

EFEITOS DE FERRADURAS E SUPERFÍCIES NA CINEMÁTICA DOS MEMBROS TORÁDICOS DE CAVALOS DA RAÇA CRIOULA DURANTE O TROTE

LEILA REGINA OLIVEIRA DE BORBA¹; CAROLINA BICCA NOGUEZ MARTINS BITENCOURT²; EVERTON AUGUSTO KOWALSKI³; HELENA ROSA DA SILVA⁴; BRUNO DE BORBA FERNANDES⁵; CHARLES FERREIRA MARTINS⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – leiborba@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – carolinabicc0@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas– evertonzootecnia@outlook.com

⁴Universidade Federal de Pelotas– vet.helenarosadasilva@gmail.com

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

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

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de ferraduras confeccionadas em diferentes materiais visou preservar a integridade funcional dos cascos, explorando propriedades tribológicas capazes de modificar a mecânica locomotora (HEIDT et al., 1996). Recentemente, a preocupação com a padronização das superfícies equestres em diversas modalidades esportivas foram motivadas pela necessidade de reduzir a incidência de lesões ortopédicas (HERHOLZ et al., 2023). Essas superfícies podem exercer efeitos benéficos para a eficiência locomotora e segurança, ou adversos, induzindo sobrecargas ao sistema musculoesquelético quando parâmetros como dureza, umidade, aderência, profundidade e composição não são conhecidos (ORLANDE et al., 2012). A interação entre casco, ferradura e superfície exerce influência direta sobre as forças de reação do solo e a cinemática articular, podendo alterar padrões locomotores e predispor a distúrbios ortopédicos (NAEM et al., 2020). Apesar do avanço no conhecimento sobre esses fatores de forma isolada, ainda são escassos os estudos que analisam simultaneamente diferentes materiais de ferradura em pisos contrastantes, especialmente em raças de aptidão funcional como o Cavalo Crioulo. Compreender essas interações é fundamental para otimizar o desempenho atlético, reduzir riscos locomotores e contribuir para a longevidade e o bem-estar de cavalos atletas. Diante desse cenário, o presente estudo avaliou os parâmetros cinemáticos bidimensionais do trote em equinos da raça Crioula, submetidos a diferentes tipos de ferraduras em superfícies distintas, visando elucidar efeitos críticos da interação entre casco, ferradura e superfície sobre a locomoção.

2. METODOLOGIA

Foram avaliadas seis éguas híbridas da raça Crioula, com massa corporal média de $407 \pm 23,16$ kg, idade entre 5 e 9 anos e altura na cernelha de $1,35 \pm 0,02$ m, provenientes de uma propriedade em Piratini, Rio Grande do Sul, Brasil. Os animais permaneceram 90 dias em sistema extensivo em campo nativo, sem ferraduras, assegurando condições homogêneas antes do início do experimento.

Cada animal foi submetido sequencialmente ao ferrageamento com três tipos de ferraduras (alumínio, plástico e aço), com período de aclimação entre trocas, e conduzido aos campos experimentais em duas superfícies contrastantes (areia e terra) para registro cinemático. As superfícies foram previamente caracterizadas quanto à dureza, profundidade, aderência, umidade e composição,

obtendo-se os seguintes parâmetros: Areia – 1.853,95 kPa; 5,24 cm; 18,97 Nm; 20,50%; alta fração arenosa e Terra – 2.691,44 kPa; 1,62 cm; 29,70 Nm; 22,10%; elevada fração argilosa respectivamente, confirmando maior deformabilidade da areia e maior rigidez da terra.

Para a análise cinemática, foram fixados 12 marcadores reflexivos bilaterais em pontos anatômicos dos membros torácicos, utilizando fita dupla face para garantir precisão de rastreamento. As filmagens foram realizadas com videografia bidimensional (2D) e processadas no software Quintic Biomechanics® v33, quantificando variáveis espaço-temporais e angulares. Para cada condição experimental, foram obtidos três registros por lado, sendo consideradas as médias entre os membros direito e esquerdo.

Os dados cinemáticos foram analisados por meio de modelos lineares mistos, considerando os fatores fixos ‘tipo de ferradura’, ‘tipo de superfície’ e a interação ferradura × superfície, e incluindo ‘animal’ como efeito aleatório para contemplar a estrutura de medidas repetidas. A adequação dos modelos foi avaliada por inspeção dos resíduos, com normalidade avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e Q-Q plots, e homocedasticidade por gráficos de resíduos versus valores ajustados. Todas as análises foram conduzidas no software R (v. 4.4.2), adotando nível de significância de 5% ($P < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A superfície de locomoção exerceu efeito significativo sobre as variáveis cinemáticas. Na terra, os cavalos apresentaram maior velocidade e comprimento de passada, acompanhados por reduções no tempo de passada, suspensão, apoio e breakover, indicando uma adaptação biomecânica voltada à maior eficiência locomotora em pisos rígidos e aderentes. Esses achados estão em concordância com estudos que associam superfícies firmes a menor dissipação de energia e maior economia de movimento (NORTHROP et al., 2020). Enquanto o tempo de deslizamento, a altura máxima do casco em relação ao solo e a retração máxima foram superiores, resultado associado à maior resistência ao cisalhamento e à estabilidade proporcionada pela rigidez e aderência desse tipo de superfície (CLAYTON & HOBBS, 2017). Por outro lado, a areia promoveu passadas mais lentas, com maior tempo de apoio e menor retração máxima, condição compatível com maior exigência muscular e tendínea em superfícies deformáveis (HERHOLZ et al., 2023).

O ferrageamento, independentemente do material, resultou em aumento do tempo de passada e redução da velocidade em comparação ao casco nu, confirmando que o acréscimo de massa distal e a modificação da rigidez do casco prolongam o ciclo locomotor (VAN HEEL et al., 2005). Entre os materiais, o poliuretano destacou-se por aumentar a altura máxima do casco e a protração, possivelmente devido às suas propriedades de absorção de impacto e elasticidade (STUTZ et al., 2018). Já o alumínio apresentou valores intermediários, em linha com a influência da densidade do material descrita por BARREY (2014). As diferenças mais pronunciadas foram observadas entre condições ferrado e não ferrado, sustentando a hipótese de que o simples ato de ferrar já promove alterações cinemáticas mensuráveis, possivelmente por modificar tanto as propriedades biomecânicas quanto a resposta proprioceptiva do membro distal (VAN HEEL et al., 2005).

A interação superfície × ferradura foi significativa para comprimento de passada, velocidade e protração máxima ($P < 0,05$). Na terra, cavalos sem ferradura

atingiram maior comprimento de passada e velocidade, sugerindo que o atrito natural do casco pode ser mais eficiente do que algumas ferraduras em superfícies firmes (ORLANDE et al., 2012). Na areia, a velocidade foi menor em todas as condições, mas o poliuretano favoreceu maior protração, indicando que materiais com maior capacidade de absorção de impacto adaptam-se melhor a superfícies deformáveis (SYMONS, GARCIA & STOVER, 2013).

Esse conjunto de evidências confirma que a adequação entre ferradura e superfície é determinante não apenas para o desempenho atlético, mas também para a longevidade e saúde musculoesquelética dos cavalos, como amplamente destacado por NORTHROP et al. (2020).

Tabela 1. Variáveis cinemáticas do membro torácico de cavalos da raça Crioula a trote, desferrados e ferrados com alumínio, poliuretano ou aço, em superfícies de areia e terra

	CP(m)	TP(s)	VP(m/s)	TD(s)	TA(s)	TS(s)	TB(s)	A(m)	P(°)	R(°)
Efeito das superfícies										
Areia	1,850	0,696 b	2,670 a	0,0000 a	0,338 b	0,350 b	0,065 b	0,152 a	14,50	20,20 a
Terra	1,910	0,512 a	3,770 b	0,0015 b	0,191 a	0,277 a	0,045 a	0,169 b	14,60	21,40 b
SEM	0,047	0,007	0,102	0,001	0,008	0,003	0,002	0,008	0,504	0,430
Efeito das ferraduras										
Sem ferradura	1,940	0,582 a	3,490 b	0,0000	0,249 a	0,310 ab	0,054	0,148 a	14,70 ab	21,40
Alumínio	1,890	0,606 b	3,230 ab	0,0003	0,264 ab	0,316 ab	0,056	0,162 ab	14,40 ab	20,60
Poliuretano	1,870	0,608 b	3,140 a	0,0006	0,273 b	0,308 a	0,050	0,161 ab	15,20 b	20,70
Aço	1,820	0,620 b	3,020 a	0,0022	0,272 ab	0,320 b	0,056	0,172 b	13,90 a	20,40
SEM	0,053	0,008	0,117	0,001	0,009	0,004	0,003	0,008	0,549	0,499
Efeito dos tratamentos										
Areia:Sem Ferradura	1,840 a	0,678	2,720 a	0,0000	0,324	0,346	0,069	0,139	14,00 a	20,50
Areia:Alumínio	1,820 a	0,700	2,610 a	0,0000	0,343	0,351	0,067	0,148	14,10 ab	20,20
Areia:Poliuretano	1,940 ab	0,698	2,790 a	0,0000	0,343	0,346	0,059	0,159	16,00 b	20,10
Areia:Aço	1,810 a	0,710	2,560 a	0,0000	0,343	0,357	0,064	0,162	14,00 ab	20,10
Terra:Sem Ferradura	2,050 b	0,487	4,250 c	0,0000	0,174	0,273	0,040	0,158	15,40 ab	22,30
Terra:Alumínio	1,960 ab	0,513	3,850 bc	0,0005	0,186	0,282	0,045	0,176	14,80 ab	21,10
Terra:Poliuretano	1,800 a	0,518	3,490 b	0,0013	0,203	0,269	0,046	0,163	14,50 ab	21,30
Terra:Aço	1,830 a	0,530	3,480 b	0,0044	0,200	0,283	0,047	0,181	13,70 a	20,80
SEM	0,062	0,010	0,143	0,009	0,011	0,005	0,004	0,009	0,629	0,615
Valor de p										
Superfície	0,079	<0,01	<0,01	0,019	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,873	0,003
Ferradura	0,093	<0,01	0,003	0,077	0,036	0,012	0,844	0,001	0,025	0,279
Pista:Ferradura	0,004	0,891	0,006	0,077	0,799	0,793	0,338	0,166	0,010	0,713

CP: comprimento da passada, TP: tempo da passada, VP: velocidade da passada, TD: tempo de deslizamento, TA: tempo de apoio, TS: tempo de suspensão, TB: tempo de breakover, A: altura máxima do casco em relação ao solo, P: protração máxima, R: retração máxima. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente (p<0,05).

4. CONCLUSÕES

Superfícies rígidas favoreceram passadas mais longas, rápidas e eficientes, enquanto a areia resultou em menor velocidade e maior tempo de apoio, refletindo maior demanda mecânica. A ausência de ferradura esteve associada a maior

comprimento e velocidade de passada na terra, enquanto o aço reduziu a velocidade e prolongou o *breakover*, o alumínio apresentou efeitos intermediários e o poliuretano destacou-se por favorecer maior protração e altura máxima do casco em superfícies arenosas. Esses resultados confirmam que a performance locomotora é modulada pela interação entre ferradura e superfície, reforçando a importância de escolhas técnicas adequadas para preservar a saúde musculoesquelética e otimizar o desempenho atlético de cavalos Crioulos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARREY, E. Biomechanics of locomotion in the athletic horse. In: HINCHCLIFF, K.W.; KANEPS, A.J.; GEOR, R.J. **Equine Sports Medicine and Surgery** (Second Edition), W.B. Saunders, 2014. Cap.10, p.189-211. doi.org/10.1016/B978-0-7020-4771-8.00010-7.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780702047718000107>)
- CLAYTON, H.M. and HOBBS, S.J. The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science. **Applied Animal Behaviour Science**, v.190, p.123–132, 2017. doi:10.1016/j.applanim.2017.02.011
- 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.
- HERHOLZ, C.; SIEGWART, J.; NUSSBAUM, M.; HANS-PETER STUDER, M. and BURGOS, S. Large temporal variations of functional properties of outdoor equestrian arena surfaces and a new concept of evaluating reactivity with light weight deflectometer settlement curves. **Journal of Equine Veterinary Science**, 129:104909, 2023. doi:10.1016/j.jevs.2023.104909.
- 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>
- NORTHROP, A.J.; MARTIN, J.H.; HOLT, D. and HOBBS, S.J. Operational temperatures of all-weather thoroughbred racetracks influence surface functional properties. **Biosystems Engineering**, v.193, p.37-45, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.003>
- ORLANDE, O.; HOBBS, S.J.; MARTIN, J.H.; OWEN, A.G.; NORTHROP, A.J. Measuring hoof slip of the leading limb on jump landing over two different equine arena surfaces. **Comparative Exercise Physiology**, v.8, p.33 – 39, 2012.
- STUTZ, J.C.; VIDONDO, B.; RAMSEYER, A.; MANINCHEDDA, U.E. and CRUZ, A.M. Effect of three types of horseshoes and unshod feet on selected non-podal forelimb kinematic variables measured by an extremity mounted inertial measurement unit sensor system in sound horses at the trot under conditions of treadmill and soft geotextile surface exercise. **Veterinary Rec Open.**; 5:e000237, 2018. doi:10.1136/vetreco-2017-000237
- SYMONS, J.E.; GARCIA, T.C. and STOVER, S.M. Distal hindlimb kinematics of galloping Thoroughbred racehorses on dirt and synthetic racetrack surfaces. **Equine Veterinary Journal**, v.46(2), p.227–232, 2013. doi:10.1111/evj.12113.
- VAN HEEL, M.C.; MOLEMAN, M.; BARNEVELD, A.; VAN WEEREN, P.R. and BACK, W. Changes in location of center of pressure and hoof-unrollment pattern in relation to an 8-week shoeing interval in the horse. **Equine Veterinary Journal**, v.37, p.536-540, 2005. doi:10.2746/042516405775314925