

IMPACTO DA TOPOGRAFIA SOBRE A DINÂMICA DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SUPERFÍCIES EQUESTRES

ÉVERTON AUGUSTO KOWALSKI¹; ALEXANDRE FELIPE BRUCH²; GINO LUIGI BONILLA LEMOS PIZZI³; KARINA RETZLAFF CAMARGO⁴; CLÁUDIA LIANE RODRIGUES DE LIMA⁵; CHARLES FERREIRA MARTINS⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – evertonequinocultura@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – afbruch@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – gino_lemos@hotmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande – karinacamargo@furg.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – clrlima@yahoo.com.br

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

1. INTRODUÇÃO

As superfícies equestres exercem efeitos diretos sobre a biomecânica equina, impactando a performance, segurança e bem-estar dos animais e competidores (Hobbs et al., 2014; Pizzi et al., 2024). O conjunto de características que moldam o comportamento mecânico superficial incluem propriedades como dureza, umidade, aderência, profundidade, composição e manutenção corretiva (Peterson; Mcilwraith; Reiser, 2008; Hobbs et al., 2014), bem como, a topografia do sistema construtivo aplicado, a qual desempenha papel vital na capacidade de drenagem (Wheeler; Zajackowski, 2006).

O comportamento mecânico das superfícies equestres é fruto do complexo sistema de engenharia (Van Der Heijden et al., 2017) afetado por fatores intrínsecos e extrínsecos através de interações multifatoriais entre as variáveis (Chateau et al., 2010; Hobbs et al. 2014). 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; Tecchio; Isoton, 2016; Lienhart, 2017). 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).

A utilização de VANTs para medição de características como declividade e rugosidade topográfica (Bruch et al., 2019) 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 (Northrop et al., 2016; Herholz et al., 2023). Diante dessa demanda, este estudo teve por objetivo a medição do efeito da topografia sobre a dinâmica do comportamento mecânico de superfícies equestres.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As superfícies foram analisadas em cinco centros equestres no período de novembro de 2022 e fevereiro de 2023, contemplando análises de dureza, umidade, aderência, profundidade, profundidade máxima de perfuração (PMP) e topografia.

2.1 PONTOS DE TESTAGEM *IN SITU* DA SUPERFÍCIE

A determinação dos pontos de testes físicos *in situ* ocorreu conforme metodologia adaptada de Northrop et al. (2016). Para isso, a área total das superfícies foi dividida em 36 quadrantes contemplando 25 pontos (1m² cada ponto) para testes das superfícies. Todos os testes foram realizados em triplicatas.

2.2 MENSURAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO SUPERFICIAL

A dureza foi mensurada através de um medidor de compactação digital (FALKER – Modelo PenetroLOG - PLG1020) com capacidade de romper a estrutura da superfície sob velocidade constante (30 - 50 mm/s) até altura de 5 cm, com resolução de 0,01 metros de altura. PMP corresponde a profundidade máxima atingida durante medição desta variável.

A resistência ao cisalhamento foi obtida através de um dispositivo de tração funcional (Peham & Schramel, 2017), mensurando pico de torque (Nm) em rotação de 90° de um corpo de teste (800 N) sobre a superfície.

A umidade foi medida com auxílio de um sensor TDR (Field Scout–TDR-100; Spectrum Technologies) com altura de 0 - 7,6 cm (Blanco et al., 2021).

A profundidade da superfície foi mensurada com auxílio de uma haste métrica de aço inoxidável (1 mm de diâmetro), com capacidade de romper a camada superficial (Northrop et al., 2016).

2.3 LEVANTAMENTO AÉREO FOTOGRAMÉTRICO COM VANT

Os levantamentos aéreos fotogramétricos foram realizados utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de asa rotativa (Phantom 4 Advanced - DJI) com metodologia adaptada de Bruch et al. (2019). Para aumentar a precisão do levantamento e controlar os parâmetros de aquisição de imagens, mantendo principalmente a taxa de sobreposição frontal e lateral, altura e velocidade de voo, foi criado um plano de voo utilizando o programa gratuito DroneDeploy. As taxas de sobreposição foram de 70%, a altura de voo foi de 40 metros da maior altitude no solo, a uma velocidade média de 4 metros/segundo. Assim foram obtidas informações referentes à altimetria dos 25 pontos de análise em cada superfície.

Para obtenção da variável altimetria para Análise de Componentes Principais, utilizou-se um ponto de referência fora da malha de análise, 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.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi efetuada a Análise de Componentes Principais (PCA) para mensurar o efeito específico da topografia sobre comportamento mecânico das superfícies equestres com auxílio do software IBM SPSS Statistics 20. 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 apresentamos os resultados do impacto da topografia sobre a dinâmica do comportamento mecânico de superfícies equestres através da Análise de Componentes Principais. A variação total explicada foi de 74,58% da, 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 1. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis mecânicas e variação altimétrica das superfícies equestres experimentais.

Variáveis analisadas	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
Profundidade máxima de perfuração	0.895	0.087	0.187
Variação altimétrica	0.026	0.011	0.977
Variação explicada por componente (%)	38,79	17,93	17,86
Variação total explicada (%)	74,59		

Tamanho amostral: 750 informações computadas para análise.

Com isso é possível compreender que a modelagem topográfica é primordial para garantir o desempenho adequado dos locais de treinamento e competição, visto ao impacto gerado pela topografia nas respostas mecânicas superficiais. Estes resultados vão de encontro aos descritos por Hobbs et al. (2014), Van Der Heijden et al. (2017) e Herholz et al. (2023), no que diz respeito a influência das variações altimétricas sobre as o comportamento destas áreas, assim como, também é possível aplicar a friabilidade para auxiliar no entendimento, pois tal processo descreve o movimento da superfície em função da topografia (Silva et al., 2021).

As propriedades PMP e profundidade demonstram similaridade na aplicação da técnica, onde ambas podem ser vistas como explicativas em conjunto com a umidade no PC1, o que ressalta importância já descrita destas variáveis para a dinâmica do comportamento mecânico de superfícies equestres (Hobbs et al., 2014). Neste estudo foi possível calcular de forma inédita o efeito específico da topografia, o que impacta positivamente os modelos construtivos futuros e reforça a importância da modelagem topográfica para garantia da segurança e funcionalidade das superfícies equestres, pois ela foi responsável por 17,93% do comportamento mensurado.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível mensurar o impacto da topografia sobre a dinâmica do comportamento mecânico de superfícies equestres, demonstrando que a mesma exerce efeito preponderante sobre a resposta superficial.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCO, M. A. et al. An Experimental Comparison of Simple Measurements Used for the Characterization of Sand Equestrian Surfaces. **Animals** v. 11, p. 2896, 2021. doi.org/10.3390/ani11102896.

BRUCH, A. F., Cirolini, A., Thum, A. B., Carneiro, M. Avaliação da acurácia das cubagens de volumes de mineração através de levantamentos convencionais e fotogramétricos. **Revista Brasileira de Geografia Física** 12, 283 – 298, 2019. DOI: <https://10.26848/RBGF.V12.1.P283-298>.

BUSNELLO, F. J., Tecchio, D., Isoton, F. Acurácia entre levantamento topográfico com gnss pós processamento e rtk para atender ao georreferenciamento de imóveis rurais. **Revista Tecnológica** 4, 16 – 25, 2016. Disponível em: <https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/106>.

CHATEAU, H. et al. Design and validation of a dynamometric horseshoe for the measurement of three-dimensional ground reaction force on a moving horse. **Journal of Biomechanics** v. 42 (3), p. 336 – 340, 2009. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.11.017.

HERHOLZ, C., Siegart, J., Nussbaum, M., Studer, M. H. P., 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:<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2023.104909>.

HOBBS, S. J. et al. **Equine Surfaces White Paper**. FEI Publication, 2014. <http://www.fei.org/fei/about-fei/publications/fei-books>.

LIENHART, W. Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions. *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 7, 315 – 324, 2017. DOI: <https://10.1007/s13349-017-0228-5>.

NORTHROP, A. J. et al. Spatial Variation of the Physical and Biomechanical Properties Within an Equestrian Arena Surface. **Procedia Engineering** v.147, p. 866 – 871, 2016.

PEHAM, C.; Schramel, J. P. **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. 2017.

PETERSON, M. L.; McIlwraith, W. C.; Reiser, R. F. Development of a system for the in-situ characterisation of thoroughbred horse racing track surfaces. **Biosystems Engineering** v. 101 (2), p. 260 – 269, 2008. doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.07.007.

PIZZI, G. L. B. L. et al. 2D Kinematic Analysis of the Esbarrada and Volta Sobre Patas Manoeuvres of Criollo Breed Horses Competing in Freio de Ouro. **Animals** 14, 241, 2024. DOI:<https://doi.org/10.3390/ani14162410>.

SILVA, T. P. et al. 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, 2021. DOI: <https://10.1016/j.still.2021.105028>.

VAN DER HEIJDEN, J. R. et al. **Geotechnical properties of equestrian riding surfaces**. 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Seoul), 2017. Disponível em: <https://www.issmge.org/publications/publication/geotechnical-properties-of-equestrian-riding-surfaces>.

WHEELER, E., ZAJACZKOWSKI, S. **Riding arena footing materials**. In: **Wheeler, E. (ed.) Horse stable and riding arena design**. 1st ed. Blackwell Publishing, Malden, UK 267 – 278, 2006. Disponível em: <https://extension.psu.edu/riding-arena-footing-material-selection-andmanagement>.