

Utilização de LiDAR na identificação de vestígios glaciários na Serra da Peneda

Using LiDAR to identify glacial vestiges in Serra da Peneda (Portugal)

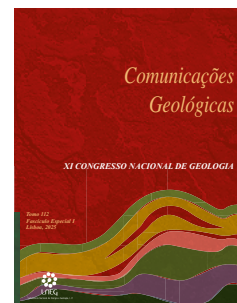
P. Pereira^{1*}, R. Henriques¹, D. I. Pereira¹

DOI: <https://doi.org/10.34637/gr9q-zk85>

Recebido em 12/10/2023 / Aceite em 05/03/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Resumo: Foram utilizados dados LiDAR obtidos por veículos aéreos para deteção de vestígios glaciários na Serra da Peneda. Um levantamento LiDAR regional com uma distância de amostragem de 60 cm/pixel serviu de base a um MDT (modelo digital de terreno) para analisar toda a área afetada pela glaciação. Foram realizados levantamentos LiDAR de proximidade (distância de amostragem no solo de 3,25 cm/pixel) em sectores cobertos por vegetação arbustiva para a produção de MDT detalhados. Os resultados obtidos mostram que alguns dos vestígios glaciários apenas são detetados com LiDAR, tendo sido identificadas moreias e geoformas de erosão não conhecidas anteriormente, permitindo uma delimitação mais precisa da extensão máxima da glaciação na Serra da Peneda.

Palavras-chave: deteção remota, LiDAR, moreias, modelo digital de terreno

Abstract: Airborne LiDAR data were used to detect glacial vestiges in Serra da Peneda (northern Portugal). A wide-range survey, with ground sampling distance of 60 cm/pixel served as basis for a DEM (digital elevation model) to analyse the whole area affected by glaciation. Proximity LiDAR surveys (ground sampling distance of 3.25 cm/pixel) in sectors covered with shrub vegetation were processed for the production of detailed DEMs. The results obtained show that some of the glacial vestiges are only detected with LiDAR, having identified moraine and erosion features not previously known, allowing a more accurate delimitation of the maximum extent of glaciation in Serra da Peneda.

Keywords: remote sensing, LiDAR, moraines, digital elevation model

¹ Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

* Autor correspondente / Corresponding author: paolo@dct.uminho.pt

1. Introdução

Vestígios geomorfológicos e sedimentológicos nas montanhas do noroeste de Portugal testemunham uma glaciação de baixa altitude e condicionada pela orientação das vertentes e pela precipitação (Pereira e Pereira, 2020). Estes vestígios foram caracterizados em vários trabalhos, destacando-se a sua cartografia e a delimitação da extensão da glaciação, principalmente na Serra do Gerês. Na Serra da Peneda, a reconstituição da glaciação não é tão consensual, sobretudo devido à maior escassez de vestígios, limitados ao setor ocidental da

montanha (Figura 1) e à sua descontinuidade espacial, o que dificulta a interpretação e sugere diferentes episódios de glaciação.

Os primeiros trabalhos de reconhecimento da glaciação da Peneda (Daveau, 1977; Coudé-Gaussen, 1978, 1979; Coudé, 1983) surgiram já depois da criação, em 1971, do Parque Nacional da Peneda-Gerês (PNPG), cujos limites não incorporam alguns dos vestígios glaciários principais, como são os casos do vale glaciário do Alto Vez e dos blocos erráticos que aí ocorrem. O interesse pela investigação sobre a glaciação da Serra da Peneda ressurgiu com alguns trabalhos a focar-se na caracterização de geoformas de erosão e de acumulação e de vários tipos de sedimentos glaciários (Pereira *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2013, 2015; Martins *et al.*, 2014; Calicis, 2017) bem como, mais recentemente, na reconstituição dos episódios de glaciação na sua dimensão espacial (Figueira, 2022; Figueira *et al.*, 2023) e na sua datação (Pereira *et al.*, 2022).

No entanto, os resultados apresentados sobre os vestígios glaciários na Serra da Peneda não são consensuais, gerando dúvidas quanto às suas origem e extensão. Algumas formas de erosão (circos, rochas aborregadas) e de acumulação (moreias) glaciárias admitidas como tal poderão não ter resultado diretamente da dinâmica dos glaciares, mas antes da meteorização química dos granitos ou de processos fluvio-glaciários, por exemplo. De igual forma, existem áreas de difícil observação, onde as metodologias tradicionais (trabalhos de campo, fotografia aérea) não permitem garantir a melhor interpretação. Nesse sentido, com vista contribuir para o melhor conhecimento da glaciação na Serra da Peneda, desenvolveu-se um trabalho que conjuga técnicas de deteção remota de diferentes tipos.

2. Materiais e métodos

Numa primeira etapa, foi realizada uma identificação de geoformas e depósitos glaciários e periglaciários, com base em levantamentos de campo e em análise de fotografia aérea. Procedeu-se posteriormente à obtenção e à análise de modelos digitais de terreno (MDT) obtidos por LiDAR (Light Detection and Ranging), com o objetivo de se identificar eventuais vestígios não perceptíveis através de meios convencionais. A tecnologia LiDAR permite medir distâncias com base no tempo entre a emissão e a receção de sinais laser (Dong e Chen, 2018). Sensores LiDAR aerotransportados podem efetuar essas medições com múltiplos registos por impulso emitido e têm vindo a ser usados para diversas finalidades por possibilitarem a penetração de sinais laser no coberto vegetal e, assim, permitirem

obter elevado detalhe do terreno. O uso de LiDAR em estudos de geomorfologia glaciária tem permitido avanços significativos na interpretação de geoformas a várias escalas. As geoformas

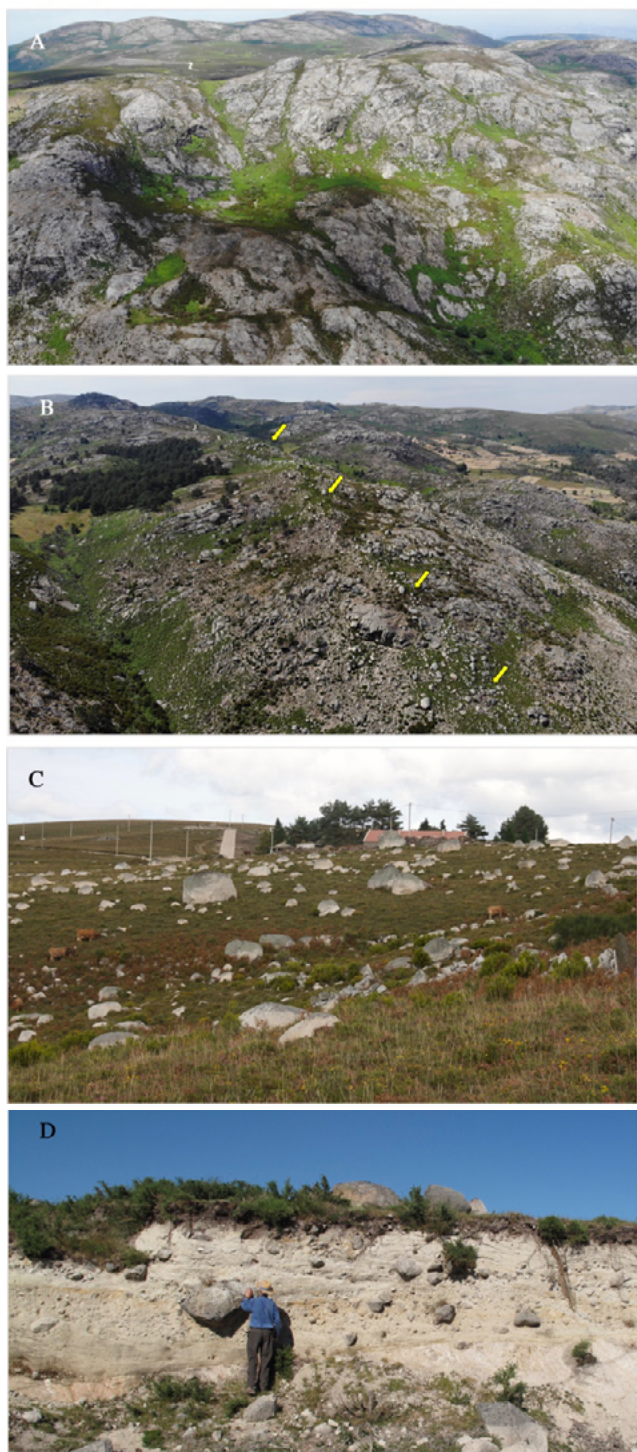


Figura 1. Exemplos de vestígios glaciários na Serra da Peneda: a) circo glaciário do Ramisquedo; b) moreia da Casa do Cavalo; c) blocos erráticos de N^o Sra. da Guia; d) till subglaciário do Couto de Caneja.

Figure 1: Examples of glacial vestiges in the Serra da Peneda: a) Ramisquedo glacial cirque; b) Casa do Cavalo moraine; c) N^o Sra. da Guia erratic blocks; d) Couto de Caneja subglacial till.

maiores (como por exemplo as moreias) são facilmente detetáveis em MDT produzidos com dados LiDAR de elevado detalhe, mas são as geoformas de média dimensão que beneficiam claramente da tecnologia. Estas são mais pequenas do que as que podem ser interpretadas na maioria dos mapas topográficos, mas muitas vezes demasiado subtis para serem detetadas no campo ou através da observação de fotografias aéreas (Johnson *et al.*, 2015).

Foram usados dados de um levantamento LiDAR contratado pela CIM (Comunidade Intermunicipal) do Alto Minho, efetuado em janeiro de 2018, com distância de amostragem no solo de 60 cm/pixel (Figura 2). Os dados de base foram processados utilizando-se as aplicações Agisoft Metashape (versão 1.84) e QGIS (versão 3.28). Foram produzidas imagens de contraste e um MDT que permitiu a análise da totalidade da área afetada pela glaciação.

Foram também efetuados levantamentos LiDAR de proximidade em setores cobertos com vegetação arbustiva, utilizando-se o veículo aéreo não transportado (VANT) DJI Matrice 300 RTK montado com o LiDAR DJI ZENMUSE L1, com uma distância de amostragem no solo de 3,25 cm/pixel. Os dados do levantamento foram processados para a produção de vários MDT de pormenor.

3. Resultados

Os resultados obtidos evidenciam que a deteção de vestígios glaciários beneficia do uso de dados LiDAR, tendo-se identificado cordões morénicos, cristas e superfícies de erosão não conhecidas anteriormente nos setores de Gorbelas-Junqueira e do Alto Vez (Figura 3). Foi possível interpretar melhor a dimensão do pequeno vale glaciário na Branda da Gêmea (Figura 4), bem como os processos de nivação a sul do maciço da Pedrada, correspondendo a pequenas línguas isoladas do glacier principal.

Verificou-se também que alguns elementos são mais facilmente identificados em fotografia aérea (por exemplo, moreias descobertas de vegetação ou blocos erráticos dispersos; Figs. 2b e 2c) ou no campo (por exemplo, geoformas erosivas de pormenor como estrias e polimentos).

4. Conclusões

O advento da tecnologia LiDAR proporcionou avanços significativos em vários ramos das ciências que fazem uso da deteção remota, como é o caso da geomorfologia. Na investigação sobre geoformas glaciárias, são muitos os casos em que o recurso a dados LiDAR tem contribuído para novas descobertas e/ou melhoria do conhecimento.

A investigação feita na Serra da Peneda com o uso de dados LiDAR permitiu descobrir e esclarecer dúvidas sobre alguns dos vestígios glaciários que aí ocorrem, com destaque para cordões morénicos, cristas e superfícies de erosão. Nos casos de pormenor analisados, o levantamento LiDAR de elevado detalhe realizado não demonstrou grandes vantagens relativamente aos dados LiDAR de menor resolução. A inexistência de vegetação arbórea nos setores mais elevados da serra e a ocorrência de vegetação arbustiva de reduzida altura contribuem para que os dados de menor resolução sejam suficientes para a deteção de formas de média dimensão. Nas áreas sem qualquer vegetação a fotografia aérea e a observação no campo oferecem mais garantias na deteção dos vestígios.

O vale glaciário na Branda da Gêmea e os nichos de nivação a sul do maciço da Pedrada parecem indiciar que houve períodos com línguas isoladas do glacier principal. Estes dados, conjugados com observações de campo e de fotografia aérea e com datações absolutas da exposição cosmogénica de blocos morénicos (Pereira *et al.*, 2022), são fundamentais para a caracterização dos episódios de glaciação nas montanhas do norte de Portugal.

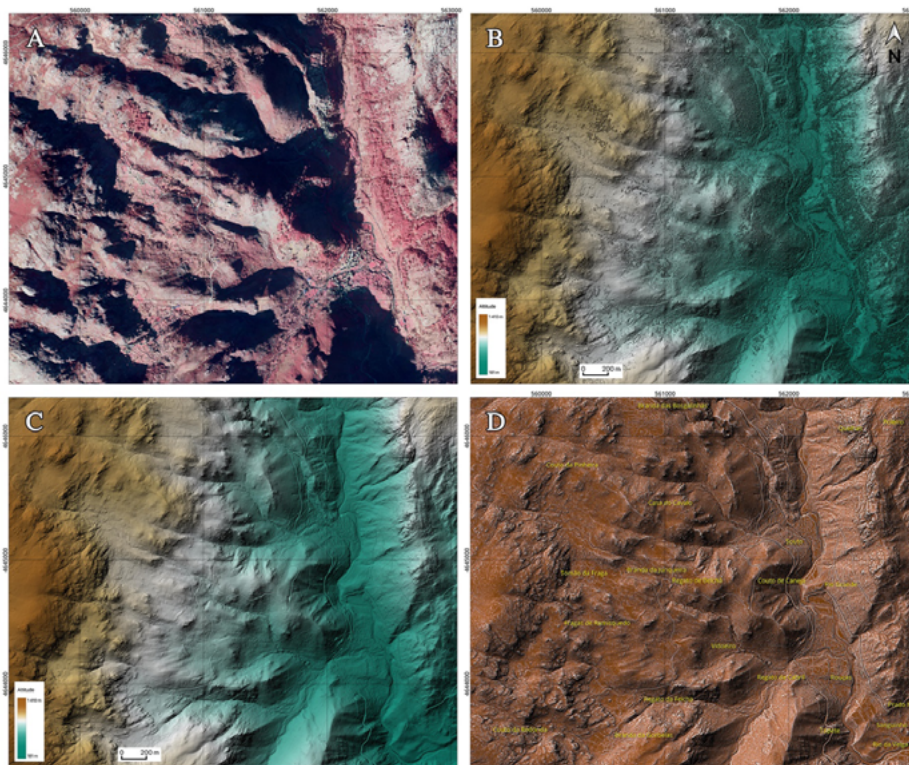


Figura 2. Processamento de dados LiDAR com recurso aos softwares Agisoft Metashape (versão 1.84) e QGIS (versão 3.28) para interpretação de vestígios glaciários da Serra da Peneda (imagem selecionada do setor da Gavieira): a) modelo superficial construído com base em nuvem de pontos (2 pontos por m²); b) interpolação por inverse distance weighting (IDW) para obtenção de modelo digital de superfície (MDS); c) aplicação de filtro para eliminação de vegetação e produção de modelo digital de terreno (MDT); d) MDT processado com filtro high-pass para obtenção de contraste em pequenas irregularidades na superfície, com sobreposição de sombras com a ferramenta multiply layer mixing do QGIS e com testes de escalas de cor para salientar a rugosidade.

Figure 2: Processing of LiDAR data using Agisoft Metashape (version 1.84) and QGIS (version 3.28) for interpreting glacial vestiges in the Serra da Peneda (selected image of the Gavieira area): a) surface model built on the basis of a point cloud (2 points per m²); b) interpolation by inverse distance weighting (IDW) to obtain a digital surface model (DSM); c) application of a filter to eliminate vegetation and production of a digital elevation model (DEM); d) DEM processed with a high-pass filter to obtain contrast in small irregularities on the terrain, with overlapping of shadows with the multiply layer mixing tool in QGIS and with tests of colour scales to highlight roughness.

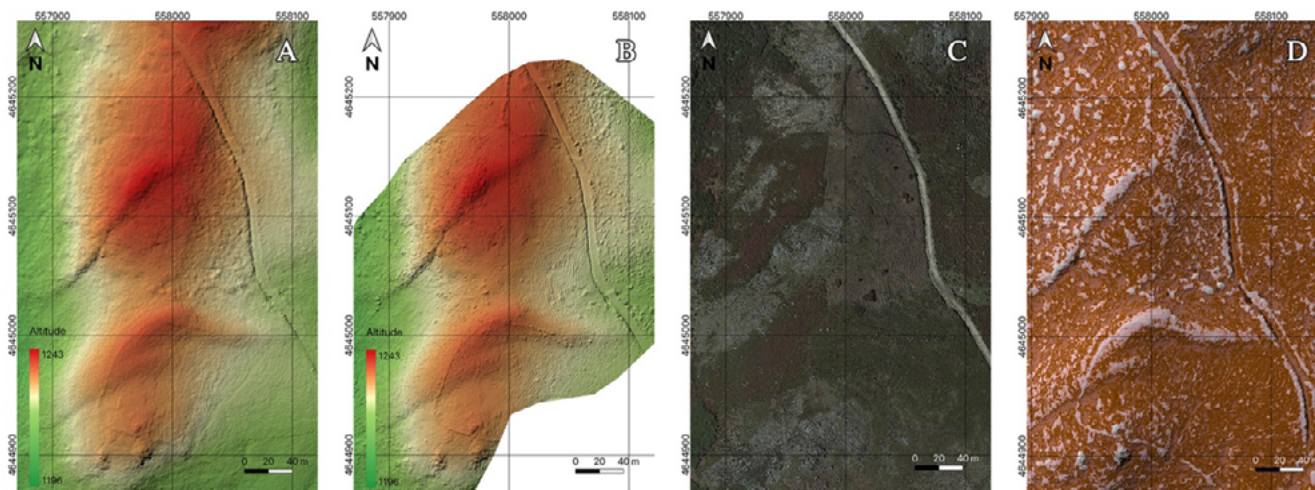


Figura 3. Exemplo de processamento de dados LiDAR em moreias localizadas no sector do Maranhão, na Serra da Peneda: a) fotografia aérea (Google Maps); b) modelo resultante de processamento em Agisoft Metashape (versão 1.84) e QGIS (versão 3.28), com contrastação de micro-relevos a partir do levantamento LiDAR CIM Alto Minho; c) Modelo digital de terreno (MDT) com base no levantamento LiDAR CIM Alto Minho (resolução de 60 cm/pixel); d) MDT com base em levantamento LiDAR de pormenor com VANT DJI Matrice 300 RTK e LiDAR DJI ZENMUSE L1 (resolução de 3,25 cm/pixel).

Figure 3 - Example of LiDAR data processing in moraines located in the Maranhão sector, Serra da Peneda: a) aerial photography (Google Maps); b) model resulting from processing in Agisoft Metashape (version 1.84) and QGIS (version 3.28), with contrasting micro-reliefs from the CIM Alto Minho LiDAR survey; c) digital elevation model (DEM) based on the CIM Alto Minho LiDAR survey (60 cm/pixel resolution); d) DEM based on a detailed LiDAR survey with a DJI Matrice 300 RTK UAV and DJI ZENMUSE L1 LiDAR (3.25 cm/pixel resolution).

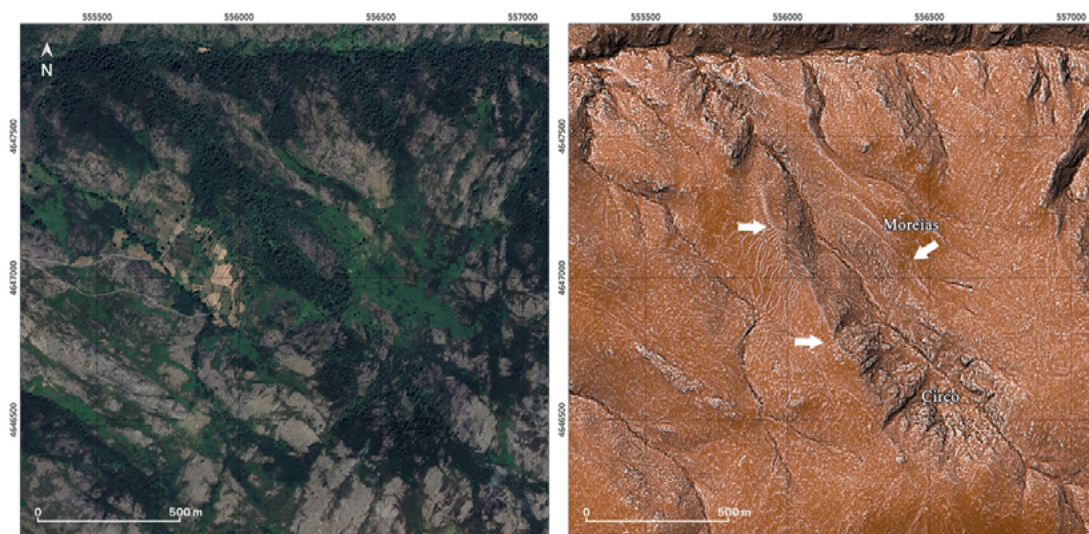


Figura 4 - Comparação entre fotografia aérea (Google Maps; imagem da esquerda) e modelo digital de terreno (MDT) com base no levantamento LiDAR CIM Alto Minho (resolução de 60 cm/pixel; imagem da direita) no setor da Branda da Gémea (Serra da Peneda), com a identificação de alinhamentos morênicos a ser claramente melhorada com o uso de dados LiDAR.

Figure 4 - Comparison between aerial photography (Google Maps; image on the left) and digital elevation model (DEM) based on the CIM Alto Minho LiDAR survey (60 cm/pixel resolution; image on the right) in the Branda da Gémea area (Serra da Peneda), with the detection of moraine alignments being clearly enhanced with LiDAR data.

Agradecimentos

À Comunidade Intermunicipal do Alto Minho pela possibilidade de utilização dos dados LiDAR e à empresa Firemap Lda. pela colaboração e pela disponibilização do VANT DJI Matrice 300 RTK e LiDAR DJI ZENMUSE L1. À Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento dos projetos UIDB/04683/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04683/2020>) e UIDP/04683/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDP/04683/2020>).

Referências

- Calicis, E., Silva, A., Marques, M., Martins, C., Pérez-Alberti, A., Gomes, A., 2017. Recurso a orto-imagens de VANT para a identificação e mapeamento dos testemunhos geomorfológicos da glaciação quaternária nas montanhas do Soajo-Peneda, Portugal. *Livro de Atas do 8º Congresso Nacional de Geomorfologia, Universidade do Porto*, 203-206
- Coudé-Gaussen, G., 1978. La glaciation du Minho au Pleistocène récent dans son contexte paléogéographique local et régional. *Géologie Méditerranéenne*, **5**: 339-358.
- Coudé-Gaussen, G., 1979. *Les Serras da Peneda et do Gerês (Minho-Portugal): Formes et formations d'origine froide en milieu granitique*. Thèse de Doctorat de 3^e Cycle, Université de Paris I – Panthéon-Sorbonne.
- Coudé, A., Coudé-Gaussen, G., Daveau, S., 1983. Nouvelles observations sur la glaciation des montagnes du Nord-Ouest du Portugal. *Cuadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe*, **5**: 381-393.
- Daveau, S., 1977. Um exemplo de aplicação da teledetecção à investigação geográfica. A glaciação quaternária das montanhas do Noroeste de Portugal. *Finisterra*, **12**: 156-159.
- Dong, P., Chen, Q., 2018. *LiDAR Remote Sensing and Applications*. CRC Press, Boca Raton.
- Figureira, E., 2022. *Cartografia Geomorfológica dos vestígios glaciários na Serra do Soajo: um contributo para o ordenamento do território no Parque Nacional Peneda-Gerês*. Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, Universidade do Porto.
- Figureira, E., Gomes, A., Pérez-Alberti, A., 2023. Pleistocene Glaciations of the Northwest of Iberia: Glacial Maximum Extent, Ice Thickness, and ELA of the Soajo Mountain. *Land*, **12**: 1226.
- Johnson, M., Fredin, O., Ojala, A., Peterson, G., 2015. Unraveling Scandinavian geomorphology: the LiDAR revolution, *GFF*, **137**: 245-251.
- Martins, C., Pereira, J., Pérez-Alberti, A., Gomes, A., 2014. A glaciação Plistocénica do Alto Vez (PNPG): Morfometria dos circos e espessura da língua glaciária. *Atas do Colóquio "A Jangada de Pedra - Geografias Ibero-Afro-Americanas"*, Associação Portuguesa de Geógrafos, 2091-2096.
- Pereira, P., Pereira, D.I., Casinhas, P., 2009. Novos dados sobre a glaciação no sector Gorbelas-Junqueira (Serra da Peneda). *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, **6**: 101-106.
- Pereira, P., Pereira, D.I., 2020. The Granite and Glacial Landscapes of the Peneda-Gerês National Park. In: Vieira, G., Zêzere, J.L., Mora, C. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Portugal*. Springer, 127-137.
- Pereira, P., Binnie, S., Dunai, T., Henriques, R., Pereira, D.I., 2022. On the age and extent of the Serra da Peneda glaciation, NW Portugal. *X International Conference on Geomorphology Abstracts*, Coimbra, ICG2022-605.
- Santos, J., Cunha, L., Vieira, A., Bento-Gonçalves, A., 2013. Genesis of the Alto Vez glacial valley Pleistocene moraines, Peneda Mountains, northwest Portugal. *Proceedings do 6º Congresso Português de Geomorfologia*, Coimbra, 57-62.
- Santos, J., Santos-González, J., Redondo-Vega, J.M., 2015. Glacial Till-Fabric analysis and origin of late Quaternary moraines in the Serra da Peneda Mountains, NW Portugal. *Physical Geography*, **36**: 1-18.