

EFEITOS IMEDIATOS DO FERRAGEAMENTO COM FERRADURAS DE AÇO NA BIOMECÂNICA LOCOMOTORA DE EQUINOS

EULER VARGAS HARDT¹; CAROLINA BICCA NOGUEZ MARTINS BITENCOURT²; LEILA REGINA OLIVEIRA DE BORBA³; BRUNO DE BORBA FERNANDES⁴; FERNANDO MADRUGA BARBOSA⁵; CHARLES FERREIRA MARTINS⁴

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPe) – euler.hardt@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas (UFPe) – carolinabicc0@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas (UFPe) - leiborba@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas– brunodeborba.bb@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas - fernandoferreiromb@hotmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas (UFPe) – martinscf68@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O casqueamento e o ferrageamento constituem práticas fundamentais no manejo de equinos, exercendo influência direta sobre a biomecânica locomotora, a integridade dos cascos e o desempenho atlético dos animais. O casqueamento consiste na remoção do excesso de tecido da parede do casco, seguida de sua modelagem, visando promover o equilíbrio funcional dos membros e a adequada conformação do casco (Clayton et al., 2015). Já o ferrageamento corresponde à aplicação de ferraduras, com o propósito de proteger os cascos contra desgastes excessivos e otimizar a performance locomotora (Chateau et al., 2002).

As ferraduras de aço destacam-se por sua elevada durabilidade e resistência ao desgaste, características que justificam sua ampla utilização em diferentes modalidades equestres (O'Grady & Poupard, 2003). Por serem mais pesadas em comparação a outros materiais, como alumínio ou poliuretano, oferecem maior estabilidade ao casco, sendo recomendadas em animais que desempenham atividades em terrenos rígidos ou abrasivos (Aoun et al., 2025; Gottlieb et al., 2025; Huguet et al., 2012). Entretanto, o peso adicional pode influenciar a mecânica do movimento, reduzindo a velocidade ou aumentando a demanda energética em disciplinas que exigem maior agilidade, constituindo um fator determinante na escolha do tipo de ferradura (Dutto et al., 2006).

A análise da resposta biomecânica de adaptação nas andaduras de passo e trote, realizada imediatamente após o processo de ferrageamento, é fundamental para compreender como os diferentes materiais de ferraduras interferem na dinâmica locomotora. A colocação da ferradura promove modificações imediatas no padrão de movimento, e a rapidez com que o cavalo consegue ajustar-se a essas alterações pode influenciar tanto o desempenho atlético quanto a suscetibilidade a lesões. O monitoramento dos parâmetros biomecânicos logo após o ferrageamento possibilita identificar mecanismos compensatórios, como variações no tempo de apoio, na amplitude de elevação do casco e nos ângulos de protração e retração dos membros. Essas informações são determinantes para a escolha e adaptação adequadas das ferraduras, favorecendo uma transição inicial mais eficiente e minimizando riscos associados à biomecânica locomotora (Hobbs et al., 2014). Nesse contexto, o presente estudo buscou investigar as variações nos parâmetros cinemáticos durante o passo e o trote, imediatamente após o casqueamento e a aplicação de ferraduras de aço.

2. METODOLOGIA

Foram utilizadas seis éguas da raça Crioula, com peso corporal médio de 407 kg \pm 23,16 e idade variando entre 5 e 9 anos. Os animais, oriundos de uma propriedade situada na região Sul do Rio Grande do Sul, permaneceram por 90

dias em sistema extensivo sobre campo nativo, sem casqueamento ou ferrageamento prévios. Antes da coleta de dados, todas as éguas passaram por um exame clínico específico do sistema locomotor para determinar o estado de saúde da amostra populacional. A avaliação foi realizada por um clínico experiente, que constatou grau 0 na escala AAEP (*American Association of Equine Practitioners*) referente à presença de claudicação.

Mantendo a ordem e padronização do procedimento conforme a técnica descrita por O'Grady & Poupard (2003). Inicialmente, todos os animais foram submetidos ao casqueamento, realizado por um único profissional experiente, a fim de padronizar o procedimento. Logo após, foi feita uma nova avaliação dinâmica da locomoção por meio da análise cinemática. Em seguida, procedeu-se ao ferrageamento com a ferradura de aço. Após, os equinos foram conduzidos ao passo e trote em uma superfície controlada, onde se efetuou a captura dos dados cinemáticos. Para a marcação anatômica, foram fixados doze marcadores reflexivos no lado esquerdo de cada animal, utilizando fita dupla face, aplicados por operador treinado para garantir precisão do rastreamento.

O ambiente experimental foi preparado dentro de um redondel, consistindo em uma pista de areia fofa, delimitada por cones e com dimensões de 10 m de comprimento por 4 m de largura. A análise cinemática foi conduzida através de videografia bidimensional (2D), obtida por uma câmera de alta velocidade (240 fps; resolução 1280 × 550 pixels), instalada horizontalmente em um tripé fixo a 1 m de altura, localizada a 10 m do ponto central da pista. Uma luminária LED de 72 W foi posicionada acima da câmera para garantir a refletividade adequada dos marcadores. Para calibração espacial do sistema, uma régua de 1 m foi colocada em posição horizontal e vertical no centro da área de estudo. De cada animal foram obtidos três vídeos em câmera lenta, com duração de 10 segundos, em cada condição experimental (após o casqueamento e o ferrageamento com a ferradura de aço).

Posteriormente, as gravações foram processadas e analisadas no software Quintic Biomechanics® v33, específico para análise de movimento em 2D. As variáveis investigadas incluíram: duração de apoio (s), duração da fase de suspensão (s), tempo de breakover (s), altura máxima do casco em relação ao solo (m), ângulo de protração (°) e ângulo de retração (°) dos membros. Todos os parâmetros foram avaliados nos membros pélvicos, com base na média dos três vídeos obtidos para o lado esquerdo de cada indivíduo.

A distribuição dos dados foi verificada pelo teste de *Kolmogorov-Smirnov*, e, para a comparação das variáveis cinemáticas (variáveis dependentes) entre as condições sem ferradura e após o ferrageamento imediato com ferraduras de aço (variável independente), empregou-se o teste não paramétrico de *Friedman*. O nível de significância estabelecido para todas as análises foi de 5% ($P < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das variáveis cinemáticas dos membros pélvicos dos cavalos, após o casqueamento e o ferrageamento com ferraduras de aço, estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Médias e desvios padrão das variáveis cinemáticas dos membros pélvicos de cavalos (n=6) após o casqueamento e ferrageamento com ferradura de aço, durante o passo e o trote.

VC	CASQUEADOS (MO)		AÇO (M1)	
	P	T	P	T

DA (s)	0,74 ^a ± 0,11	0,32 ^a ± 0,04	0,79 ^a ± 0,74	0,33 ^a ± 0,01
DS (s)	0,35 ^a ± 0,02	0,34 ^a ± 0,02	0,41 ^b ± 0,06	0,38 ^a ± 0,03
TB (s)	0,14 ^a ± 0,10	0,06 ^a ± 0,01	0,10 ^a ± 0,02	0,06 ^a ± 0,01
AM (m)	0,12 ^a ± 0,03	0,13 ^a ± 0,02	0,14 ^a ± 0,04	0,11 ^a ± 0,01
P (°)	5,43 ^a ± 3,23	3,25 ^a ± 1,81	6,25 ^a ± 3,12	3,05 ^a ± 1,75
R (°)	33,11 ^a ± 0,72	27,74 ^a ± 0,81	31,65 ^a ± 3,27	25,96 ^b ± 1,36

VC: Variáveis Cinemáticas; SF: Animais sem ferradura; MT: Membro Torácico; M₀: Coletas realizadas imediatamente após o casqueamento; M₁: Coletas realizadas imediatamente após o ferrageamento dos cavalos; P: andadura a passo; T: andadura a trote; DA: Duração de Apoio; DS: Duração de suspensão; TB: Tempo de *Breakover*; AM: Altura máxima do casco/solo; P: Protração do membro; R: Retração do membro. Letras minúsculas diferentes em mesma linha apresentam diferenças estatísticas pelo teste de *Friedmann* ($P < 0,05$) entre os sem ferraduras e aqueles submetidos ao ferrageamento.

A análise cinemática dos membros pélvicos demonstrou que o ferrageamento com ferraduras de aço promoveu alterações discretas no padrão locomotor dos equinos, observadas imediatamente após sua aplicação alterações discretas e pontuais no padrão locomotor dos equinos, imediatamente após sua aplicação. A *duração do apoio* (DA) não apresentou diferenças significativas entre as condições experimentais, tanto no passo quanto no trote, evidenciando que o acréscimo do peso distal proporcionado, não comprometeu a sustentação dos membros. Esse achado indica rápida adaptação funcional, com manutenção do tempo de contato ao solo, parâmetro essencial para a preservação da estabilidade locomotora. (Aoun et al., 2025; Stutz et al., 2018).

Por outro lado, aumento significativo da fase de *suspensão* (DS) durante o trote em animais submetidos ao ferrageamento, o que sugere que a ferradura de aço pode favorecer uma fase aérea mais longa, possivelmente em decorrência do aumento da tração e da estabilidade oferecidas pelo material. Esse achado é consistente com estudos que demonstram que modificações distais podem repercutir em ajustes sutis no tempo de voo e no padrão de deslocamento dos membros (Aoun et al., 2025; Dutto et al., 2006; Takahashi et al., 2022).

O *tempo de breakover* (TB) e a *altura máxima do casco em relação ao solo* (AM) não diferiram significativamente entre as condições avaliadas, sugerindo que o ferrageamento não interferiu de forma expressiva na transição entre as fases de apoio e suspensão nem na amplitude vertical do movimento. Da mesma forma, a *protração* (P) manteve-se estável após o ferrageamento, indicando que o alcance anterior dos membros foi preservado, sem indícios de limitação no arco de movimento.

Entretanto, a *retração* (R) dos membros pélvicos no trote apresentou redução significativa nos animais submetidos ao ferrageamento, o que pode representar um ajuste compensatório imediato ao peso adicional da ferradura. Essa diminuição da extensão posterior pode estar associada à redistribuição das forças distais e à necessidade de estabilização da mecânica articular, repercutindo em um menor ângulo de retração (Clayton & Hobbs, 2017). Alterações dessa natureza, embora sutis, são relevantes, pois podem repercutir a longo prazo na eficiência mecânica e aumentar o risco de sobrecarga musculoesquelética, sobretudo em animais submetidos a esforços atléticos repetitivos (Huguet et al., 2012; Panagiotopoulou et al., 2016).

4. CONCLUSÕES

O ferrageamento com aço promoveu rápidas adaptações sem comprometer a estabilidade locomotora, preservando a duração do apoio e apresentando apenas

ajustes compensatórios imediatos, como aumento da fase de suspensão e leve redução da retração no trote. O enfoque nos efeitos imediatos evidencia a eficiência adaptativa dos equinos e fornece subsídios práticos para profissionais da área, ressaltando a importância do monitoramento inicial e contínuo para prevenir repercussões cumulativas, uma vez que tais ajustes podem predispor a sobrecargas em estruturas lombossacras e articulações pélvicas, impactando modalidades que exigem elevada propulsão ou esforços prolongados, como corrida, salto, rédeas e cavalgadas extensivas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOUN, Rita; TAKAWIRA, Catherine; LOPEZ, Mandi J. **Horseshoe effects on equine gait—A systematic scoping review. *Veterinary Surgery***. John Wiley and Sons Inc, , 1 jan. 2025. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/vsu.14162>>. Acesso em: 8 abr. 2025
- CHATEAU, Henry *et al.* Three-dimensional kinematics of the equine interphalangeal joints: Articular impact of asymmetric bearing. ***Veterinary Research***, v. 33, n. 4, p. 371–382, 2002.
- CLAYTON, H. M.; STUBBS, N. C.; LAVAGNINO, M. Stance phase kinematics and kinetics of horses trotting over poles. ***Equine Veterinary Journal***, v. 47, n. 1, p. 113–118, 1 jan. 2015.
- CLAYTON, Hilary M.; HOBBS, Sarah Jane. The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science. ***Applied Animal Behaviour Science***, v. 190, p. 123–132, 1 maio 2017.
- DUTTO, Darren J. *et al.* Joint work and power for both the forelimb and hindlimb during trotting in the horse. ***Journal of Experimental Biology***, v. 209, n. 20, p. 3990–3999, 7 out. 2006.
- GOTTLEIB, Katherine *et al.* Comparison of Gait Characteristics for Horses Without Shoes, with Steel Shoes, and with Aluminum Shoes. ***Animals***, v. 15, n. 16, p. 2376, 13 ago. 2025.
- HOBBS, Sarah Jane; RICHARDS, Jim; CLAYTON, Hilary M. The effect of centre of mass location on sagittal plane moments around the centre of mass in trotting horses. ***Journal of Biomechanics***, v. 47, n. 6, p. 1278–1286, 11 abr. 2014.
- HUGUET, Elodie E.; DUBERSTEIN, Kylee J. Effects of Steel and Aluminum Shoes on Forelimb Kinematics in Stock-Type Horses as Measured at the Trot. ***Journal of Equine Veterinary Science***, v. 32, n. 5, p. 262–267, maio 2012.
- O'GRADY, Stephen E.; POUPARD, Derek A. **Proper physiologic horseshoeing. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice***, ago. 2003. Disponível em: <[https://www.vetequine.theclinics.com/article/S0749-0739\(03\)00020-8/abstract](https://www.vetequine.theclinics.com/article/S0749-0739(03)00020-8/abstract)>. Acesso em: 13 jan. 2025
- PANAGIOTOPOULOU, Olga *et al.* A preliminary case study of the effect of shoe-wearing on the biomechanics of a horse's foot. ***PeerJ***, v. 2016, n. 7, 2016.
- STUTZ, Joëlle Christina *et al.* 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 Record Open***, v. 5, n. 1, 18 mar. 2018.
- TAKAHASHI, Yuji; YOSHIHARA, Eiru; TAKAHASHI, Toshiyuki. Comparison of Heel Movement Between two Different Glue-on Type Shoes and Nailed Shoes in Thoroughbreds. ***Journal of Equine Veterinary Science***, v. 113, p. 103–939, jun. 2022.