

INFLUÊNCIA DE FERRADURAS E SUPERFÍCIES NA ANÁLISE QUANTITATIVA DO TROTE EQUINO

LEILA REGINA OLIVEIRA DE BORBA¹; CAROLINA BICCA NOGUEZ MARTINS BITENCOURT²; EVERTON AUGUSTO KOWALSKI³; LETÍCIA DE JESUS⁴; BRUNO DE BORBA FERNANDES⁵; CHARLES FERREIRA MARTINS⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – leiborba@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – carolinamvet@outlook.com

³Universidade Federal de Pelotas– evertonzootecnia@outlook.com

⁴Universidade Federal de Pelotas– leticia.jesus.0301@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas– bruno.bb@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – martinscf68@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Desde o advento da domesticação equina, emergiu a imperiosa necessidade de mitigar o desgaste natural dos cascos por meio da aplicação de ferraduras confeccionadas a partir de uma gama de materiais (Wilson *et al.*, 1992; Kane *et al.*, 1996), os quais, por sua vez, apresentam distintas propriedades atritivas (Heidi *et al.*, 1996). As alterações biomecânicas decorrentes da interação com a superfície de locomoção podem ser detectadas por meio de avaliações cinemáticas detalhadas das articulações dos membros, em espécimes equinos (Naem *et al.*, 2020).

Neste escopo, a elucidação detalhada das dinâmicas associadas à locomoção equina, mediadas pela aplicação de ferraduras confeccionadas com materiais de distintas propriedades sobre superfícies heterogêneas, apresenta-se como um vetor crucial para otimizar a eficiência cinemática do deslocamento, além de proporcionar uma mitigação substancial nos índices de afecções ortopédicas, fomentando, de maneira concomitante, o bem-estar e a segurança dos animais em contextos atléticos. Em consonância com os imperativos supracitados, o presente estudo foi delineado com o propósito de quantificar a variabilidade dos parâmetros cinemáticos associados ao trote de equinos ferrageados com materiais heterogêneos em condições de superfícies artificiais distintas. O estudo busca entender como diferentes tipos de ferraduras e superfícies afetam a forma como os cavalos se movem.

2. METODOLOGIA

Foram avaliadas duas éguas híbridas, com massa corporal média de 401,5 kg \pm 16,26 e idade média de 9 \pm 1,0 anos, oriundas de uma propriedade de equinos localizada na região sul do estado do Rio Grande do Sul. Os animais foram mantidos em sistema extensivo em campo nativo durante 90 dias, sem ferrageamento. Os animais foram ferrados na seguinte ordem: ferradura de alumínio, plástico e aço e conduzidos aos campos de estudo, após período de aclimação, nas distintas superfícies para captura de dados cinemáticos. As superfícies experimentais (A e B) foram diferenciadas, em ordem decrescente de importância, de acordo com a dureza (A: 1853,95 kPa; B: 2691,44 kPa), profundidade (A: 5,24 cm; B: 1,62 cm), composição (A: alta quantidade de areia, B: alta quantidade de argila), aderência (A: 18,97 Nm; B: 29,70 Nm) e umidade (A: 20,50%; B: 22,10%).

Após, a colocação de 12 marcados reflexivos fixados com fita dupla face no lado esquerdo dos animais, nas regiões anatômicas referente às protuberâncias

ósseas nos membros torácico e pélvico, a análise cinemática foi realizada utilizando a técnica de videografia 2D. Posteriormente, os vídeos foram processados e analisados por meio do sistema de análise de movimento 2D Quintic Biomechanics® v33, onde as variáveis espaço-temporais e angulares foram testadas e quantificadas para os membros torácico e pélvico considerando a média de três vídeos. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste-T de Student (entre as superfícies), seguido por análise de variância ANOVA e teste Tukey (entre os materiais), na análise de comparação das variáveis cinemáticas, entre as diferentes superfícies, para cada tipo de ferradura na andadura a trote. Para todas as análises estatísticas, foi utilizado o software IBM SPSS Statistics® 20 e se considerou um nível um nível mínimo de confiança de 95% ($P < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a andadura a trote, a análise cinemática dos membros torácicos dos equinos revelou alterações significativas ($P < 0,05$). Na comparação entre as superfícies dentro de cada material (letras minúsculas sobrescritas na tabela 1), apenas os animais sem ferraduras (SF) apresentaram menor retração na superfície A ($21,70^\circ \pm 0,01$), o que está em concordância com Clayton *et al.* (2011), que sugerem maior adaptabilidade do casco descalço às variações do solo. Equinos ferrados não apresentaram diferença significativa entre as superfícies, corroborando Nankervis & Murray (2007), que associam o uso de ferraduras rígidas à restrição do movimento natural do casco.

Além disso, ao analisar os materiais dentro de cada superfície (letras maiúsculas sobrescritas na tabela 1), na superfície A, os cavalos sem ferraduras (SF) mostraram maior velocidade ($2,833 \text{ m/s} \pm 0,031$) e retração ($21,70^\circ \pm 0,01$) em comparação aos ferrados com aço ($2,347 \text{ m/s} \pm 0,116$ e $17,95^\circ \pm 1,15$, respectivamente), e essa superioridade biomecânica também foi observada em equinos com ferraduras de alumínio ($21,36^\circ \pm 0,77$), conforme sugerido por Yxklinten *et al.* (2004). Ferraduras de alumínio interferem menos na cinemática do casco, promovendo um movimento mais natural e eficiente (Nankervis & Murray, 2007). Na superfície B, o tempo de *breakover* (TB) foi significativamente menor nos cavalos sem ferraduras ($0,043\text{s} \pm 0,01$) e nos ferrados com alumínio ($0,041\text{s} \pm 0,001$) em relação aos que usavam aço ($0,041\text{s} \pm 0,001$). Esse achado, conforme Horan (2021), indica que materiais mais leves, como o alumínio, favorecem uma movimentação mais rápida e eficiente, enquanto o peso adicional do aço afeta negativamente a dinâmica do movimento. Este efeito se reflete na menor interferência no movimento natural do casco, enquanto o aço, sendo mais pesado, prolonga o tempo de *breakover* e afeta negativamente a eficiência biomecânica (Tabela 1).

Tabela 1. Média e desvio padrão das variáveis cinemáticas realizadas no membro torácico nas superfícies a e b depois do ferrageamento com materiais diferentes de ferraduras cavalos ($n=2$) durante o trote.

VC	SF		Alumínio		Plástico		Aço	
	SA	SB	SA	SB	SA	SB	SA	SB
V(m/s)	2,83 ^A $\pm 0,031$	4,226 $\pm 0,016$	2,571 $\pm 0,183$	4,241 $\pm 0,123$	2,526 $\pm 0,042$	3,535 $\pm 0,151$	2,347 ^B $\pm 0,116$	3,199 $\pm 0,541$
TA (s)	0,308 $\pm 0,011$	0,168 $\pm 0,001$	0,351 $\pm 0,024$	0,171 $\pm 0,006$	0,354 $\pm 0,004$	0,201 $\pm 0,013$	0,352 $\pm 0,016$	0,209 $\pm 0,041$
TS (s)	0,347 $\pm 0,029$	0,281 $\pm 0,006$	0,348 $\pm 0,015$	0,285 $\pm 0,006$	0,357 $\pm 0,018$	0,251 $\pm 0,010$	0,357 $\pm 0,004$	0,273 $\pm 0,026$

TB (s)	0,059 ±0,001	0,043 ^A ±0,001	0,063 ±0,016	0,041 ^A ±0,001	0,066 ±0,013	0,045 ±0,001	0,068 ±0,021	0,049 ^B ±0,001
AM (m)	0,115 ±0,012	0,132 ±0,021	0,13 ±0,007	0,150 ±0,014	0,13 ±0,005	0,152 ±0,012	0,143 ±0,009	0,152 ±0,016
P (°)	13,56 ±1,64	15,03 ±0,87	14,44 ±1,47	15,80 ±1,43	17,39 ±0,39	18,25 ±0,56	15,68 ±1,96	17,23 ±1,99
R (°)	21,70 ^{aA} ±0,01	22,86 ^b ±1,05	21,3 ^A ±0,77	21,88 ±1,22	18,83 ±0,57	17,64 ±2,39	17,95 ^B ±1,15	17,85 ±2,75

VC: variáveis cinemáticas; SF: animais sem ferradura (grupo controle); SA: superfície A; SB: superfície B; V: velocidade da passada; TA: tempo de apoio; TS: tempo de suspensão; TB: tempo de breakover; AM: altura máxima do casco em relação ao solo; P: protração máxima do membro; R: retração máxima do membro. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas entre as superfícies (SA e SB), dentro de cada tipo de ferradura, pelo teste T ($P < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) entre os animais sem ferradura e aqueles ferrados na mesma superfície. A ausência de letras revela que não houve diferenças significativas.

A análise cinemática dos membros pélvicos durante o trote em diferentes superfícies e materiais de ferraduras não revelou diferenças significativas entre as superfícies A e B ($P > 0,05$), corroborando estudos que indicam que o efeito do material da ferradura pode ser menos expressivo para algumas variáveis cinemáticas (Clayton *et al.*, 2011; Nankervis & Murray, 2007).

Na superfície B, observou-se um tempo de apoio reduzido em cavalos sem ferraduras (0,157s ± 0,006) e com alumínio (0,152s ± 0,003) em relação aos com ferraduras de aço (0,186s ± 0,018) e plástico (0,175s ± 0,002), sugerindo que materiais mais leves proporcionam uma fase de apoio mais curta. Isso reflete maior eficiência no movimento, pois o menor tempo de contato com o solo pode reduzir o impacto articular, conforme Horan (2021). Esses resultados são consistentes com Sprick (2018), que relatou tempos de apoio reduzidos para materiais de menor dureza, como poliuretano e cascos desferrados. A ferradura de aço, sendo mais pesada, prolonga o tempo de apoio e pode interferir na eficiência do movimento, conforme Pardoe *et al.* (2017). Ferraduras de alumínio, devido à sua leveza, oferecem uma biomecânica mais próxima da dos cavalos sem ferraduras, facilitando a transição do membro durante a fase de apoio e minimizando a resistência ao movimento (Yxklinten *et al.*, 2004; Benoit *et al.*, 2010) (Tabela 2).

tabela 2. média e desvio padrão das variáveis cinemáticas realizadas no membro pélvico nas superfícies a e b depois do ferrageamento com ferraduras de alumínio, plástico e aço em equinos (n=2) durante o trote.

VC	SF		Alumínio		Plástico		Aço	
	SA	SB	SA	SB	SA	SB	SA	SB
TA (s)	0,303 ±0,04	0,157 ^A ±0,006	0,351 ±0,024	0,152 ^A ±0,003	0,357 ±0,008	0,175 ^B ±0,002	0,311 ±0,013	0,186 ^B ±0,018
TS (s)	0,369 ±0,009	0,296 ±0,006	0,365 ±0,003	0,307 ±0,004	0,372 ±0,040	0,295 ±0,022	0,397 ±0,022	0,298 ±0,013
TB (s)	0,062 ±0,003	0,039 ±0,001	0,067 ±0,008	0,039 ±0,011	0,066 ±0,003	0,045 ±0,0007	0,063 ±0,003	0,047 ±0,013
AM (m)	0,105 ±0,007	0,143 ±0,019	0,095 ±0,002	0,138 ±0,012	0,102 ±0,012	0,135 ±0,021	0,085 ±0,002	0,127 ±0,009
P (°)	2,49 ±0,75	2,64 ±0,35	2,26 ±0,52	1,73 ±0,21	2,54 ±0,96	1,84 ±0,67	0,85 ±0,34	2,54 ±0,95
R (°)	29,27 ±0,16	29,78 ±0,19	27,91 ±0,96	29,32 ±1,88	28,12 ±1,36	24,62 ±4,62	27,25 ±0,78	29,01 ±2,12

VC: variáveis cinemáticas; SF: animais sem ferradura (grupo controle); SA: superfície A; SB: superfície B; V: velocidade da passada; TA: tempo de apoio; TS: tempo de suspensão; TB: tempo de breakover; AM: altura máxima do casco em relação ao solo; P: protração máxima do membro;

R: retração máxima do membro. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas entre as superfícies (SA e SB), dentro de cada tipo de ferradura, pelo teste T ($P < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) entre os animais sem ferradura e aqueles ferrados na mesma superfície. A ausência de letras revela que não houve diferenças significativas.

4. CONCLUSÕES

Este estudo revelou que os cavalos sem ferraduras mostraram maior adaptabilidade às variações da superfície, com retração e velocidade significativamente maiores na superfície A.

No entanto, cavalos ferrados, independentemente do material utilizado, não apresentaram diferenças significativas entre as superfícies, sugerindo que o uso de ferraduras rígidas pode restringir a adaptação natural do casco às variações das superfícies.

As superfícies desempenham um papel menos expressivo nos cavalos ferrados, mas afetam significativamente a biomecânica de cavalos sem ferraduras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLAYTON, H. M., WILLEMEN, M. A., & SCHAMHARDT, H. C. Effect of foot position on the outcome of impact with the ground at the trot: Experimental study with horses. **Equine Veterinary Journal**, 43(4), 488-493, 2011. DOI:10.1111/j.20423306.2011.00315.x
- HEIDT, R. S.; DORMER, S. G.; CAWLEY, P. W.; SCRANTON, P. E.; LOSSE, G. and HOWARD, M. Differences in frictional and torsional resistance in athlete shoe-turf interfaces. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 24, n. 6, p. 834-842, 1996.
- HORAN, K.; COBURN, J.; KOURDACHE, K.; DAY, P.; HARBORNE, D.; BRINKLEY, L.; CARNALL, H.; HAMMOND, L.; PETERSON, M.; MILLARD, S.; et al. Influence of speed, ground surface and shoeing condition on hoof breakover duration in galloping thoroughbred racehorses. **Animals**, v.11, p. 2588, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11092588>
- KANE, A. J.; STOVER, S. M.; GARDNER, I. A.; CASE, J. T.; JOHNSON, B. J.; READ, D. H. and ARDANS, A. A. Horseshoe characteristics as possible risk factors for fatal musculoskeletal injury of Thoroughbred racehorses. **American Journal Veterinary Research**, v. 57, n. 8, p. 1147-1152, 1996.
- NAEM, A. M.; LITZKE, L. F.; FAILING, K.; BURK, J. and RÖCKEN, M. Hoof kinetic patterns differ between sound and laminitic horses, **Equine Veterinary Journal**, v. 53, p. 503-509, 2020. <https://doi.org/10.1111/evj.13311>
- NANKERVIS, K. J., & MURRAY, R. C. The influence of shoe material on the kinetics and kinematics of the equine foot. **Equine and Comparative Exercise Physiology**, 4(2), 145-153, 2007. DOI: 10.1017/S1478061507825592
- SPRICK, Miriam Maria Flurina. **The influence of aluminium, steel and polyurethane shoeing systems and of the unshod hoof on the injury risk of a horse kick – An ex vivo experimental study**. 2018. Dissertation (Doktorwürde der Pferdechirurgie) - Departement für Pferdewissenschaften, Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.
- WILSON, P. D.; RATZLAFF, M. H.; GRANT, B. D.; HYDE, M. L. and BALCH, O. K. The effects of a compressible plastic shoe, the Seattle shoe on the kinematics of the strides of galloping Thoroughbred horses. **Journal Equine Veterinary Science**, v. 12, n. 6, p. 374-381, 1992.
- YXKLINTEN, A., ROEPSTORFF, L., & DREVEMO, S. The influence of surface and orthopaedic shoeing on the trotting pattern of horses. **Equine Veterinary Journal**, 36(8), 680-685, 2004. DOI: 10.2746/0425164044877394