

# Efeito da exposição solar do terreno, da densidade e da gestão de um montado de azinheira no Alentejo em algumas propriedades físicas do solo

## Effects of solar exposure, density and management of a holm oak forest in the Alentejo on some physical properties of the soil

Regis Cassino Junior<sup>1,2,3,\*</sup>, Arthur A. J. Lima<sup>1,2</sup>, Vinícius Okada<sup>1,2</sup>, Bruna Reis<sup>4</sup>, Adriana Príncipe da Silva<sup>4</sup>, Alice Nunes<sup>4</sup> & Tomás de Figueiredo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Instituto de Ciências da Terra (ICT), Polo da Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

<sup>4</sup> Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes & CHANGE – Global Change and Sustainability Institute, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, C2, Piso 5, 1749-016 Lisboa, Portugal

(\*E-mail: regis.junior@ipb.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.38558>

Recebido/received: 2024.08.31

Aceite/accepted: 2024.10.25

### RESUMO

A região do Alentejo, no sul de Portugal, enfrenta alta suscetibilidade à desertificação e seca devido ao clima mediterrânico seco e quente. O montado, é vital para a paisagem, biodiversidade e equilíbrio ambiental. No Baixo Alentejo, a Herdade da Coitadinha, em Barrancos, promove o desenvolvimento sustentável, buscando aumentar a resiliência do montado. Este estudo investigou como a cobertura de copa, exposição solar e regime de pastoreio afetam propriedades físicas do solo em áreas de montado de azinho na Herdade da Coitadinha. Foram coletadas amostras de solo superficial (0-5 cm) em diferentes condições de densidade de copa, exposição solar e pastoreio. A densidade aparente, porosidade total e permeabilidade foram analisadas. Os resultados mostraram que o pastoreio foi o fator mais influente na densidade aparente ( $p < 0,0001$ ). A porosidade foi influenciada negativamente pelo pisoteio e baixa cobertura de copa ( $p < 0,05$ ). As médias de permeabilidade inicial e final ( $K_i$  e  $K_f$ ) foram inferiores nas zonas pisoteadas ( $K_i=39,5$  e  $K_f=54,19$  cm/h) relativamente às de exclusão ( $K_i=231,3$  e  $K_f=259,1$  cm/h). O estudo ressalta a importância do manejo do gado e da cobertura vegetal para a conservação e resiliência do montado, fornecendo pontos importantes para medidas de conservação e adaptação às ameaças futuras.

**Palavras-chave:** Alentejo, Montado, resiliência, propriedades físicas do solo

### ABSTRACT

The Alentejo region, in southern Portugal, is highly susceptible to desertification and drought due to its hot, dry Mediterranean climate. The “*montado*”, is vital for the landscape, biodiversity and environmental balance. In the Baixo Alentejo region, “*Herdade da Coitadinha*”, in Barrancos, promotes sustainable development, seeking to increase the resilience of the “*montado*”. This study investigated how canopy cover, sun exposure and grazing regime affect soil physical properties in areas of holm oak forest at Herdade da Coitadinha. Topsoil samples (0-5 cm) were collected under different conditions of canopy density, sun exposure and grazing. Bulk density, total porosity and permeability were analysed. The results showed that grazing was the most influential factor on bulk density ( $p < 0.0001$ ). Porosity was negatively influenced by management and canopy cover ( $p < 0.05$ ). The average initial and final permeability ( $K_i$  and  $K_f$ ) were lower in the trampled areas ( $K_i=39.5$  and  $K_f=54.19$  cm/h) than in exclusion areas ( $K_i=231.3$  and  $K_f=259.1$  cm/h). The study emphasises the importance of cattle management and vegetation cover for the conservation and resilience of the holm oak forest, providing important insights for conservation measures and adaptation to future threats.

**Keywords:** Alentejo, Montado, resilience, soil physical properties

## INTRODUÇÃO

O Alentejo, na zona sul de Portugal, insere-se na faixa de clima temperado com verão quente e seco (Csa), segundo Köppen Geiger (IPMA, 2010). A região é caracterizada por acentuada aridez com grande déficit de água no solo, e severa suscetibilidade à desertificação (ICNF, 2018). Esta região tende a ter sua produtividade reduzida devido à falta de água, às temperaturas elevadas e a outros impactos causados por eventos extremos, como secas e ondas de calor (Rosário, 2004; Vizinho *et al.*, 2021).

O Montado é um elemento central na paisagem tradicional do Alentejo, constituindo-se como sistema agro-silvo-pastoral com uma estrutura de tipo savana, formando um extenso mosaico composto por sobreiros e azinheiras (Pinto-Correia *et al.*, 2011). Este sistema agrário é reconhecido pela sua especificidade e valor enquanto paisagem particular, suporte da biodiversidade, estética singular e atratividade para o recreio e equilíbrio ambiental.

A gestão adequada do solo em zonas áridas é crucial para mitigar os impactos da desertificação e garantir a sustentabilidade destes territórios (Sarpas *et al.*, 2020). A erosão e a perda de qualidade do solo pela sua compactação são problemas que podem ser intensificados pela escassez de água e pela gestão inadequada do solo, como é o caso do sobrepastoreio e do uso intensivo da terra (Nasir Ahmad *et al.*, 2020; Centeri, 2022; Chaplot e Mutema, 2022). O intenso pisoteio por animais, leva a compactação do solo que é responsável por aumentar sua densidade aparente e reduzir a porosidade, limitando a capacidade de infiltração da água (Centeri, 2022, Chaplot e Mutema, 2022).

Isso tende a aumentar o escoamento superficial (Nasir Ahmad *et al.*, 2020). Assim, o pisoteio excessivo não só deteriora a estrutura física do solo, mas também agrava o processo erosivo, criando um ciclo de degradação de difícil reversão. Sem uma gestão eficiente, o solo perde sua capacidade de reter água e nutrientes, comprometendo a capacidade de suporte das paisagens naturais (Gavrilescu, 2021). A implementação de práticas de conservação do solo, como a manutenção da cobertura vegetal e o controle do pisoteio animal, é essencial para preservar a integridade do solo e assegurar a resiliência ecológica e económica das zonas áridas face

às mudanças climáticas e à crescente pressão sobre os recursos naturais (Chaplot e Mutema, 2022).

O Parque de Natureza de Noudar (PNN)/Herdade da Coitadinha, inserido no montado, é constituído por uma formação de sobreiros e azinheiras em densidades variáveis, que recobrem um relevo ondulado associado a uma rotação de culturas, pousios e pastos (Pinto-Correia & Mascarenhas, 1999; Pinto-Correia *et al.*, 2011), os quais concebem diferentes cargas de pisoteio por animais em locais limitados dentro do parque. A vulnerabilidade futura da região às alterações climáticas, ao uso intensivo da terra e à erosão, motiva este parque a melhorar e aumentar a resiliência de suas paisagens. Este trabalho teve como objetivo investigar diferenças na densidade aparente, porosidade e permeabilidade do solo determinadas por diferentes condições de cobertura de copa, exposição do terreno e regime de pastoreio em áreas de montado de azinheira na Herdade da Coitadinha.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Município de Barrancos, Baixo Alentejo, apresenta clima mediterrânico, com médias anuais de temperaturas entre 16 e 17,5 °C (Sérgio *et al.*, 2006), e de precipitação entre 400 e 800 mm. Comunidades arbustivas mediterrânicas e manchas florestais (montado de carvalhos e bosques de sobreiros) são as formações vegetais dominantes. O Parque de Natureza de Noudar (PNN), na Herdade da Coitadinha, Barrancos, com 991 ha e coordenada central em 38° 10' 35.961" N e 7° 2' 1.184" O, é uma área protegida onde domina o montado (Vizinho *et al.*, 2021), que é gerido no propósito da manutenção da diversidade dos sistemas silvo-pastoris e do desenvolvimento sustentável da região.

O trabalho comportou a amostragem de solos em 2 campanhas de campo no PNN (maio e novembro de 2023) e a análise laboratorial no Instituto Politécnico de Bragança (IPB), das amostras não perturbadas colhidas na camada 0-5 cm em cilindro de 100 cm<sup>3</sup>.

A amostragem foi conduzida em montado de azinheira no PNN, em manchas previamente definidas, correspondentes à combinação de 3 variáveis de terreno, com 2 modalidades cada: densidade de

cobertura de copa das azinheiras (A, alta e B, baixa), exposição à radiação solar (A, alta e B, baixa) e gestão do pastoreio por gado bovino (A, com pastoreio e E, com exclusão). Em cada uma das 8 combinações do delineamento foram tomadas amostras em 5 pontos (40 no total). Os pontos corresponderam a azinheiras selecionadas aleatoriamente de entre as representativas do porte e estado vegetativo das encontradas na mancha.

Numa primeira campanha de amostragem, em cada ponto obteve-se uma amostra compósita de 500 cm<sup>3</sup>, agregando 5 subamostras tomadas em torno da árvore selecionada nos quadrantes Norte, Sul, Leste e Oeste e numa quinta direção cardinal aleatória. Uma segunda amostragem foi realizada, com idêntico procedimento, em 6 dos pontos anteriores, com vista a avaliar especificamente o efeito da modalidade de gestão do pastoreio (A e E) na permeabilidade, bem como em outras propriedades físicas. Para tanto, foram apenas selecionados pontos em áreas de baixa densidade de copa, com a hipótese de que esse efeito poderia ser aí mais evidente. Nesta campanha foram tomadas 4 amostras por ponto (descartando o local aleatório da amostragem anterior), num total de 24, preservadas nos cilindros de colheita.

As determinações laboratoriais nas amostras da primeira campanha incluíram a humidade, por secagem na estufa a 105° C durante 48 horas, e a densidade real (Dr), pela avaliação do volume de água deslocado em proveta, após imersão das amostras secas pelo “*volume displacement method*” (Robert *et al.*, 2019). A densidade aparente (Dap) foi calculada dividindo o peso da amostra seca pelo volume amostrado, e a porosidade total (P) por  $P=1-(Dap/Dr)$ .

Os cilindros colhidos na segunda campanha foram colocados, após saturação por 48h, em permeâmetro de carga constante e circuito fechado para avaliação da permeabilidade saturada do solo, baseada em leituras de caudal e carga hidráulica em 4 dias consecutivos. A permeabilidade inicial (Ki) corresponde à 1ª leitura e a final (Kf) à média das 3 seguintes.

O tratamento estatístico dos resultados foi realizado em folha de cálculo (Excel), incluindo estatística descritiva e análise de variância (ANOVA) para identificar a significância dos efeitos das variáveis

do terreno consideradas no delineamento da amostragem nas propriedades físicas determinadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos (Quadro 1) mostram que o efeito da densidade de cobertura de copa das azinheiras não se traduziu em diferença estatisticamente significativa na Dap dos locais de maior e menor cobertura ( $p=0,515$ ), com médias similares (cobertura alta, 1,163 g/cm<sup>3</sup>; cobertura baixa, 1,185 g/cm<sup>3</sup>), observação que se repetiu de forma mais evidente no caso do efeito da exposição do terreno à radiação solar ( $p=0,917$ ). Pelo contrário, o efeito da gestão do pastoreio na Dap foi estatisticamente significativa ( $p<0,0001$ ), sendo a Dap em média maior em áreas de pastoreio (1,233 g/cm<sup>3</sup>) do que em áreas de exclusão (1,116 g/cm<sup>3</sup>).

Estes resultados mostram que o pisoteio pelo gado aumenta a compactação do solo, aumentando a sua densidade aparente, e que a exclusão é eficaz na redução da compactação. De facto, a redução no indicador de grau de compactação que é a Dap é de 10% relativamente aos locais em regime de pastoreio, situação potencialmente favorável à infiltração, ao arejamento do solo e ao crescimento radicular nas áreas de exclusão. Cubera e Moreno (2007) e Chplot e Mutema (2022) notam que a pressão de pisoteio produz mudanças principalmente na estrutura superficial do solo. Cubera e Moreno (2007), com base em medições de resistência à penetração, identificaram contrastes no grau de compactação em áreas de exclusão (0,8 kg cm<sup>-2</sup>), e em zonas pisoteadas (4,2 kg cm<sup>-2</sup>).

O pisoteio também teve um efeito significativo na porosidade do solo ( $p < 0,0001$ , Quadro 1). Neste a propriedade, a cobertura de copa teve um efeito significativo ( $p=0,0198$ ), mas, tal como no caso da Dap, o efeito da exposição do terreno a maior ou menor radiação solar foi significativo ( $p=0,559$ ). A pressão exercida pelo pisoteio do gado em pastoreio impacta diretamente o volume de poros do solo, o qual é essencial para a manutenção de um ambiente saudável para as raízes das plantas. Dasgheyb Shirazi *et al.* (2021) avaliaram que ao implementar a exclusão de pisoteio, a porosidade do solo diminuiu, de modo significativo ( $p<0,05$ ), de 52,4% para 47,3% em relação às zonas de pastoreio livre e

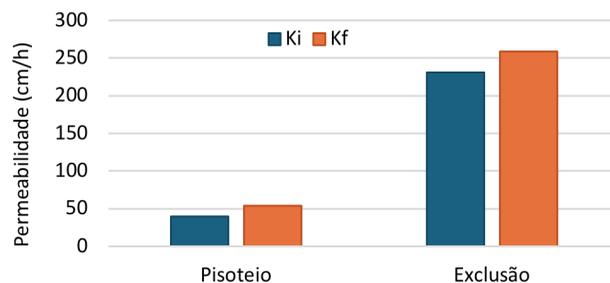
a uma diminuição de um quinto no índice de erodibilidade do solo.

Por sua vez, a permeabilidade do solo (Ki e Kf) mostrou resultados concordantes com os da Dap. O pisoteio pelo gado tornou o solo significativamente menos permeável ( $p=0,0003$ ) relativamente às áreas de exclusão de pastoreio. Como se mostra na Figura 1, as médias de Ki e Kf foram muito inferiores nas zonas pisoteadas (Ki=39,5 e Kf = 54,19 cm/h, respetivamente) relativamente às de exclusão (Ki=231,3 e Kf=259,1 cm/h).

Estes resultados indicam que o pisoteio compromete as condições de movimento de água no solo, tornando-o mais compacto e menos permeável. Wu *et al.* (2022) observaram que nos locais de pisoteio a infiltração e redistribuição de água no solo foram menores e menos profundas do que nos locais de exclusão ( $p<0,05$ ).

**Quadro 1** - Efeito das variáveis do terreno na densidade aparente, porosidade total e capacidade de campo do solo: resultados da análise de variância

Variáveis do terreno	Dap ( $g/cm^3$ )		Porosidade	
	Média	valor-p	Média	valor-p
Cobertura A	1,163		0,432	
Cobertura B	1,185	0,515	0,410	0,019
Radiação A	1,176		0,417	
Radiação B	1,172	0,917	0,425	0,559
Pastoreio A	1,233		0,391	
Pastoreio E	1,115	< 0,000	0,452	< 0,000



**Figura 1** - Permeabilidade inicial (Ki) e final (Kf) média em zonas de pastoreio e exclusão.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que, no montado de azinheiras amostrado, o pisoteio piora as condições de compactação, de espaço poroso e movimento de água no solo ao mostrar diferenças significativas nos valores médios de densidade aparente, porosidade e permeabilidade em áreas de pastoreio e de exclusão. A densidade das copas das azinheiras teve também um efeito significativo na porosidade. Sublinha-se a importância de considerar os efeitos do pisoteio e da cobertura das copas na gestão do montado de azinheiras, com vista a proporcionar condições físicas adequadas e promover a sustentabilidade deste sistema agro-silvo-pastoril.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto LandUnderPressure (EEA Grants, Project 10, Call#5) pelo suporte financeiro deste trabalho. Agradecem também ao financiamento nacional pela FCT, Fundação para Ciência e a Tecnologia e a Fundação Coa Parque, no âmbito da bolsa de doutoramento PRT/BD/154880/2023 de Regis Pacheco Cassino Junior.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cubera, E. & Moreno, G. (2007) - Effect of land-use on soil water dynamic in dehesas of Central–Western Spain. *Catena*, vol. 71, n. 2, p. 298–308. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2007.01.005>
- Dastgheyb Shirazi, S.S.; Ahmadi, A.; Abdi, N.; Toranj, H. & Khaleghi, M.R. (2021) - Long-term grazing enclosure: implications on water erosion and soil physicochemical properties (case study: Bozdaghin rangelands, North Khorasan, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 193, art. 51. <https://doi.org/10.1007/S10661-020-08819-9>
- Centeri, C. (2022) - Effects of Grazing on Water Erosion, Compaction and Infiltration on Grasslands. *Hydrology*, vol. 9, n. 2, art. 34. <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY9020034>
- Gavrilescu, M. (2021) - Water, Soil, and Plants Interactions in a Threatened Environment. *Water*, vol. 13, n. 19, art. 2746. <https://doi.org/10.3390/W13192746>
- ICNF (2018) – *WebGIS Observatório Nacional de Desertificação*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. [cit. 2024.08.20]. <https://www.icnf.pt/conservacao/ambitointernacional/combateadesertificacao>
- IPMA (2010) - *Clima Normais*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [cit. 2024.08.24]. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true>
- Nasir Ahmad, N.S.B.; Mustafa, F.B.; Muhammad Yusoff, S.Y. & Didams, G. (2020) - A systematic review of soil erosion control practices on the agricultural land in Asia. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 8, n. 2, p. 103–115. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2020.04.001>
- Pinto-Correia, T. & Mascarenhas, J. (1999) - Contribution to the extensification/intensification debate: new trends in the Portuguese montado. *Landscape and Urban Planning*, vol. 46, n. 1–3, p. 125–131. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00036-5)
- Pinto-Correia, T.; Ribeiro, N. & Sá-Sousa, P. (2011) - Introducing the montado, the cork and holm oak agroforestry system of Southern Portugal. *Agroforestry Systems*, vol. 82, n. 2, p. 99–104. <https://doi.org/10.1007/S10457-011-9388-1>
- Chaplot, V. & Mutema, M. (2022) - Impact of Overgrazing on Diffuse and Concentrated Erosion: Case Study in the Sloping Lands of South Africa. *Hydrology*, vol. 9, n. 7, art. 121. <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY9070121>
- Robert, U. Etuk, S. & Agbasi, O. (2019) – Modified Water Displacement Method and its Use for Determination of Bulk Density of Porous Materials. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, vol. 2, n. 1, 16 p. <https://doi.org/10.25299/rem.2019.2292>
- Rosário, L. do (2004) - *Indicadores de desertificação para Portugal continental*. Direção-Geral dos Recursos Florestais.
- Sarparast, M.; Ownegh, M. & Sepehr, A. (2020) - Evaluating the impacts of combating-action programs on desertification hazard trends: A case study of Taybad-Bakharz region, northeastern Iran. *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 7, art. 100043. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2020.100043>
- Sérgio, C.; Brugués, M.; Cros i Matas, R.M.; García, C. & Louro, T. (2006) - A new important Mediterranean area for bryophytes in Portugal: Barrancos (Baixo Alentejo). *Boletín de La Sociedad Española de Briología*, vol. 29, p. 25-34.
- Vizinho, A.; Avelar, D.; Branquinho, C.; Lourenço, T.C.; Carvalho, S.; Nunes, A.; Sucena-Paiva, L.; Oliveira, H.; Fonseca, A.L.; Santos, F.D.; Roxo, M.J. & Penha-Lopes, G. (2021) - Framework for Climate Change Adaptation of Agriculture and Forestry in Mediterranean Climate Regions. *Land*, vol. 10, n. 2, art. 161. <https://doi.org/10.3390/LAND10020161>
- Wu, X.; Dang, X.; Meng, Z.; Fu, D.; Cong, W.; Zhao, F. & Guo, J. (2022) - Mechanisms of grazing management impact on preferential water flow and infiltration patterns in a semi-arid grassland in northern China. *Science of the Total Environment*, vol. 813, art. 152082. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152082>