



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Modelagem Topográfica de Superfícies Equestres: Uma Perspectiva Inovadora com Aerolevantamento Fotogramétrico

Éverton Augusto Kowalski¹, Alexandre Felipe Bruch², Cláudia Liane Rodrigues de Lima³, Gino Luigi Bonilla Lemos Pizzi⁴, Leila Regina Oliveira de Borba⁵, Priscila Fonseca Ribeiro⁶, Klaus Machado Theisen⁷, Karina Retzlaff Camargo⁸, Roberta Blake⁹, Carolina Bicca Noguez Martins Bitencourt¹⁰, Charles Ferreira Martins¹¹

¹Universidade Federal de Pelotas, e-mail: evertonequinocultura@gmail.com e orcid <https://orcid.org/0000-0002-5282-7961>

²Universidade Federal de Pelotas, e-mail: afbruch@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1734-6799> ³Universidade Federal de Pelotas, e-mail: clrlima@yahoo.com.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9105-6338> ⁴Universidade Federal de Pelotas, e-mail: gino_lemos@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7323-7576> ⁵Universidade Federal de Pelotas, e-mail: leiborba@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2950-8086> ⁶Universidade Federal de Pelotas, e-mail: priscilafri@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3496-7175> ⁷Universidade Federal de Pelotas, theisenkm@yahoo.com.br ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3689-7920> ⁸Universidade Federal do Rio Grande, e-mail: karinacamargo@furg.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6427-329X> ⁹Writtle University College, e-mail: roberta.godoy@writtle.ac.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0037-5286> ¹⁰Universidade Federal de Pelotas, carolinabicc0@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8033-8350> ¹¹Universidade Federal de Pelotas, e-mail: martinscf68@yahoo.com.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-7961>

Artigo recebido em 30/09/2024 e aceito em 18/03/2025

RESUMO

A avaliação topográfica de superfícies equestres é essencial para controlar o comportamento mecânico superficial e seus efeitos biomecânicos nos equinos. O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) surge como uma alternativa precisa aos métodos topográficos convencionais. Este estudo teve como objetivo aplicação do método de aerolevantamento fotogramétrico para modelagem topográfica de superfícies equestres. Assim, foi realizado o levantamento com VANTs em cinco superfícies equestres (I, II, III, IV e V) com comportamento mecânico mensurado através da dureza, umidade, aderência, profundidade, profundidade máxima de perfuração (PMP) e composição. Os dados foram analisados quanto à normalidade por Shapiro-Wilk, homogeneidade de variância pelo teste F para duas amostras e Barlett, com médias comparados pelo teste de Tukey e teste T para dados pareados ($P < 0.05$). Para quantificar o efeito da topografia sobre a superfície foi utilizado Análise de Componentes Principais. Os resultados demonstram existir diferenças ($P < 0.05$) entre a declividade e morfologia nos sentidos de medição longitudinal e transversal entre as superfícies equestres e também entre os sentidos de medição. As diferenças observadas são resultantes dos processos construtivos, características geográficas e composição do solo. No entanto, a superfície I apresenta índices funcionais de declividade e morfologia para um ambiente não construído, enquanto a superfície V demonstra parâmetros efetivos de declividade para superfícies com base construída. A topografia foi responsável por 17,86% da variação total encontrada. Para estudos futuros, recomenda-se investigação dos efeitos da carga animal, com foco na interação cavalo-casco-superfície utilizando o método de aerolevantamento fotogramétrico.

Palavras-Chave: Topografia; Declividade; Uniformidade; VANTs.

Topographic Modeling of Equestrian Surfaces: An Innovative Perspective with Photogrammetric Aerial Survey

ABSTRACT

The topographic assessment of equestrian surfaces is essential for controlling the surface mechanical behavior and its biomechanical effects on horses. The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) emerges as a precise alternative to conventional topographic methods. This study aimed to apply the photogrammetric aerial survey method for the topographic modeling of equestrian surfaces. Thus, a survey was conducted using UAVs on five equestrian surfaces (I, II, III, IV, and V) with mechanical behavior measured through hardness, moisture, grip, depth, maximum drilling

depth (MDP), and composition. The data were analyzed for normality using the Shapiro-Wilk test, homogeneity of variance using the F-test for two samples and Bartlett's test, with means compared by the Tukey test and paired T-test ($P < 0.05$). To quantify the effect of topography on the surface, Principal Component Analysis was used. The results demonstrate that there are differences ($P < 0.05$) in slope and morphology in the longitudinal and transverse measurement directions among the equestrian surfaces, as well as between the measurement directions. The observed differences result from construction processes, geographical characteristics, and soil composition. However, surface I exhibits functional slope and morphology indices for a non-constructed environment, while surface V demonstrates effective slope parameters for surfaces with a constructed base. Topography accounted for 17.86% of the total variation found. For future studies, it is recommended to investigate the effects of animal load, focusing on the horse-hoof-surface interaction using the photogrammetric aerial survey method

Keywords: Topography; Slope; Uniformity; UAVs.

Introdução

As superfícies equestres exercem efeitos diretos sobre a biomecânica equina, impactando a performance, segurança e bem-estar dos animais e competidores (Blanco et al., 2023; Graydon et al., 2023; Hobbs et al., 2014; Horan et al., 2021; Pizzi et al., 2024; Schmitt et al., 2023; Souza et al., 2024). O conjunto de características que moldam o comportamento mecânico superficial incluem propriedades como dureza, umidade, aderência, profundidade, composição e manutenção corretiva (Bridge et al., 2022; Orlande et al., 2012; Symons et al., 2013; Bailey, 2022; Hobbs et al., 2014; Peterson & McIlwraith, 2008; Peterson et al., 2008), bem como, a topografia do sistema construtivo aplicado, a qual desempenha papel vital na capacidade de drenagem (Herholz et al., 2023; Hobbs et al., 2014; Northrop et al., 2022; Wheeler & Zajackowski, 2006).

O comportamento mecânico das superfícies equestres é fruto do complexo sistema de engenharia (Van Der Heijden et al., 2018) afetado por fatores intrínsecos e extrínsecos através de interações multifatoriais entre as variáveis (Hobbs et al. 2014). Por isso é importante analisar periodicamente essas propriedades, visto as implicações para o sistema musculoesqueléticos dos equinos, sendo a topografia primordial para garantia da resposta superficial adequada. É crucial destacar a descrição inédita de características topográficas das superfícies utilizadas por equinos da raça Crioula para treinamento e competição, raça a qual desempenha função vital para o crescimento dos esportes equestres em toda cadeia produtiva (ABCCC, 2016; Cucco et al., 2016; Garcia et al., 2020; Müller et al., 2020; Pimentel et al., 2018; Pizzi et al., 2024; Silva & Farias, 2017).

Os métodos para mensurações topográficas destes ambientes correspondem aos tradicionais utilizadas na construção civil, agricultura e meteorologia como teodolito, estação total, receptores GPS e níveis laser e óptico (Busnello et al., 2016; Lienhart, 2017; Scherer &

Lerma, 2009). No entanto, o advento da tecnologia trouxe novos dispositivos com alta eficácia e precisão milimétrica, como receptores GNSS multi constelação (Herholz et al., 2023) e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) (Bruch et al., 2019; Silva et al., 2018). Nesse contexto, acreditamos que a utilização de VANTs pode ser aplicada durante os processos construtivos de superfícies equestres para a mensuração e modelagem topográfica, permitindo múltiplas aferições em curto espaço temporal. Embora essas tecnologias sejam amplamente utilizadas em diversos setores, os avanços ainda não foram investigados cientificamente em superfícies equestres.

A utilização de VANTs para medição de características como declividade e rugosidade topográfica podem caracterizar avanços significativos para o meio equestre, permitindo ampliar e simplificar a metodologia utilizada, diminuição do tempo de coleta, maior acurácia, além de gerar resultados efetivos sobre a uniformidade superficial, a qual, impacta diretamente os equinos (Herholz et al., 2023; Northrop et al., 2016). Como hipótese, sugere-se a possibilidade de utilizar VANTs em larga escala para cadeia equestre. Em geral, a topografia de superfícies equestres carece de investigações científicas, pois são escassos os trabalhos voltados a essa característica, assim como, os parâmetros ideais são dependentes das modalidades esportivas equestres e condições específicas de cada local (Herholz et al., 2023; Hobbs et al., 2014; Northrop et al., 2022).

Diante dessa demanda, este estudo teve como objetivo utilizar o método de aerolevantamento fotogramétrico para modelagem topográfica de superfícies equestres. Além disso, propomos um modelo aplicado que visa otimizar e intensificar o sistema produtivo, trazendo uma abordagem inovadora para o planejamento e a manutenção dessas instalações. Com essa solução, buscamos oferecer uma maneira eficiente e

moderna para gerenciar e melhorar o desempenho de superfícies equestres.

Material e métodos

Área do estudo

O presente estudo foi realizado na Universidade Federal de Pelotas e em Centros de Treinamento Equestre nos municípios de Capão do

Leão, Pelotas e Jaguarão, no Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1), no período de 2022 a 2023. As coordenadas projetadas UTM, no fuso 22, das superfícies experimentais são:

Superfície I: 386.767 mE e 6.493.550 mN

Superfície II: 364.346 mE e 6.490.447 mN

Superfície III: 340.707 mE e 6.474.801 mN

Superfície IV: 269.303 mE e 6.404.596 mN

Superfície V: 277.494 mE e 6.396.953 mN

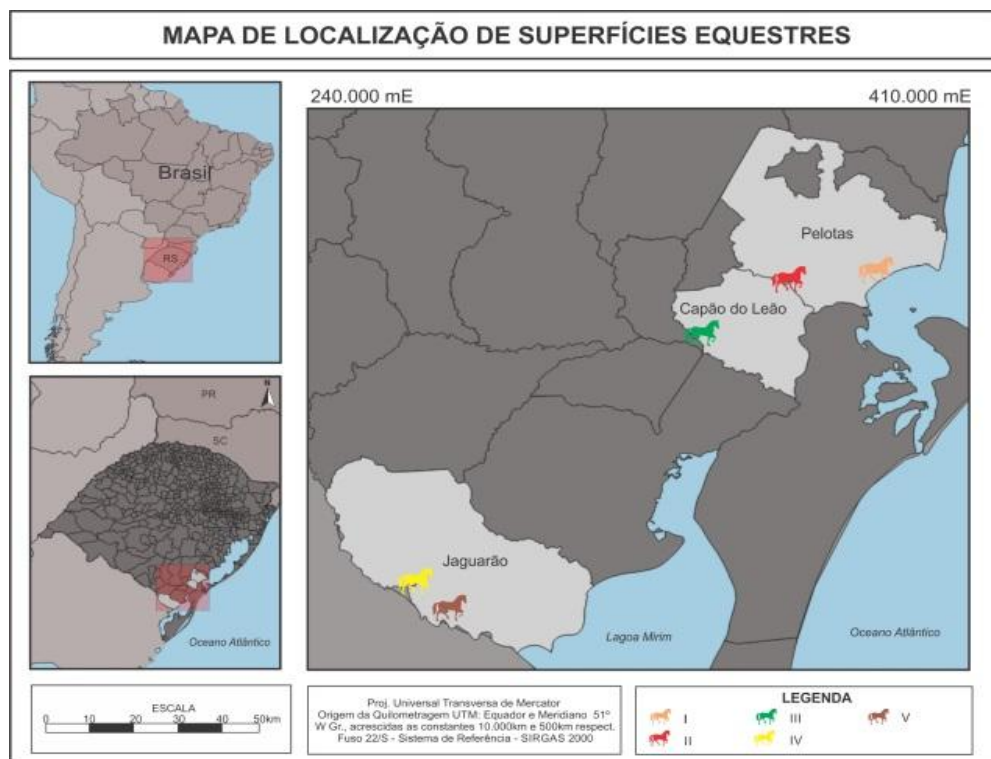


Figura 1 - Mapa de localização com as superfícies equestres experimentais.

Descrição das áreas experimentais

Os levantamentos topográficos executados com aerolevantamento fotogramétricos foram realizados em cinco superfícies equestres experimentais (I, II, III, IV e V) utilizadas para treinamento ou competição de equinos da raça Crioula, dispostas em sistema sem cobertura, com presença de base estrutural construída com material argiloso e compactado, distintos comportamentos mecânicos e composição superficial baseada em areia, silte e argila (Tabela 1). Na superfície V não foi realizada manutenção corretiva antes das mensurações para contemplar os efeitos da falta de correção. A definição das superfícies equestres

ocorreu visando explorar o espectro mecânico superficial imposto a equinos atletas em treinamento ou competição.

Análise da composição superficial

A coleta das superfícies (Figura 2) para análise laboratorial de amostras deformadas foi realizada de acordo com a norma DNER-PRO 003/94 (1994). O material foi coletado em uma área de 0,5 m² em cada ponto, por meio de trado mecânico e armazenado em sacos plásticos.

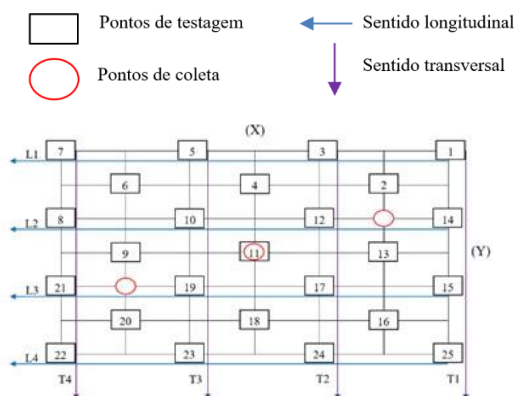
Análise granulométrica

Figura 2 - Pontos de teste das superfícies equestres com sentidos de análises da declividade (Longitudinal e Transversal).

A análise granulométrica foi realizada pelo método do hidrômetro de Bouyoucos (1962) para identificar a composição das superfícies em termos de diâmetro médio equivalente das partículas (ϕ): areia ($0,05 \text{ mm} < \phi \leq 2 \text{ mm}$), silte ($0,002 \text{ mm} < \phi \leq 0,05 \text{ mm}$ e argila ($\phi \leq 0,002 \text{ mm}$) (Teixeira et al., 2017). Os resultados foram obtidos através da diferença de massa inicial e final para areia (%), leitura de densidade e temperatura para argila (%) e silte (%) pela diferença entre areia e argila ($100 - \text{areia} - \text{argila}$).

Tabela 1 - Descrição das características construtivas, manutenção corretiva, comportamento mecânico e composição das superfícies experimentais.

Descrição	Superfícies				
	I	II	III	IV	V
Layout ¹	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto	Aberto
Base estrutural ²	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Manutenção corretiva ³	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Irrigação ⁴	Não	Não	Não	Não	Não
Comprimento ⁵	100	95	75	100	100
Largura ⁶	50	30	27	50	50
Área total de análise (m ²)	5.000	2.850	2.025	5.000	5.000
Volume de superfície estimado (m ³)	364	150,76	73,91	364	167,5
Dureza (kgf/cm ²)	19,45	20,48	16,94	21,53	11,60
Umidade (%)	12,78	16,30	6,80	12,78	5,34
Aderência (Nm)	19,63	16,43	17,96	19,63	17,33
Profundidade (cm)	7,28	5,29	3,65	7,28	3,35
Profundidade máxima de perfuração (cm)	16,38	14,84	4,11	10,10	4,26
Areia (%)	88,10	88,71	90,37	77,09	66,25
Silte (%)	5,02	6,96	5,31	16,07	31,35
Argila (%)	6,88	4,33	4,32	6,84	2,40

¹Layout: “Aberto” significa sem cobertura da superfície.

²Base estrutural: Corresponde a uma estrutura de solo com alto teor de argila compactada para resistir ao impacto do casco do equino e intempéries climáticas.

³Manutenção: Realizada com rastelo mecanizado ou grade de arrasto.

⁴Corresponde ao ato de aumentar a umidade da superfície, assim, nenhuma superfície foi irrigada anteriormente a análise.

^{5,6}Comprimento (m) e largura (m) correspondem à área de análise dos 25 pontos amostrais.

Propriedades superficiais analisadas

A determinação dos pontos de testes das propriedades superficiais e, coleta de amostras ocorreu conforme metodologia adaptada de Northrop et al. (2016). Para isto, a área total das superfícies foi dividida em 36 quadrantes contemplando 25 pontos (1 m² cada ponto) para

testes das superfícies e três pontos de coleta para mensuração da composição (Tabela 1). Todos os testes (Dureza, Umidade, Aderência, Profundidade e Profundidade Máxima de Perfuração) foram realizados com três repetições, espaçados por 0,20 m. As análises foram efetuadas com ausência de pluviosidade em sete dias anteriores as medições.

Foi criado um plano topográfico local NBR 13.133 (1994) de coordenadas x e y em cada superfície analisada. O plano topográfico tem início no ponto 1 de análise (Figura 2) para os eixos x (0) e y (0) (Pseudo 0). Tal método visa a demonstração espacial de acordo com o modelo de testagem utilizado.

Dureza e Profundidade máxima de perfuração (PMP)

A dureza foi medida utilizando um compactador digital (FALKER – Modelo PenetroLOG - PLG1020) com capacidade de romper a estrutura superficial sob velocidade constante (30 - 50 mm/s) até profundidade máxima de perfuração (0,20 m) com resolução de 0,01 m. A PMP corresponde a distância máxima de perfuração em relação a superfície, sendo apresentada em cm.

Aderência da superfície

A aderência foi obtida por meio de um dispositivo de tração funcional adaptado (Peham & Schramel, 2017), medindo o pico de torque (Nm) na rotação de 90° de um corpo de prova em ferradura (JK Plus Nº 2) aplicando uma força de 800 Newtons (80 kg) na superfície e utilizando um torquímetro digital (Lianai ES3-060 N).

Umidade volumétrica

A umidade foi medida com auxílio de um sensor TDR (*Time-Domain Reflectometer*) (Field Scout – Modelo TDR-100; *Spectrum Technologies*), realizando medições em triplicata na profundidade de 0 cm a 7,6 cm e os resultados expressos em porcentagem. A reflectometria no domínio do tempo (TDR) é utilizada para avaliar o conteúdo volumétrico de água (%) (Blanco et al., 2021).

Profundidade da superfície

A profundidade da superfície (cm) foi medida com auxílio de uma haste métrica (1 mm de diâmetro), capaz de romper a camada superficial até o limite da fundação (base estrutural) (Northrop et al., 2016).

Análise topográfica

Os levantamentos fotogramétricos e geodésicos ocorreram conforme metodologia

adaptada de Bruch et al. (2019). Assim, para correção planialtimétrica das posições geodésicas das imagens de cada aerolevantamento, foram utilizados entre 9 e 12 pontos de controle rastreados em campo, através de um par de receptores do *Global Navigation Satellite System* - GNSS com recepção de correções em tempo real (*Real Time Kinematic*-RTK).

Os receptores utilizados são da marca Emlid, modelo Reach RS2, banda L1/L2 e multi-constelação (GPS, GLONASS, BeiDou e Galileo). Após o levantamento de campo, o registro de posicionamento da base foi compactado e enviado para pós processamento, objetivando a correção dos erros através do sistema de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O sistema de referência geodésico utilizado foi o SIRGAS 2000 e a projeção é a Universal Transversa de Mercator em seu Fuso 22 sul. Após o processamento no PPP-IBGE, os dados dos pontos de controle foram transladados através da subtração das discrepâncias posicionais (Δ).

Aerolevantamento fotogramétrico

Os aerolevantamentos fotogramétricos foram realizados utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de asa rotativa (Phantom 4 Advanced - DJI).

Para aumentar a precisão do levantamento e controlar os parâmetros de aquisição das imagens, principalmente manter a taxa de sobreposição frontal e lateral, altura e velocidade de voo, foram criados cinco planos através do programa gratuito *DroneDeploy* (Figura 3). As taxas de sobreposição frontal foram de 70%, lateral de 60%, a altura de voo foi de 40 m a partir da maior cota altimétrica no terreno, a uma velocidade média de 4 m/segundo.

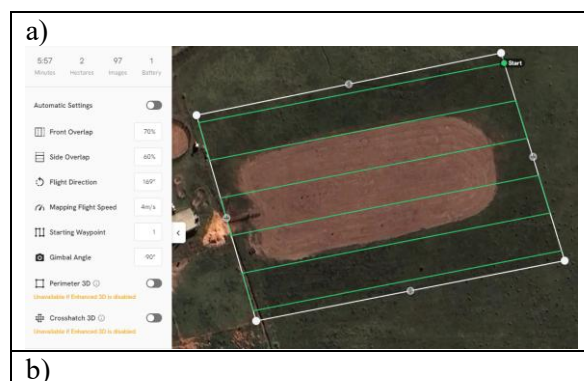




Figura 3 - Planos de voo do aerolevantamento fotogramétrico. a) Superfície I; b) Superfície II; c) Superfície III; d) Superfície IV; e) Superfície V.

Processamento fotogramétrico

Após a execução dos aerolevantamentos as imagens foram salvas no formato *Joint Photographic Experts Group* (JPEG) com metadados tipo GEOTAG. No processamento das imagens aéreas foi utilizado o programa MetaShape Profissional (Agisoft), conforme a proposta de Jaud et al. (2016). O MetaShape é uma evolução do seu precursor, o programa *PhotoScan*; ambos permitem a criação de ortomosaicos com

alta resolução espacial através de semelhanças entre as imagens estereoscópicas. Primeiramente é realizado o alinhamento das imagens aéreas, inseridos os pontos de controle nas imagens que possuem alvos reconhecidos no solo, seguido pela correção das distorções dos parâmetros fotogramétricos e é gerada a nuvem densa de pontos (Figura 4).

Por fim, são construídos os Modelos Digitais de Superfície (MDS) e os Ortomosaicos de cada superfície equestre. Para a geração destes produtos, o MetaShape utiliza a técnica combinado dos algoritmos *Structure-from-Motion-Multi-view Stereo* (SfM-MVS), a qual permitiu processar imagens arbitrárias, com variação de sobreposição, desde que existissem pontos homólogos em imagens distintas (Agisoft, 2020; Bruch et al., 2019).



Figura 4 - Geração de nuvem densa de pontos da superfície V.

Mergulho topográfico e morfologia superficial

Para a geração dos perfis topográficos, foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica - SIG Quantum GIS (QGIS 3.4.3). A declividade corresponde à relação entre a diferença de profundidade entre dois pontos e a distância horizontal entre os mesmos, sendo resultado em porcentagem de zero ao infinito. Segundo Valeriano e Rossetti (2011), o cálculo da declividade é resultado da primeira derivada da elevação em relação à distância horizontal. O cálculo foi realizado pela equação 1:

$$D = (dV/dH) \setminus 100 \quad (1)$$

Onde:

D = Declividade;

dV = Distância vertical;

dH = distância horizontal;

A declividade (%) foi medida a partir dos MDSs em formato *TIFF* (*Tagged Image File Format*), considerando duas orientações espaciais seguindo pontos de testagem (Figura 2) como referência para determinação da orientação longitudinal (X) e transversal (Y), realizado com quatro repetições. No método longitudinal o sentido de medição foi L1 (Ponto 1 a 7), L2 (Ponto 14 a 8), L3 (Ponto 15 a 22) e L4 (Ponto 25 a 22) e no transversal T1 (Ponto 1 a 25), T2 (Ponto 3 a 24), T3 (Ponto 5 a 23) e T4 (Ponto 7 a 22). Os resultados são demonstrados pela declividade da superfície, porém, para conhecimento da topografia interna da base estrutural é possível calcular as cotas altimétricas pela subtração dos índices altimétricos (m) pela profundidade (cm) medida nas superfícies experimentais.

Os perfis altimétricos expressos na figura 6 foram obtidos através de triplicatas das altimetrias dos 25 pontos de análise (Figura 2).

Para obtenção da variável altimetria para Análise de Componentes Principais, utilizou-se um ponto de referência fora da malha de análise (Figura 2), sendo subtraído o valor altimétrico de cada ponto, pelo ponto referência para criação de um padrão de variação altimétrica utilizável para mensurar o efeito da topografia sobre as demais variáveis.

A morfologia superficial foi obtida através da medição da diferença de altura (cm) entre os pontos altos e baixos nos 25 pontos de teste em cortes longitudinais e transversais de um metro em cada ponto. Também foi mensurada a distância horizontal entre os pontos altos e baixos. Na Figura 5 é demonstrado o procedimento de aferição.

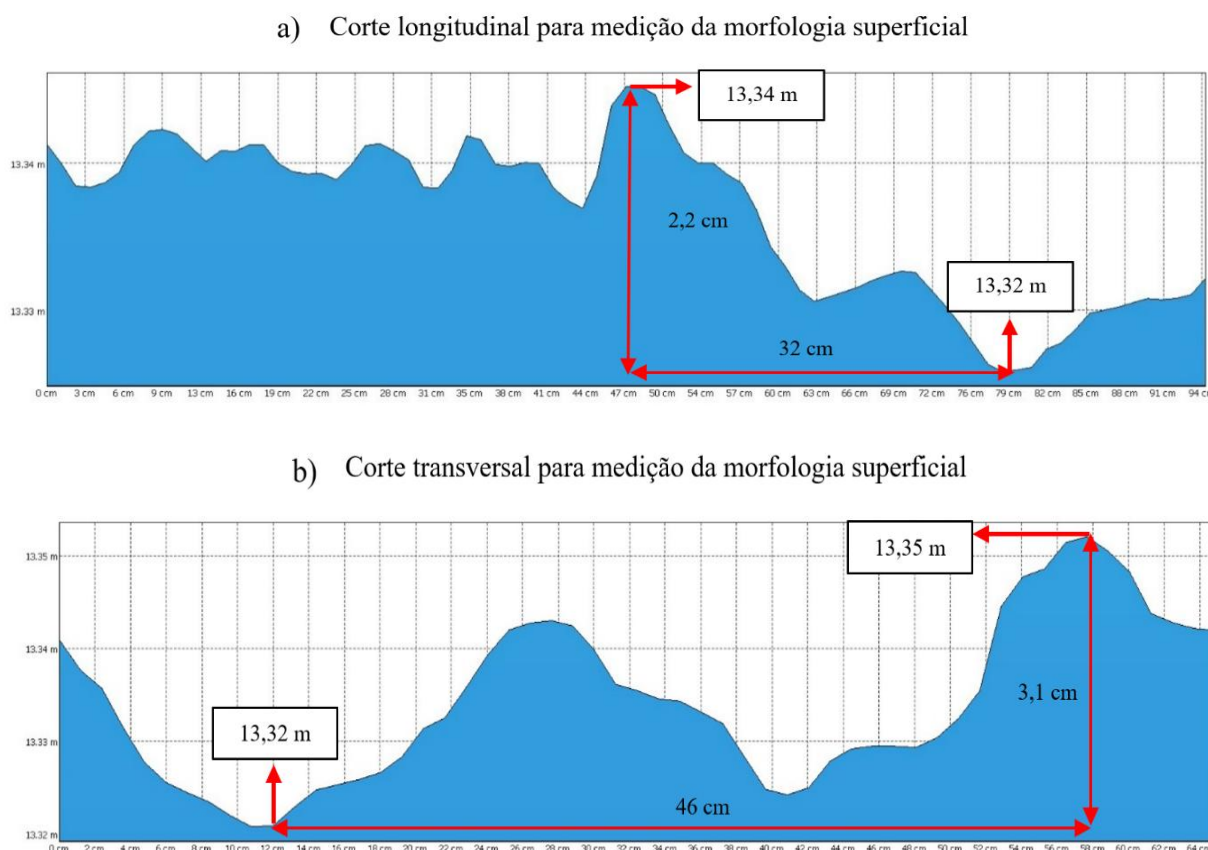


Figura 5 - Medições de morfologia superficial: Análise comparativa nos sentidos longitudinal (a) e transversal (b) utilizando dados da Superfície I.

Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade por Shapiro-Wilk, homogeneidade de variância pelo teste F para duas amostras

(Equação 2) e Barlett (Equação 3), com médias comparados pelo teste de Tukey (Equação 4) e T para dados pareados (Equação 5), considerando significância com $P < 0.05$. Para estes foi utilizado *software* R Statistics 4.2.1 (R Core Team, 2022),

onde as variáveis declividade e morfologia superficial foram comparadas entre as superfícies equestres nos sentidos longitudinal e transversal, assim como, entre os sentidos de análise em cada superfície. As equações dos testes realizados estão dispostas a seguir:

Teste F homogeneidade de variância (2)

$$F = \frac{\max(s_1^2, s_2^2)}{\min(s_1^2, s_2^2)}$$

Onde:

s_1^2 = Variância primeira amostra;

s_2^2 = Variância segunda amostra;

$\max(s_1^2, s_2^2)$ = Maior variância;

$\min(s_1^2, s_2^2)$ = Menor variância;

Teste homogeneidade de Barlett (3)

$$B = \frac{(N - k) \ln(s_p^2) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln(s_i^2)}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{N - k} \right)}$$

Onde:

k = Número de grupos;

n_i = Tamanho da i -ésima amostra;

N = Tamanho total da amostra;

s_i^2 = Variância da i -ésima amostra;

s_p^2 = Variância agrupada;

Teste de Tukey (4)

$$q = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{\sqrt{\frac{MSE}{n}}}$$

Onde:

$\bar{X}_i - \bar{X}_j$ = Médias dos grupos i e j ;

MSE = Erro médio obtido da ANOVA;

n = Número de observações em cada grupo;

Teste t para dados pareados (5)

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d} \sqrt{n}$$

Onde:

t = Teste t para dados pareados;

$\bar{d}$ = Média das diferenças entre os pares de observação;

s_d = Desvio padrão das diferenças entre os pares de observações;

n = Tamanho amostral;

Foi efetuada a Análise de Componentes Principais (PCA) para mensurar o efeito específico da topografia sobre comportamento geral das

superfícies equestres com auxílio do *software* IBM SPSS Statistics 20 (IBM Corp., 2011). Para isso os dados brutos foram padronizados até média zero e desvio padrão um retirando efeito de distintas unidades de medidas, sendo utilizado matriz de correlação e, coeficientes rotacionados pelo método *Varimax* com normalização *Kaiser*.

Resultados e discussão

As superfícies equestres apresentaram diferenças altimétricas (Tabela 2) devido à localização geográfica, com variação entre 13,31 m (Superfície I) e 42,81 m (Superfície V) em relação ao nível médio do mar (NMM). Tais distinções podem indicar variações topográficas nas regiões estudadas, onde mesmo que singelas, estão sujeitas a microclimas que influenciam diretamente o comportamento mecânico superficial através de índices pluviosidade, temperatura e composição superficial (Bridge et al., 2022; Herholz et al., 2023; McGill et al., 2024; Northrop et al., 2016; Setterbo et al., 2009). Ressalta-se que esses parâmetros são utilizados apenas para categorização das superfícies, pois o sistema construtivo em cada local de treinamento pode ser equivalente pela presença de base estrutural ou composição superficial encontrada (Areia, Silte e Argila) (Tabela 1).

Tabela 2 - Caracterização topográfica das superfícies equestres experimentais por meio de análise altimétrica comparativa em múltiplas localizações.

Superfícies	Altimetria (m)
I	13,31 ^a
II	24,86 ^b
III	32,15 ^c
IV	35,74 ^d
V	42,81 ^e
EP	0,90
P-valor	<0.01

Letras minúsculas indicam diferença ($P < 0.05$) entre as superfícies;

EP: Erro padrão.

Os processos construtivos aplicados em superfícies equestres visam minimizar quaisquer efeitos negativos sejam climáticos ou topográficos, para controle total de suas propriedades e efeitos biomecânicos, garantindo a segurança e bem-estar dos animais (Hobbs et al., 2014; Northrop et al., 2022; Wheeler & Zajackowski, 2006). Porém, os desafios construtivos decorrentes das características específicas de cada região podem

resultar em dificuldades (Bridge et al., 2022; Northrop et al., 2022), principalmente na harmonização da declividade, que impacta diretamente a drenagem e, consequentemente, a umidade, propriedade fundamental devido à sua interação complexa com a dureza, aderência e profundidade (Crevier-Denoix et al., 2010; Hobbs et al., 2014; Mahaffey et al., 2013; Peterson et al., 2008; Pfau et al., 2024).

O poder de drenagem nas superfícies estudadas depende principalmente da declividade em locais com base estrutural construída (II, III, IV e V) para escoamento da água por movimento diagonal, pois devido a alta compactação a água não infiltra nessa região (Pereira et al., 2003; Wheeler & Zajackowski, 2006). Enquanto na

superfície I, a drenagem ocorre pela capacidade de infiltração do solo devido ausência de base estrutural (Pan et al., 2018). Entretanto, a falta de uniformidade pode ocasionar discrepâncias nos índices de umidade pelo movimento realizado pela água (Northrop et al., 2016). As superfícies estudadas apresentaram distintos índices de declividade nos perfis longitudinal e transversal ($P < 0.05$) (Tabela 3 e Figura 6), sendo possível atribuir a superfície V os índices mais adequados, pois a drenagem ocorre em sentido transversal, otimizando o tempo de secagem da superfície pela menor distância percorrida pela água, corroborando com os baixos índices de umidade mensurados (Tabela 1).

Tabela 3 - Comparação da declividade (%) nos sentidos longitudinal e transversal das superfícies equestres experimentais.

Superfícies	Longitudinal	Transversal
I	0,18 ^{Aa}	0,21 ^{Aa}
II	0,17 ^{Aa}	0,50 ^{Ab}
III	1,51 ^{Ba}	0,71 ^{ABb}
IV	0,39 ^{Aa}	0,39 ^{Aa}
V	0,31 ^{Aa}	1,13 ^{Bb}
EP	0,11	0,08
P-valor	<0.01	<0.01

Letras maiúsculas indicam diferença ($P < 0.05$) entre superfícies e minúsculas entre sentido longitudinal e transversal da mesma superfície.

EP: Erro padrão.

A recomendação máxima de declividade para superfícies equestres em sistemas abertos está em torno de 1% a 2% (Wheeler & Zajackowski, 2006), contudo, tais índices dependem do projeto construtivo e modalidade esportiva praticada, visto que, nas áreas analisadas a camada superficial de areia acompanha a declividade da base estrutural e solo. Na superfície III foi encontrado 1,51% de declive em sentido longitudinal, o que pode ocasionar movimento excessivo da camada superficial devido à friabilidade do terreno (Silva et al., 2021) exigindo intensificação da manutenção corretiva a fim de harmonizar esses efeitos, pois alterações nas variáveis superficiais impacta diretamente a biomecânica equina (Mahaffey et al., 2013; Pfau et al., 2024). As superfícies I, II e IV apresentam índices baixos de declividade ($< 1\%$). No entanto, o tempo de drenagem será menor em comparação às superfícies III e V. É relevante destacar que a drenagem na superfície I ocorre principalmente por infiltração, devido ausência de

base estrutural construída, desse modo, não é necessário inclinação para escoamento da água.

Nas superfícies com base estrutural (II, III, IV e V) são esperadas diferenças entre a declividade dos sentidos de análise longitudinal e transversal (Tabela 3), pois busca-se eficiência no escoamento, optando pela drenagem lateral (transversal) devido ao menor percurso da água, a fim de não manter a superfície saturada pela umidade. Os índices de umidade adequados são dependentes da composição superficial pelo teor de argila, mas, superfícies compostas principalmente por areia (80% a 90%) apresentam valores aceitáveis entre 10% e 20%, entretanto, os mesmos podem sofrer variações devido a modalidade esportiva equestre para otimização da performance atlética (Hobbs et al., 2014; Holt et al., 2014).

A superfície III apresenta maior declividade na orientação longitudinal devido aos desafios topográficos da região em torno do sistema construtivo, enquanto, a superfície IV não

demonstrou diferença entre os sentidos de medição (Tabela 3), o que pode levar a maior tempo de secagem e até acúmulo de água em determinados locais pela variação superficial encontrada (Figura 6).

Quanto à morfologia superficial (Tabela 4 e Figura 7), os menores valores ocorreram nas superfícies I e IV no perfil longitudinal e maiores em II e III no perfil transversal, com distinção entre os perfis de medição nas superfícies I, II e IV ($P < 0.05$). A morfologia superficial reflete fatores relacionados à uniformidade das superfícies e aspectos de manutenção corretiva, podendo-se inferir que quanto menores os índices, maior será a homogeneidade das partículas. Também é possível associar a variação da morfologia com a profundidade superficial, implicando em

diferenciação na carga de pico e taxa de carregamento submetidas ao sistema musculoesquelético dos equinos (Mahaffey et al., 2013; Pfau et al., 2024; Setterbo et al., 2009). Devido a manutenção corretiva são esperados cortes mais profundos no perfil transversal pela ação dos escarificadores utilizados para descompactação da superfície (Peterson & McIlwraith, 2008; Pfau et al., 2024). Assim, a ausência de diferença na superfície V pode ser associada ao tratamento sem aplicação da técnica de correção, devido à alta variação da morfologia superficial, oriunda do impacto gerado pelo casco dos equinos na superfície (Tabela 4 e Figura 7). Na superfície III existem indícios de baixa eficiência na manutenção, visto o comportamento da morfologia em ambos os perfis de medição.

Tabela 4 - Comparação da morfologia superficial (cm) nos sentidos longitudinal e transversal das superfícies equestres experimentais.

Superfícies	Longitudinal	Transversal
I	1,78 ^{Aa}	2,65 ^{Ab}
II	2,65 ^{Ba}	3,61 ^{Bb}
III	3,20 ^{Ba}	2,98 ^{ABa}
IV	1,86 ^{Aa}	2,50 ^{Ab}
V	2,63 ^{Ba}	2,56 ^{Aa}
EP	0,08	0,09
P-valor	<0.01	<0.01

Letras maiúsculas indicam diferença ($P < 0.05$) entre superfícies e minúsculas entre sentido longitudinal e transversal da mesma superfície.

EP: Erro padrão.

A distância entre pontos baixos e altos da morfologia superficial (Tabela 5) apresentou diferença entre as superfícies ($P < 0.05$), mas somente ocorreu diferença entre os sentidos de medição longitudinal e transversal na superfície I. Conforme maior a distância entre os pontos, menor será a uniformidade. Entretanto, essa variável não possui capacidade efetiva de demonstrar aspectos de homogeneidade superficial, pois seu comportamento pode estar ligado a diversos fatores como percurso do maquinário durante a manutenção, dispositivo utilizado e no caso da superfície V ao treinamento dos animais realizado anteriormente a coleta de dados.

O sistema construtivo utilizado em modalidades esportivas equestres como Rédeas e Freio de Ouro ocasiona alto potencial de deformação superficial e necessitam de baixa

capacidade de resposta da superfície para realização de movimentos como esbarro (deslizamento sobre a superfície) e rotação (giro duplo sobre a superfície) de 360° sobre eixo corporal (Volta sobre patas) (Pizzi et al., 2024). Por isso, a utilização de estruturas como colchões drenantes de pedra britada (Van Der Heijden et al., 2017) para drenagem primária vertical não é adequado à realidade das superfícies analisadas nesse estudo, pois os desafios construtivos são oriundos da modalidade esportiva praticada, onde são exigidos comportamentos mecânicos superficiais excepcionais para garantia simultânea da dureza, umidade, aderência e profundidade adequadas tanto para o deslizamento, quanto possibilitar a tração dos cascos no mesmo movimento (Rotação).

Tabela 5 - Distância entre pontos altos e baixos da morfologia superficial (cm) nas direções longitudinal e transversal das superfícies equestres experimentais.

Superfícies	Longitudinal	Transversal
I	48,72 ^{Aa}	35,68 ^{Ab}
II	48,08 ^{Aa}	57,20 ^{Ba}
III	69,36 ^{Ba}	59,92 ^{Ba}
IV	53,76 ^{ABa}	50,76 ^{ABa}
V	50,12 ^{Aa}	49,04 ^{ABa}
EP	2,14	2,32
P-valor	<0.01	<0.01

Letras maiúsculas indicam diferença ($P < 0.05$) entre superfícies e minúsculas entre sentido longitudinal e transversal da mesma superfície.

EP: Erro padrão.

É importante salientar a morfologia, biomecânica e aptidão funcional dos equinos da raça Crioula que competem nestas modalidades (Pimentel et al., 2018; Pizzi et al., 2024), pois o sistema construtivo é composto basicamente por uma base principalmente com Latossolo Vermelho ou solos ricos em argila pela sua capacidade coesiva, ocasionando alta compactação da base (dureza $> 100 \text{ kgf cm}^2$) e uma camada superficial de areia, silte e argila entre 3,35 cm a 7,28 cm com baixos índices de umidade e argila em geral (Tabela 1), ou seja, existe baixa força de coesão e adesão nestes sistemas pelas necessidades funcionais esportivas, definindo o comportamento plástico da superfície (Hobbs et al., 2014). Apesar disso, existe a necessidade de buscar alternativas que venham a prevenir as lesões musculoesqueléticas oriundas da falta de elasticidade superficial.

Acredita-se que os índices a serem empregados em sistemas construtivos semelhantes sejam de declividade longitudinal em torno de $\pm 0,51\%$ e transversal $\pm 1,13\%$, visto os resultados encontrados, sem ocorrer movimento elevado da camada superficial pela friabilidade (Silva et al., 2021; Wheeler & Zajackowski, 2006), entretanto tais parâmetros podem sofrer modificações, visto a descrição inédita das características de superfícies equestres utilizadas por equinos da raça Crioula. Para otimizar a manutenção corretiva, sugere-se aplicação de rastelos mecanizados e rolos vibratórios com impacto dinâmico mínimo de 18.000 kgf, assim como, aumento dos níveis de argila até 10% com inclusão de Latossolo Vermelho pelo seu comportamento mecânico (Ajayi et al., 2009), elevando a responsividade

superficial ao movimento dos equinos, sem gerar efeitos negativos sobre a biomecânica.

No presente momento não é recomendado aplicação de materiais sintéticos nas superfícies estudadas, como efetuado por Setterbo et al., (2009) e Tranquille et al., (2015), pois o aumento da resposta elástica pode provocar lesões no sistema musculoesquelético dos equinos, visto as peculiaridades dos movimentos realizados. Contudo, a testagem desses materiais fibrosos deve ser efetuada para determinação da porcentagem ideal de inclusão, pois os índices topográficos e comportamentais das superfícies estudadas apresentam variações que carecem de correções. Ao mesmo tempo são verificados parâmetros que podem ser entendidos como adequados na superfície I e V, ambas com sistemas construtivos diferentes, mas declividade e morfologia superficial passíveis de replicação, pois não foram encontrados resultados incompatíveis com as necessidades de drenagem e uniformidade. Deve-se salientar que as condições da superfície I (Tabela 1) são extremamente excepcionais e oriundas de fatores como clima, tipo de rocha e/ou sedimento, vegetação, relevo e espaço temporal da região estudada (Kalev & Toor, 2018).

A modelagem topográfica dos sistemas construtivos de superfícies equestres é primordial para garantir o desempenho adequado dos locais de treinamento e competição. A interação entre topografia e resposta superficial pode ser suprimida por técnicas de análises incapazes de dissociar tais efeitos, ou seja, o método de análise não permite quantificar e relacionar a topografia com o comportamento mecânico superficial. Para abordar essa questão, na tabela 6 apresentamos uma Análise de Componentes Principais (PC1, PC2 e

PC3) entre todas as variáveis estudadas, visando mensurar o efeito específico da topografia, pois esta técnica é utilizada visando identificar fatores preponderantes para compreensão da dinâmica superficial (Northrop et al., 2016; Schmitt et al., 2023).

Os resultados indicam que 74,58% da variação total observada foi explicada, destacando

que a topografia (0.977) contribuiu com 17,86% (PC3) da dinâmica comportamental entre todas as variáveis. No primeiro componente (PC1) foram retidos umidade (0.864), profundidade (0.615) e PMP (0.895) explicando 38,79% da variação e no PC2 a aderência (0.9270) foi destacada com 17,93% da variação explicada.

Tabela 6 - Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis mecânicas e altimetria das superfícies equestres experimentais.

Variáveis	Componentes Principais		
	PC1	PC2	PC3
Dureza	0.634	-0.185	-0.174
Umidade	0.864	0.100	0.113
Aderência	0.015	0.927	0.039
Profundidade	0.615	0.407	-0.194
PMP ¹	0.895	0.087	0.187
Altimetria	0.026	0.011	0.977
VTE ² %	38,79	17,93	17,86

¹PMP: Profundidade máxima de perfuração;

²VTE: Variação total explicada = 74,58% (PC1+PC2+PC3).

As propriedades PMP e profundidade demonstram similaridade na aplicação da técnica. Assim, ambas podem ser vistas como explicativas em conjunto com a umidade no PC1, o que ressalta importância já descrita dessas variáveis para superfícies equestres (Hobbs et al., 2014). Neste estudo foi possível calcular de forma inédita o efeito específico da topografia (Tabela 6) o que, impacta positivamente os modelos construtivos futuros e reforça a importância da modelagem topográfica para garantia da segurança e funcionalidade das superfícies equestres, pelo efeito gerado pela topografia sobre o comportamento mecânico.

As variáveis analisadas neste estudo são de vital importância para manutenção da saúde do sistema musculoesquelético dos equinos, pois a declividade e uniformidade superficial podem influenciar diretamente a biomecânica no espectro positivo ao beneficiar o movimento ou negativamente originando lesões ortopédicas (Bailey, 2022; Horan et al., 2021; Northrop et al., 2016; Pfau et al., 2024). Sobre a morfologia superficial, acredita-se que as variações podem ser oriundas de distintos dispositivos utilizados para manutenção corretiva e intensidade de ação (Peterson & Mcilwraith, 2008), já os índices de

declividade são fruto dos processos construtivos, sendo dependentes das decisões técnicas aplicadas.

Recentemente receptores GNSS e um Deflectômetro Leve foram utilizados para mapeamento de variações espaço-temporais de superfícies equestres, permitindo aferições contínuas e gerando um modelo de deflexão dinâmica para auxiliar na tomada de decisões administrativas dos locais (Herholz et al., 2023). O sistema construtivo das superfícies analisadas difere do presente estudo e não foram utilizados VANTs, os quais poderiam maximizar os processos. Os efeitos topográficos através de curvas de recalque auxiliaram na quantificação da reatividade superficial e demonstram importância da modelagem topográfica sobre o comportamento mecânico superficial.

O método de aerolevantamento fotogramétrico possui aplicação inédita em superfícies equestres, demonstrando alta eficácia para mensurações topográficas e, aspectos relacionados ao sistema construtivo e uniformidade superficial, pois permite obtenção de dados além da declividade. As limitações dos processos ficam restringidas ao acesso dos dispositivos, softwares e pessoal qualificado, devido ao elevado custo monetário envolvido para realização deste modelo analítico. A otimização temporal e confiabilidade

dos resultados possibilita ganhos extraordinários para a cadeia equestre.

Esse estudo apresenta potencial para fornecimento de material técnico e científico aplicável no meio equestre através da intensificação dos processos construtivos,

manutenção corretiva, adequação e padronização dos índices topográficos, através de uma metodologia inovadora e replicável em larga escala. Vale salientar que tal metodologia pode ser modificada e aplicada em superfícies para competições esportivas praticadas por humanos.

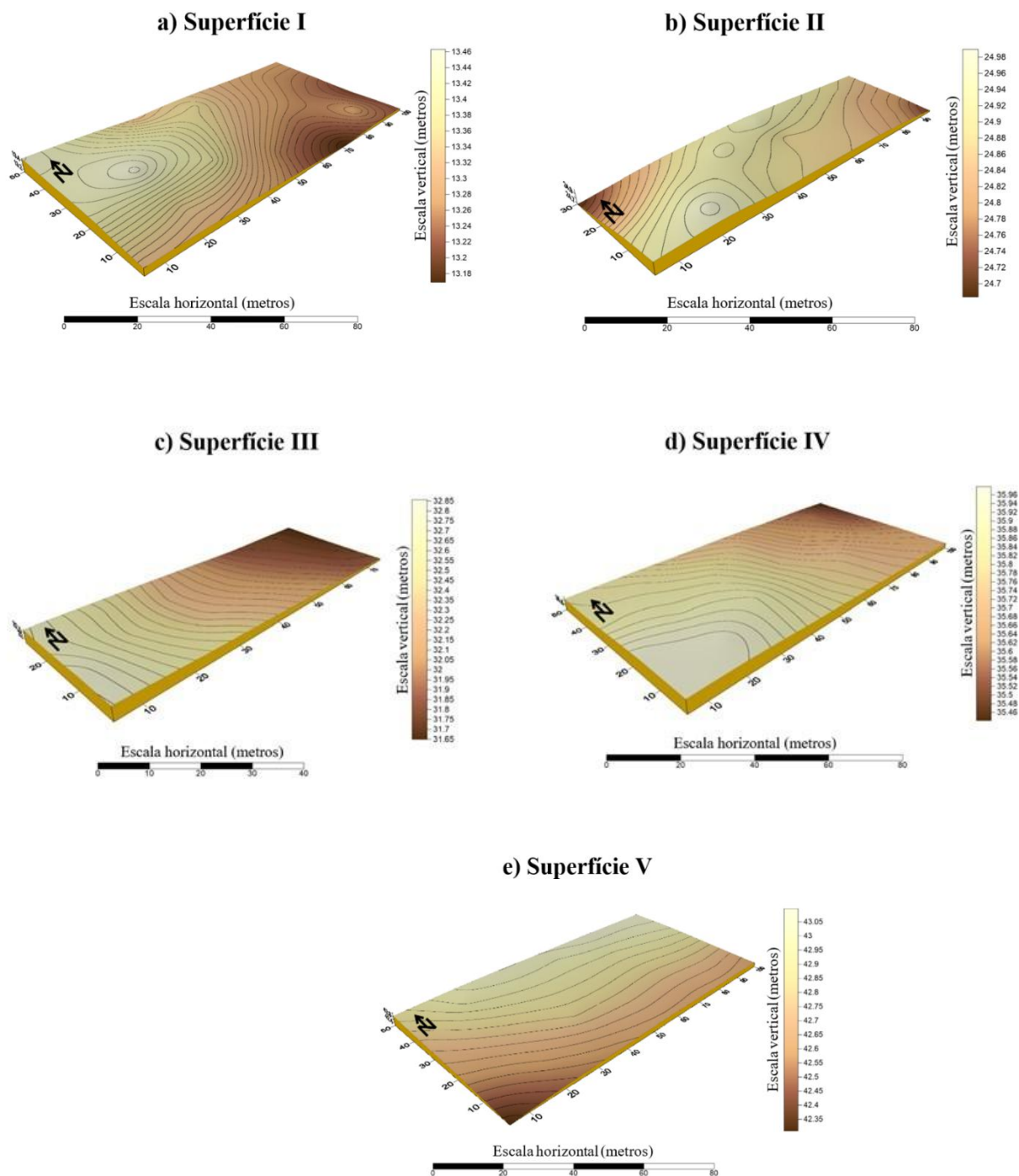


Figura 6 - Altimetria das superfícies equestres experimentais (I, II, III, IV e V) expressas por *layout* de superfície 3D.

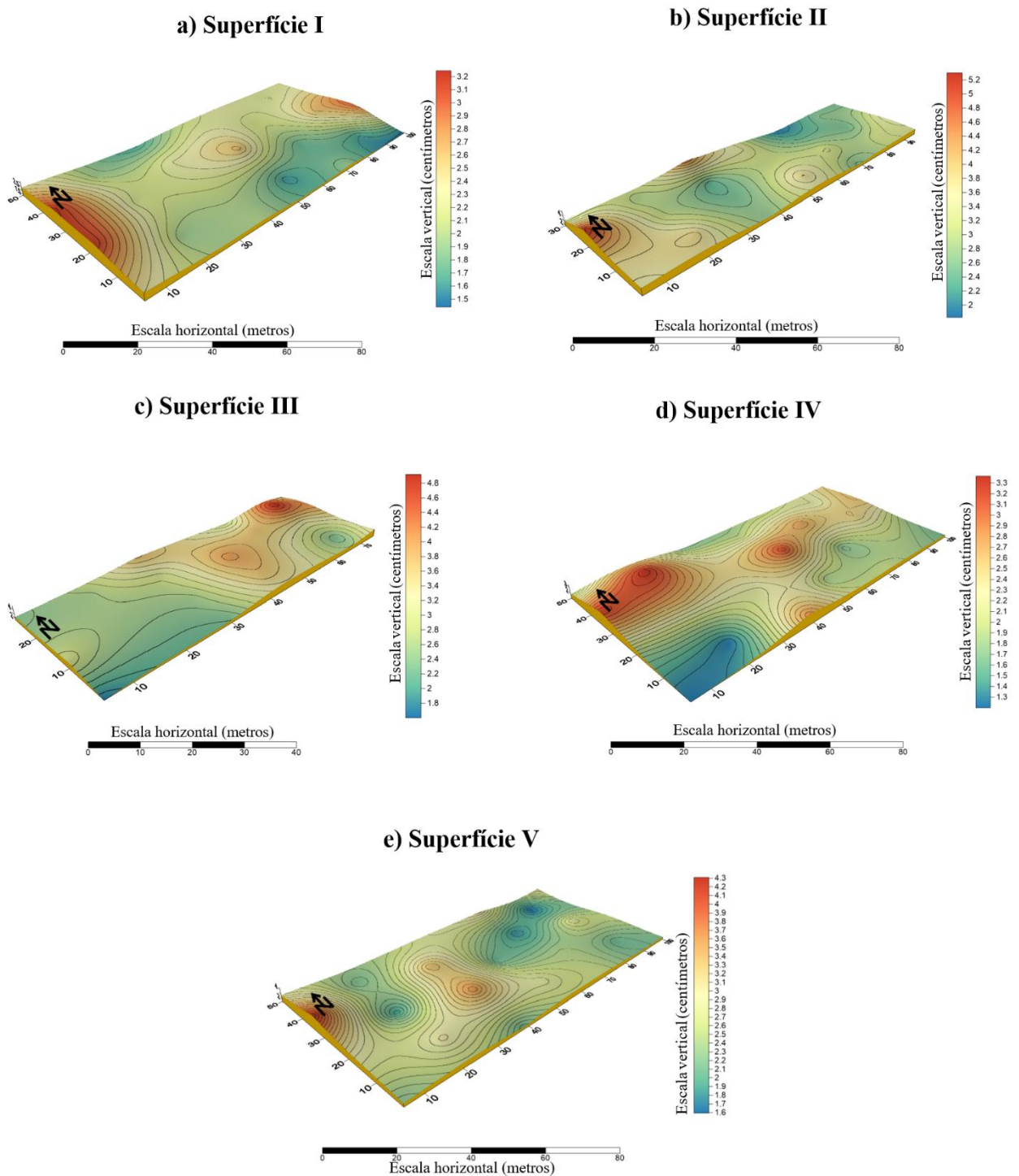


Figura 7 - Morfologia das superfícies equestres experimentais (I, II, III, IV e V) expressas por *layout* de superfície 3D.

Conclusão

O aerolevanteamento fotogramétrico demonstrou ser uma ferramenta eficaz na modelagem topográfica de superfícies equestres, proporcionando medições precisas de declividade, morfologia e uniformidade superficial. A padronização dessas características topográficas é crucial para otimizar o comportamento mecânico das superfícies, o que, por sua vez, afeta diretamente a performance atlética, a longevidade esportiva e o bem-estar dos equinos.

Este estudo identificou que índices replicáveis de declividade para superfícies equestres com base construída são aproximadamente 0,51% no sentido longitudinal e 1,13% no sentido transversal. Enquanto, superfícies naturais exigem parâmetros específicos de declividade e morfologia para assegurar drenagem eficiente.

O aerolevanteamento fotogramétrico se posiciona como uma ferramenta técnica essencial, aplicável a diversos sistemas construtivos,

fornecendo dados críticos para a manutenção e aprimoramento das condições das superfícies equestres, em prol da melhoria do desempenho e do bem-estar dos equinos.

Para o futuro é necessária aplicação do método de aerolevanteamento fotogramétrico para mensuração dos efeitos da carga animal sobre a superfície para otimizar os processos de manutenção corretiva e proporcionar maior segurança e desempenho aos equinos. Também deve-se incluir modelos gerados por inteligência artificial para integrar padrões temporais e mecânicos, visando a predição do comportamento superficial.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- Agisoft metashape, 2020. User Manual Professional Edition, Version 1.6. Disponível:https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_6_en.pdf. acesso em 25 Jan 2021.
- Ajayi, A. E., Junior, M. S. D., Curi, N., Junior, C. F. A., Souza, T. T. T., Junior, A. V. I., 2009. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. Soil and Tillage Research, 105, 122 – 127. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.still.2009.06.004>. Acesso 03 nov. 2023.
- Associação Brasileira de Criadores de Cavalos Crioulos (ABCCC), 2016. Manual do criador: Raça Crioula. Associação Brasileira de Criadores de Cavalos Crioulos. Disponível: <http://www.cavalocrioulo.org.br/admin/assets/upload/manuais/manual.pdf>. Acesso: 17 fev. 2023.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1994. NBR 13.133. Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro. Acesso: 15 jan. 2023.
- Bailey, J., Redpath, A., Hallowell, G., Bowen, M., 2022. An objective study into the effects of an incline on naturally occurring lameness in horses. Veterinary Medicine and Science, 8, 2390 - 2395. DOI: <https://doi.org/10.1002/vms3.900>. Acesso: 20 jan. 2023.
- Blanco, M. A., Hourquebie, R., Dempsey, K., Schmitt, P., Peterson, M. L., 2021. An Experimental Comparison of Simple Measurements Used for the Characterization of Sand Equestrian Surfaces. Animals, 11, 2896. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11102896>. Acesso: 20 abr. 2022.
- Blanco, M.A., Di Rado, F. N., Peterson, M. L., 2023. Warm Season Turfgrass Equine Sports Surfaces: An Experimental Comparison of the Independence of Simple Measurements Used for Surface Characterization. Animals, 13, 811. <https://doi.org/10.3390/ani13050811>. Acesso: 05 jan. 2024.
- Bouyoucos, G. J., 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soils. Agronomy Journal, 54, 464 - 465. DOI:<https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>. Acesso: 20 mai. 2023.
- Bridge, J. W., Yeung, C. H., Liu, C., Leonen, E. C., Weissaupt, K. S., Dempsey, K. M., 2022. Material Characterization Testing of Synthetic Granular Composites Used in Equine Sports Surfaces. Journal of Testing and Evaluation, 51, 858 - 869. DOI: <https://doi.org/10.1520/JTE20220091>. Acesso: 18 fev. 2025.

- Bruch, A. F., Cirolini, A., Thum, A. B., Carneiro, M., 2019. Avaliação da acurácia das cubagens de volumes de mineração através de levantamentos convencionais e fotogramétricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12, 283 - 298. DOI: <https://10.26848/RBGF.V12.1.P283-298>. Acesso: 20 abr. 2022.
- Busnello, F. J., Tecchio, D., Isoton, F., 2016. Acurácia entre levantamento topográfico com gnss pós processamento e rtk para atender ao georreferenciamento de imóveis rurais. *Revista Tecnológica*, 4, 16 - 25. Disponível em: <https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/106>. Acesso: 30 apr. 2024.
- Crevier-Denoix, N., Robin, D., Pourcelot, P., Falala, S., Holden, L., Estoup, P., Desquilbet, L., Denoix, J. M., Chateau, H., 2010. Ground reaction force and kinematic analysis of limb loading on two different beach sand tracks in harness trotters. *Equine Veterinary Journal Supplement*, 42, 544 - 551. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00202.x>. Acesso: dez. 2022.
- Cucco, D. C., Salles, E. L., Santos, M. R., Ferreira, R., Soriano, V. S., Zampar, A., Kessler, J.D., 2016. Freio de Ouro como ferramenta de seleção na raça Crioula. *Archivos de zootecnia*, 65, 250. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/495/49545852007.pdf>. Acesso: 21 nov. 2022.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994. DNER-PRO (003/94). Coleta de amostras deformadas de solos, disponível em: <https://www.gov.br/dnit/ptbr/assuntos/planejamento/epesquisa/ipr/coletaneadenormas/coletanecae-normas/procedimento-pro/dner-pro-003-94-1.pdf>. Acesso: 01 abr. 2022.
- Garcia, C. A. S. C., Martins, C. F., Silva, L. L., Brandi, R. A., Feijó, J. O., Barbosa, A. A., Bruhn, F. R. P., Corrêa, M. N., 2020. Frequência cardíaca, lactacidemia e gasto energético de equinos da raça Crioula em provas credenciadoras ao Freio de Ouro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 72, 1631 - 1638. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11741>. Acesso: 13 mar. 2023.
- Graydon, R., Northrop, A. J., Martin, J.H., Lucey, M., Schramel, J. P., Peham, C., Roepstorff, L., Sinclair, J., Hobbs, S. J., 2023. The Development of a Standardized Protocol for Quantifying Equestrian Eventing Cross-Country Ground. *Biomechanics*, 3, 343 - 361. DOI: <https://10.3390/biomechanics3030029>. Acesso: 06 fev. 2024.
- Herholz, C., Siegwart, J., Nussbaum, M., Studer, M. H. P., Burgos, S., 2023. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2023.104909>. Acesso: 05 jan 2024.
- Hobbs, S. J., Northrop, A. J., Mahaffey, C., Martin, J. H., Clayton, H. M., Murray, R., Roepstorff, L., Peterson, M. L., 2014. Equine Surfaces White Paper. FEI Publication. Disponível em: <http://www.fei.org/fei/aboutfei/publications/fei-books>. Acesso: 01 abr. 2022.
- Holt, D., Northrop, A., Owen, A., Martin, J., Hobbs, S. J., 2014. Use of Surface Testing Devices to Identify Potential Risk Factors for Synthetic Equestrian Surfaces. *Procedia Engineering*, 72, 949 - 954. DOI: <https://10.1016/j.proeng.2014.06.160>. Acesso: 02 abr. 2022.
- Horan, K., Kourdache, K., Coburn, J., Day, P., Carnall, H., Harborne, D., Brinkley, L., Hammond, L., Millard, S., Bryony, L., Pfau, T., 2021. The effect of horseshoes and surfaces on horse and jockey centre of mass displacements at gallop. *PLoS ONE*, 16(11), e0257820. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257820>. Acesso: 18 fev. 2025.
- IBM Corp., 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Jaud, M., Passot, S., Le Bivic, R., Delacourt, C., Grandjean, P., Le Dantec, N., 2016. Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan® and MicMac® in Sub-Optimal Survey Conditions. *Remote Sensing*, 8, 1 - 18. DOI: <https://10.3390/rs8060465>. Acesso: 15 mar. 2022.
- Kalev, S. D., Toor, G. S., 2018. The Composition of Soils and Sediments. *Green Chemistry*, 339 - 357. DOI: <https://10.1016/b978-0-12-809270-5.00014-5>. Acesso: 28 abr. 2022.
- Lienhart, W., 2017. Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 7, 315 - 324. DOI: <https://10.1007/s13349-017-0228-5>. Acesso: 14 jan. 2023.
- Mahaffey, C. A., Peterson, M. L., Roepstorff, L., 2013. The effects of varying cushion depth on

- dynamic loading in shallow sand dirt thoroughbred horse racetracks. *Biosystems Engineering*, 114, 178 – 186. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.12.004>. Acesso: 23 nov 2022.
- McGill, S., Coleman, r., Hayes, M., 2024. Environmental conditions in equine indoor arenas: A descriptive study. *Journal of Equine Veterinary Science*, 141, 105165. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2024.105165>. Acesso: 18 fev. 2025.
- Müller, V., Moraes, B. S. S., Carvalho, I. R., Wendt, C. G., Patten, R. D., Nogueira, C. E. W., 2020. Genetic parameters of morphometric measurements in Criollo horses. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 138, 174 – 178. DOI <https://doi.org/10.1111/jbgs.12503>. Acesso: 14 mar. 2023.
- Northrop, A. J., Hobbs, S. J., Holt, D., Clayton-Smith, E., Martin, J. H., 2016. Spatial Variation of the Physical and Biomechanical Properties Within an Equestrian Arena Surface. *Procedia Engineering*, 147, 866 – 871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.288>. Acesso: 01 jan. 2022.
- Northrop, A. J., Martin, J. H., Peterson, M. L., Roepstorff, L., Hernlund, E., Hobbs, S. J., 2022. The Challenges of Equestrian Arena Surfaces: The Unprecedented Use of a Raised Platform at the 2012 Olympic Games. *Journal of Equine Veterinary Science*, 109, 103838. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2021.103838>. Acesso: 27 dez. 2023.
- Orlande, O., Hobbs, S. J., Martin, J. H., Owen, A. G., Northrop, A. J., 2012. Measuring hoof slip of the leading limb on jump landing over two different equine arena surfaces. *Comparative Exercise Physiology*, 8, 33 – 39. DOI: <https://doi.org/10.3920/cep11011>. Acesso: 24 fev. 2022.
- Pan, R., Martinez, A. da S., Brito, T. S., Seidel, E. P., 2018. Processos de Infiltração no Solo e Retenção de Água e Estratégias para Aumentar a Sua Capacidade. *Jornal de Agricultura Experimental Internacional*, 20, 1 – 14. DOI:<https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/39132>. Acesso: jun. 2022.
- Peham, C., Schramel, J. P., 2017. Method and device for determining the coefficient of friction between the surface of a test object, in particular of a base and the surface of a test body. EP 3 141 886 A1, Mar. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/054150207/publication/EP3141886A1?q=15002632.6>. Acesso: 15 mar. 2022.
- Pereira, S. B., Pruski, F. F., Silva, D. D. da, Matos, A. T. de, 2003. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7, 423 – 429. DOI: <https://doi.org/10.1590/S14154366200300030003>. Acesso: 18 fev. 2025.
- Peterson, M. L., McIlwraith, C. W., 2008. Effect of track maintenance on mechanical properties of a dirt racetrack: A preliminary study. *Equine Veterinary Journal*, 40, 602 – 605. DOI: <https://doi.org/10.2746/042516408x330347>. Acesso: 10 out. 2021.
- Peterson, M. L., McIlwraith, C. W., Reiser, R. F., 2008. Development of a system for the in-situ characterisation of thoroughbred horse racing track surfaces. *Biosystems Engineering*, 101, 260 – 269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.07.007>. Acesso: 12 dez. 2021.
- Pfau, T., Bruce, O. L., Sawatsky, A., Leguillet, R., Edwards, W. B., 2024. Dirt Track Surface Preparation and Associated Differences in Speed, Stride Length, and Stride Frequency in Galloping Horses. *Sensors*, 24, 2441. DOI:<https://doi.org/10.3390/s24082441>. Acesso: 18 fev 2025.
- Pimentel, A. M. H., de Souza, J. R. M., Boligon, A. A., Moreira, H. L. M., Pimentel, C. A., Martins, C. F., 2018. Biometric evaluation of Criollo horses participating in the Freio de Ouro competition, Brazil. *Revista brasileira de Zootecnia*, 47, e20170294. DOI: <https://doi.org/10.1590/rbz4720170294>. Acesso: 26 jan 2022.
- Pizzi, G. L. B. L., Holz K., Kowalski E. A., Ribeiro P. F., Blake R., Martins C. F., 2024. 2D Kinematic Analysis of the Esbarrada and Volta Sobre Patas Manoeuvres of Criollo Breed Horses Competing in Freio de Ouro. *Animals*, 14, 2410. DOI:<https://doi.org/10.3390/ani14162410>. Acesso: ago 2024.
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: URL <https://www.R-project.org/>. Acesso: 13 fev. 2024.
- Scherer, M., Lerma, J. L., 2009. From the Conventional Total Station to the Prospective Image Assisted Photogrammetric Scanning Total Station: Comprehensive Review. *Journal of Surveying Engineering*, 135(4), 173 – 178. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2009\)135:4\(173\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2009)135:4(173)). Acesso: 17 fev. 2025.

- Schmitt, P., Stanton, V., Peterson, M., 2023. Laser Diffraction Particle Size Distribution of North American Turfgrass Horse Racing Surfaces. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 66, 735 – 746. DOI: <https://doi.org/10.13031/ja.15396>. Acesso: 18 fev 2025.
- Setterbo, J. J., Garcia, T. C., Campbell, I. P., Reese, J. L., Morgan, J. M., Kim, S. Y., Hubbard, M., Stover, S. M., 2009. Hoof accelerations and ground reaction forces of Thoroughbred racehorses measured on dirt, synthetic, and turf track surfaces. *American Journal of Veterinary Research*, 70, 1220 – 1229. DOI: <https://10.2460/ajvr.70.10.1220>. Acesso: 10 nov. 2021.
- Silva, B. A., Martins, V. M., Macedo, R. S., Hayakawa, E. H., 2018. Mapeamento Digital de Solos e os Atributos Topográficos das Vertentes no Alto Curso da Sub-Bacia Hidrográfica do córrego Quatro Pontes, PR–Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 19, 817 – 886. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1385>. Acesso: 10 nov. 2023.
- Silva, B. P. da, Silva Farias, C. V., 2017. Cadeia de Criação e Comercialização do Cavalo Crioulo no Rio Grande do Sul. *Revista Teoria E Evidência Econômica*, 23. DOI: <https://doi.org/10.5335/rtee.v23i48.7360>. Acesso: 10 fev 2023.
- Silva, T. P., Centeno, L. N., de Lima, C. L. R., Nunes, M. C. M., Holthusen, D., Timm, L. C., 2021. Investigating spatial relationships of soil friability and driving factors through co-regionalization with state-space analysis in a subtropical watershed. *Soil and Tillage Research*, 212, 105028. DOI: <https://10.1016/j.still.2021.105028>. Acesso: 10 set. 2023.
- Souza, B. M. M., Van Der Heijden, R., Benoît, J., 2024. "Strength and Deformation Behavior of Equestrian Riding Surfaces Improved with Recycled Geosynthetics. *ASTM International. Geotechnical Testing Journal*, 47, GTJ20220245. DOI: <https://doi.org/10.1520/GTJ20220245>. Acesso: jul. 2024.
- Symons, J. E., Garcia, T. C., Stover, S. M., 2013. Distal hindlimb kinematics of galloping Thoroughbred racehorses on dirt and synthetic racetrack surfaces. *Equine Veterinary Journal*, 46, 227 – 232. DOI: <https://10.1111/evj.12113>. Acesso: 02 jan. 2022.
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G., 2017. Manual de métodos de análise de solo 3. Edição – Brasília, DF: Embrapa. ISBN 978-85-7035-771 - 7. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso: 08 fev. 2022.
- Tranquille, C. A., Walker, V. A., Hernlund, E., Egenvall, A., Roepstorff, L., Peterson, M. L., Murray, R. C., 2015. Effect of superficial harrowing on surface properties of sand with rubber and waxed-sand with fibre riding arena surfaces: a preliminary study. *The Veterinary Journal*, 203, 59 – 64. DOI: <https://10.1016/j.tvjl.2014.10.027>. Acesso: 10 nov. 2022.
- Valeriano, M. M., Rossetti, D. F., 2011. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography (Sevenoaks)*, 32, 300 - 309, 2011. DOI: <https://10.1016/j.apgeog.2011.05.004>. Acesso: 10 jun. 2023.
- Van Der Heijden, J. R., Hawe, W., Souza, B. M. M., Jean, B., 2017. Geotechnical properties of equestrian riding surfaces. 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Seoul). Disponível em: <https://www.issmge.org/publications/publication/geotechnical-properties-of-equestrian-riding-surfaces>. Acesso: 20 set. 2022.
- Van der Heijden, R., Benoît, J., Hawe, W., 2018. [American Society of Civil Engineers IFCEE 2018 - Orlando, Florida (March 5–10, 2018)] IFCEE 2018 - Response Characteristics of Engineered Equestrian Surfaces: A Case Study, 80 – 93. DOI: <https://10.1061/9780784481592.009>. Acesso: 20 dez. 2022.
- Wheeler, E., Zajackowski, S., 2006. Riding arena footing materials. In: Wheeler, E. (ed.) *Horse stable and riding arena design*. 1st ed. Blackwell Publishing, Malden, UK 267 - 278. Disponível em: <https://extension.psu.edu/riding-arena-footing-material-selection-andmanagement>. Acesso: 10 out. 2021.