabil** 2009; 90: 1185–95.
- SILVA, S. B. C. A.; Hruschka, A.C.C.B.; Moraes, A.G. *et al.* Effectiveness of hippotherapy and therapeutic horseback riding on postural balance in patients with neurological impairments: a systematic review and meta-analysis. **Fisioterapia em Movimento**, v. 34, e003458, 2021.
- SIWEK, M., PANASIUK, J., BARANOWSKI, L., KACZMAREK, W., PRUSACZYK, P., & BORYS, S. Identification of Differential Drive Robot Dynamic Model Parameters. **Materials**. 2023; 16(2), 683.
- SOUZA DCB, SANTOS MS, RIBEIRO NMS, MALDONADO IL. Inpatient trunk exercises after recent stroke: An updated metaanalysis of randomized controlled trials. **NeuroRehabilitation**. 2019;44(3):369–77.
- UCHIYAMA, H.; OHTANI, N.; OHTA, M. Three-dimensional analysis of horse and human gaits in therapeutic riding. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 135, n. 4, p. 271-276, 2011.
- WELCH, P. The use of Fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. **IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics**, v. 15, n. 2, p. 70–73, 1967.

WHALEN, C. N.; CASE-SMITH, J. Therapeutic effects of horseback riding therapy on gross motor function in children with cerebral palsy: a systematic review. **Physical & Occupational Therapy in Pediatrics**, v. 32, n. 3, p. 229-242, 2012.

YILDIRIM SIK B , CEKMECE C , DURSUN N,*ET AL.*. Is hyppootherapy beneficial for rehabilitation of children with cerebral palsy? **Klin J Med Sci**. 2012;32(3):601- 608

ZADNIKAR, M.; KASTRIN, A. Effects of hippotherapy and therapeutic horseback riding on postural control or balance in children with cerebral palsy: a meta-analysis. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 53, p. 684-691, 2011.

APÊNDICE A - Artigo Submetido à revista ForScience

03/12/2025, 18:28

E-mail de Instituto Federal de Minas Gerais - [ForScience] Agradecimento pela submissão



Simone Magela Moreira <simone.moreira@ifmg.edu.br>

[ForScience] Agradecimento pela submissão

Editorial Staff ForScience <forscience@ifmg.edu.br>

3 de dezembro de 2025 às 18:27

Para: "Dra. Simone Magela Moreira" <simone.moreira@ifmg.edu.br>

Dra. Simone Magela Moreira:

Obrigado por submeter o manuscrito, "OSCILAÇÕES DA MARCHA DE EQUINOS MENSURADAS POR ACELEROMETRIA: EVIDÊNCIAS PRELIMINARES PARA A INDIVIDUALIZAÇÃO DA EQUOTERAPIA NO IFMG BAMBUÍ," ao periódico ForScience. Com o sistema de gerenciamento de periódicos on-line que estamos usando, você poderá acompanhar seu progresso através do processo editorial efetuando login no site do periódico:

URL da Submissão: <https://forscience.ifmg.edu.br/index.php/forscience/authorDashboard/submission/1430>

Usuário: simonemoreira

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco. Agradecemos por considerar este periódico para publicar o seu trabalho.

Editorial Staff ForScience

At.te

Conselho de Política Editorial

Revista ForScience

Acesse: <http://www.forscience.ifmg.edu.br>

IFMG – *Campus* Bambuí 2025

ForScience