

Novas metodologias não-invasivas de prospecção arqueológica: o contributo das tecnologias geo-espaciais*

João Fonte**

1

Arqueologia digital da paisagem

No âmbito da Arqueologia Peninsular, assistiu-se, nos finais dos anos 80, a uma mudança na concepção do registo arqueológico. Este deixou de estar apenas centrado no sítio arqueológico, passando a conceber-se a uma escala mais ampla, convertendo-se o espaço, o território e a paisagem nos objectos a partir dos quais se constrói o próprio registo. O território é encarado como o resultado da acção do ser humano sobre a paisagem, que, por sua vez, consiste num produto sociocultural criado pela objectivação no espaço físico da acção social, tal como preconiza a Arqueologia da Paisagem (Criado Boado 1993, 1999).

* Dedicamos este trabalho a Francisco Sande Lemos, professor, colega e amigo.

** Laboratorio de Património; Consejo Superior de Investigaciones Científicas (LaPa-CSIC); Instituto de Estudos Galegos Padre Sarmiento, San Roque, 2, 15704 Santiago de Compostela – Espanha; joaofonte@gmail.com.

Os estudos da dimensão espacial e territorial em Arqueologia experimentaram um forte desenvolvimento durante os últimos trinta anos (McCoy e Lagefoged 2009), sobretudo mediante a aplicação e desenvolvimento de novas tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os quais oferecem uma grande capacidade analítica, não se limitando ao mero armazenamento de dados geográficos. A introdução destas novas tecnologias favoreceu a gestão eficaz da informação geo-espacial, permitindo incluir na análise arqueológica um ideal de objectivação baseado em cálculos sistemáticos que podem ser quantificados.

Contudo, a análise da territorialidade implica um necessário e prévio reconhecimento do território que forneça os dados necessários para a análise e interpretação territorial, mantendo, por isso, uma relação estreita e sequencial (García Sanjuán 2005). Deste modo, e como em qualquer disciplina científica, a recolha e preparação dos dados a partir de uma abordagem prévia de hipóteses de trabalho precede a análise e interpretação dos mesmos (*ibid.*).

Desenvolveram-se durante os últimos 20 anos um conjunto de métodos não invasivos de prospecção de superfície e de prospecção de subsolo para investigar, sobretudo, complexos sítios arqueológicos enterrados¹. Estes métodos pretendem reduzir o impacto de intervenções destrutivas, como a escavação arqueológica, que faculta um registo irreversível num momento único. A escavação arqueológica implica, na verdade, não só orçamentos dispendiosos e longas campanhas de trabalho, mas também exige um esforço contínuo de restauro e preservação das estruturas exumadas.

Por esta razão, têm sido aplicadas com sucesso diferentes abordagens não destrutivas a paisagens e sítios arqueológicos localizados em locais não povoados na actualidade, onde a ausência de edificações de época Contemporânea permite e favorece o teste de diferentes técnicas. Estas técnicas incluem a detecção remota, a prospecção geofísica, o registo sistemático de materiais de superfície, ferramentas de análise e visualização SIG, entre outras, permitindo uma abordagem verdadeiramente à escala da paisagem.

Normalmente, a área de trabalho definida caracteriza-se pela escolha de uma zona geográfica concreta, onde se localizou um conjunto de povoados que compartem um território interpretado como coerente desde o ponto de vista geográfico. Ao invés deste critério, a eleição de uma zona baseia-se, por vezes, em limites administrativos actuais, o que não é metodicamente correcto, posto que não tem porque existir coincidência territorial entre as circunscrições administrativas actuais e determinadas regiões históricas. Este factor reflecte, naturalmente, a ocorrência de quebras nas dinâmicas históricas e territoriais, em diferentes períodos.

Dado a cada vez maior relevância destas metodologias no âmbito do Património Cultural, foi recentemente publicado, por exemplo, um *special issue* do *Journal of Cultural Heritage*² dedicado monograficamente a temas relacionados com “remote sensing for Cultural Heritage management and documentation”.

2

Arqueologia aérea e detecção remota

Além da prospecção de superfície, a fotografia aérea é dos métodos de prospecção arqueológica mais antigos e populares (Brophy e Cowley 2005). Com base na observação directa a partir de aeronaves ou de fotografias aéreas já existentes, é possível detectar, documentar e interpretar arqueologicamente diversos restos materiais resultantes da actividade humana. No entanto, não se trata apenas de tirar fotografias, pois as potencialidades desta tecnologia vão muito para além da mera aquisição de dados, envolvendo também foto-interpretção, foto-rectificação, mapeamento em ambiente SIG e integração com outras informações arqueológicas³.

Diversos sítios arqueológicos tornam-se visíveis à superfície do solo, através de marcas de sombra, marcas no solo ou mesmo através de diferenças na altura e cor dos cereais cultivados. Estas características podem ser mais facilmente identificadas mediante observação aérea.

Existem dois tipos de técnicas, que podem ser úteis para a Arqueologia: fotografias aéreas verticais e oblíquas (Fig. 1). As fotografias aéreas verticais (Doneus 2001; Corns e Shaw 2008) são feitas com câmaras fotogramétricas especiais de medição, que são incorporadas num avião apontando directamente para baixo em linha recta. Enquanto tira as fotografias, o avião voa em ziguezague sobre uma determinada área, de modo que toda a área seja coberta pela sobreposição de fotografias. Esta sobreposição permite que as fotografias sejam

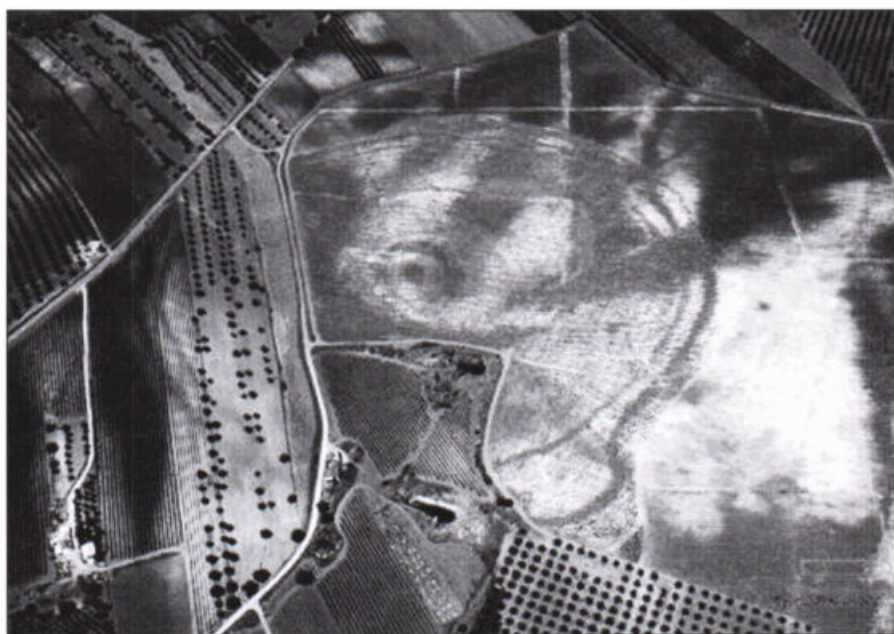


Fig. 1 – Fotografia aérea oblíqua do Povoado dos Perdigões (© Era-Arqueologia).

visualizadas por meio de estereoscópios (ou seja, em 3D). Além do mais, pelo facto de poderem ser ortorectificadas, torna-se possível efectuar medições exactas, já que todos os elementos apresentam a mesma escala, estando as fotografias livres de erros e deformações e tendo a mesma validade que um plano cartográfico. As fotografias aéreas oblíquas são tiradas no âmbito de voos de reconhecimento com vista à localização de marcas identificativas de sítios e de estruturas arqueológicas. Uma vez detectadas, as marcas são documentadas utilizando câmaras digitais. A principal vantagem das fotografias aéreas oblíquas é que as fotografias podem ser tomadas a partir da posição mais vantajosa, tendo em vista melhorar a interpretação, pelo que são sempre mais subjectivas. O passo final reside na foto-interpretação e mapeamento dos elementos arqueológicos. Podem também ser ortorectificados.

Recentemente, tem sido testada a aplicabilidade de fotografias aéreas de alta resolução a partir de plataformas de baixa altitude, com resultados bastante interessantes, sobretudo para o estudo e mapeamento de características arqueológicas em áreas abertas (Chiabrando e Spanò 2009; Gomez-Lahoz e Gonzalez-Aguilera 2009).

Ao nível da fotogrametria aérea, um dos aspectos mais interessantes e inovadores reside na restituição fotogramétrica digital de paisagens alteradas a partir de fotogramas históricos aéreos, designadamente os resultantes do voo da Royal Air Force (RAF) dos anos 40 e da United States Air Force (USAF) dos anos 50 do século XX (Cerrilo Cuenca no prelo).

Por outro lado, no âmbito da detecção remota, além das fotografias aéreas, também é possível extrair elementos arqueológicos relevantes a partir da informação espectral das imagens de satélite e também das imagens termais e radar, em particular ao nível da identificação de estruturas enterradas que não deixam evidências no (micro-) relevo, provocando diferentes contrastes espectrais (Wiseman e El-Baz 2007; Parcak 2009).

Num outro ponto, situa-se a prospecção geofísica, que permite, basicamente, mapear estruturas soterradas, através da identificação do contraste entre as propriedades físicas e químicas do solo provocado pelas estruturas inumadas com a envolvente próxima (Fig. 2) (Campana 2009).

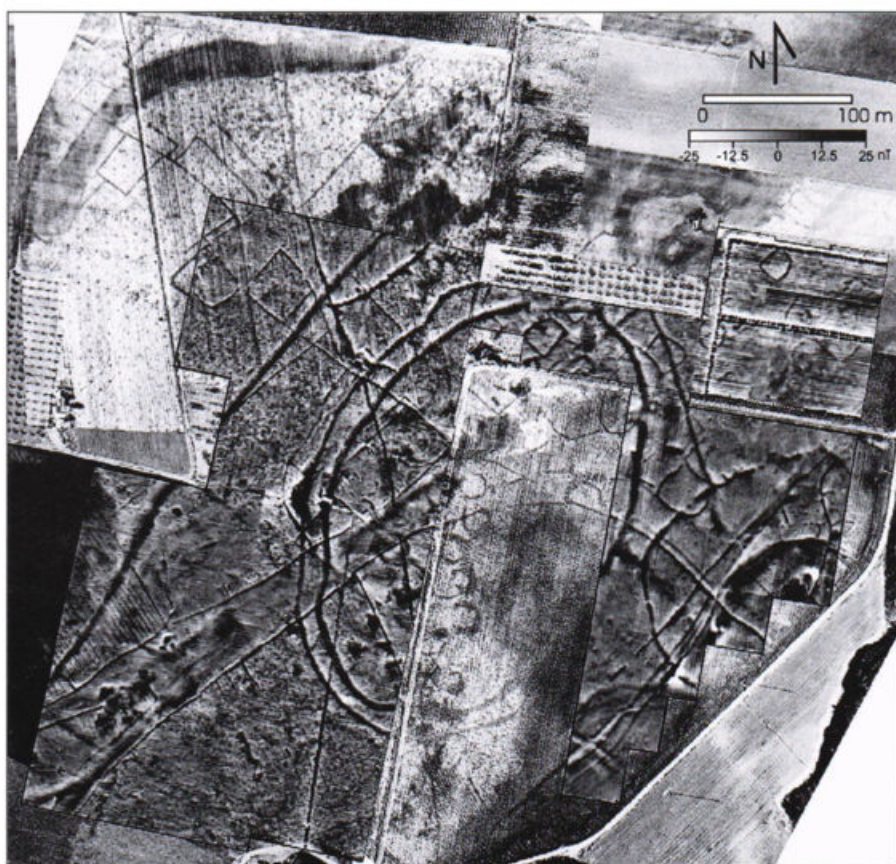


Fig. 2 – Resultados da prospecção geofísica de um sítio Neolítico em Itália sobrepostos a um ortofoto (Gallo *et al.* 2009: 49, fig. 9).

3 Light Detection and Ranging (LiDAR)

A identificação de sítios e estruturas arqueológicas em zonas densamente arborizadas é, por outro lado, bastante mais problemática, sendo precisamente neste contexto que os tradicionais métodos de prospecção arqueológica se revelam mais ineficazes. Como veremos de seguida, esta é, justamente, uma das principais vantagens dos sistemas laser aerotransportados, já que nos permitem "ver" através da vegetação.

O LiDAR⁴ aéreo (Fig. 3) é uma técnica de detecção remota activa que permite adquirir dados topográficos da superfície da Terra em forma de nuvem

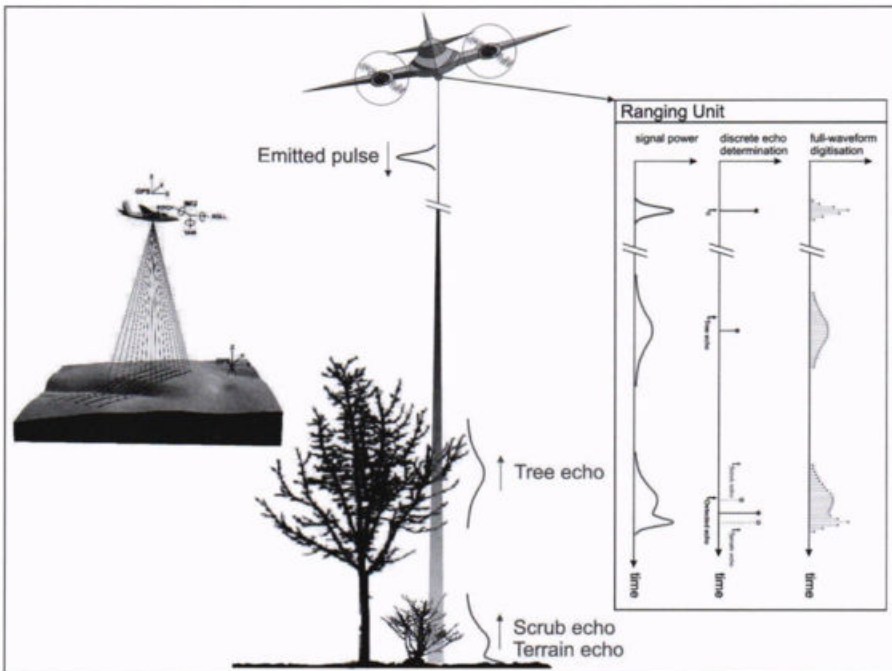


Fig. 3 – À esquerda esquematização do modo de funcionamento do LiDAR (http://forsys.cfr.washington.edu/JFSP06/images/lidar_schematic.jpg) e à direita as diferenças entre o LiDAR convencional e o *full-waveform* (Doneus et al. 2008: 884, fig. 1).

de pontos 3D, através da transmissão de pulsos laser e registando o tempo que leva o pulso a regressar ao receptor do sensor, permitindo a modelização precisa e rápida do terreno. Desta forma, permite obter modelos digitais de terreno (MDT) de elevada resolução e detalhe, através de um sistema de varrimento aéreo por laser. Outra das vantagens do LiDAR é a possibilidade de se identificarem no terreno anomalias micro-topográficas, naturais ou artificiais, além de permitir abarcar amplas extensões de terreno. O LiDAR, montado numa aeronave, integrado com tecnologia *Global Positioning System* (GPS) e *Inertial Measurement Unit* (IMU), projecta um feixe de laser para a superfície, que vai interagindo com os diversos elementos que encontra. O LiDAR pode muitas vezes registar a superfície que se encontra debaixo da vegetação, uma vez que o laser pode penetrar através de objectos semi-opacos (como as árvores), pelo que uma parte do feixe é reflectida na superfície. O receptor a bordo do avião é capaz de registar vários retornos (reflexos) para um único pulso. O "primeiro pulso" reflecte nos objectos semi-opacos, enquanto o "último pulso" regista, na maioria das vezes, a elevação do terreno sob estes mesmos objectos. Através da interpolação dos dados obtidos, pode-se gerar um modelo matemático contínuo que representa a forma da superfície. No entanto, é necessário processar a informação através da implementação de complexos algoritmos de filtragem e classificação de dados (Sithole e Vosselman 2004; Meng *et al.* 2010)⁵. Podem ser interpolados vários MDT's: um Modelo Digital de Superfície (MDS), que descreve a superfície da Terra, incluindo elementos como as árvores e as construções antrópicas, e um Modelo Digital de Elevações (MDE), livre do "ruído da paisagem", representando apenas a superfície topográfica (Fig. 4). Por outro lado, os dados da intensidade de reflectividade, também registados pelo LiDAR, combinados com os dados multi e/ou hiperespectrais disponíveis, podem ser bastante úteis na identificação de características que não têm expressão superficial ao nível micro-topográfico.

A maioria dos sistemas LiDAR é baseada em sistemas convencionais (discretos) de levantamento, técnica esta que permite um, dois ou até cinco retornos para cada pulso. No entanto, estes sistemas convencionais apenas registam as coordenadas tridimensionais e os dados de intensidade, pelo que é muito difícil determinar se o laser é reflectido na vegetação ou no solo e quase impossível de detectar a vegetação rasteira. Recentemente, os novos sistemas de onda completa (*full-waveform*) têm sido testados com enorme sucesso, possuindo um

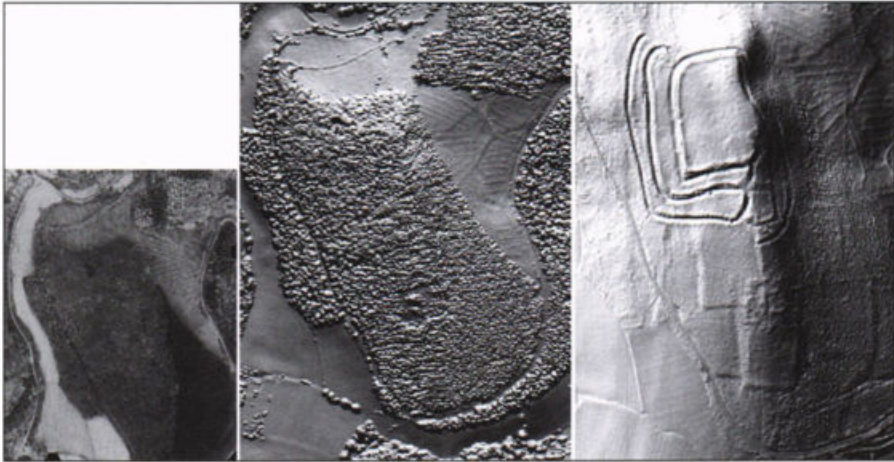


Fig. 4 – À esquerda ortofoto de um *hillfort* Britânico; no centro MDT a partir do primeiro pulso LiDAR e à direita MDE a partir do último pulso LiDAR, notando-se em grande detalhe as estruturas ocultas pela vegetação (Deveraux *et al.* 2005: 654-656, figs. 2, 3 e 4).

maior potencial para obter informações mais detalhadas sobre o perfil vertical do pulso, permitindo registar a onda completa de cada pulso reflectido (Mallet e Bretar 2009). Em Arqueologia, cabe destacar os trabalhos pioneiros de M. Doneus⁶ ao nível da aplicação de dados LiDAR *full-waveform* (Fig. 5) (Doneus e Briese 2006a, 2006b; Doneus *et al.* 2008).

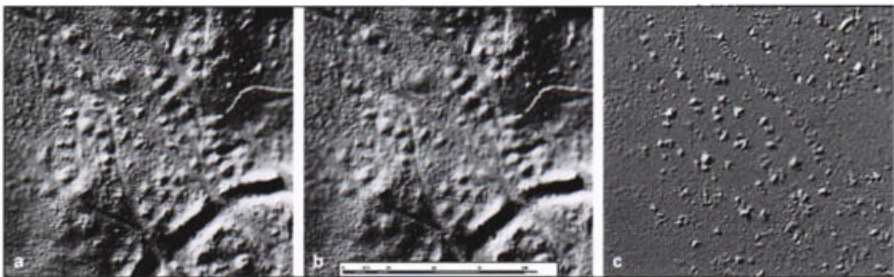


Fig. 5 – a) MDE de um *hillfort* Austriaco derivado a partir do último pulso LiDAR, notando-se a presença de vegetação rasteira; b) MDE derivado a partir do último pulso LiDAR mas agora após uma filtragem mais depurada e c) subtracção das imagens anteriores, sendo visível o "ruído" provocado pela vegetação rasteira (Doneus *et al.* 2008: 888, fig. 7).

Esta tecnologia teve já bastantes aplicações práticas a nível Europeu, originando já uma grande diversidade de publicações científicas (para citar apenas alguns exemplos: Deveraux *et al.* 2005; Crutchley 2006; Doneus *et al.* 2008; Corns e Shaw 2009; Lasaponara e Masini 2009). Alguns países estão mesmo a realizar coberturas integrais (ou quase) dos seus territórios, como no Reino Unido⁷ ou mesmo na vizinha Espanha⁸. Pela espectacularidade dos resultados, podemos destacar o levantamento tridimensional aerotransportado realizado em Stonehenge (Bewley *et al.* 2005)⁹ e mesmo o recente mapeamento LiDAR de uma antiga cidade Maia (*Caracol*) (Chose *et al.* 2011), que teve grande repercussão na imprensa internacional¹⁰.

Em Portugal, esta tecnologia encontra-se apenas a dar os primeiros passos, sendo ainda bastante raras as aplicações concretas ao nível do Património Cultural, cabendo destacar o inovador projecto "Radio-Past"¹¹, que visa a integração de diferentes metodologias não-destrutivas na análise de sítios arqueológicos complexos, neste caso concreto da cidade romana de *Ammaia* (Marvão).

Obviamente que o LiDAR não é a solução para todos os problemas arqueológicos e a utilização desta tecnologia deve ser sempre devidamente ponderada, sendo que basicamente o que nos proporciona é um detalhado modelo topográfico actual, pelo que o passo chave reside na interpretação desse modelo, que deve ser sempre auxiliada pela utilização de todas as fontes de informação disponíveis e validada através de trabalho de campo orientado para o efeito.

4

Conclusão

Sem dúvida que estas ferramentas geo-espaciais têm enorme potencialidade na documentação, estudo e gestão das paisagens culturais antigas. Todavia, torna-se necessário integrarem-se diferentes técnicas na leitura e interpretação da paisagem na larga duração. Uma das grandes vantagens dos SIG é, precisamente, a possibilidade de se manipularem, combinarem e analisarem facilmente grandes quantidades de informação.

Por outro lado, a par da ainda necessária estandardização destas tecnologias em Arqueologia, e tendo em conta o seu grande potencial visual, torna-se também essencial socializá-las, no sentido de os utilizar como recurso altamente produtivo para ilustrar ao público em geral o carácter e a importância do Património Cultural e da evolução das paisagens em que vivem, devido ao forte carácter ilustrativo e visual que, pela sua própria natureza, têm estas tecnologias¹².

Por último, será conveniente referir que este conjunto de procedimentos não esgota o nosso entendimento sobre o Património Cultural, como também não invalida as metodologias de trabalho tradicionalmente utilizadas, como a escavação arqueológica ou a prospecção de superfície. É justamente através da conjugação de diferentes técnicas que podemos obter obter uma visão patrimonial mais completa e realista.

Notas

¹ Vide *Archeosciences, revue d'Archéométrie, supplément au n.º 33, 2009*, dedicado monograficamente a temas de prospecção arqueológica: <http://archeosciences.revues.org/index1179.html/>.

² *Journal of Cultural Heritage* 2009, volume 10, supplement 1: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=PublicationURL&_tockey=%23TOC%236598%232009%23999899999.8998%231577513%23FLA%23&_cdi=6598&_pubType=J&_auth=y&_acct=C000057398&_version=1&_urlVersion=0&_userid=2460038&md5=8ef1eae64da9c9df5817189cda6270b4.

³ Para mais informações consultar: *Aerial archive, Department for Prehistoric and Early Historic Archaeology (Ur- und Frühgeschichte), University of Vienna*: <http://luftbildarchiv.univie.ac.at/> e *Aerial survey, English Heritage*: <http://www.english-heritage.org.uk/professional/research/landscapes-and-areas/aerial-survey/>.

⁴ Para mais especificações a respeito vide *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 1999, volume 54, issues 2-3 (*theme issue on Airborne Laser Scanning*): http://www.sciencedirect.com/science?_ob=PublicationURL&_tockey=%23TOC%236000%231999%23999459997%23109592%23FLA%23&_cdi=6000&_pubType=J&_auth=y&_acct=C000057398&_version=1&_urlVersion=0&_userid=2460038&md5=8f182e9e0009518d82afc54d14b67109/ e Crutchley e Crow 2010.

⁵ Vide "ISPRS test on extracting DEMs from point clouds: a comparison of existing automatic filters" <http://www.itc.nl/isprswgIII-3/filtertest/Report.htm>.

⁶ Vide nota 3.

⁷ *National Mapping Programme, English Heritage*: <http://www.english-heritage.org.uk/professional/research/landscapes-and-areas/national-mapping-programme/>.

⁸ *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) 2010, especificaciones técnicas para vuelo fotogramétrico digital com vuelo lidar*: <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/3D8350C7-1242-4813-9B33-D7F054ECC932/71376/ANEXOSPPT.pdf>.

⁹ Para mais informações consultar: <http://www.wessexarch.co.uk/stonehenge>; <http://www.stonehengelaserscan.org/>.

¹⁰ Notícia do *New York Times*: <http://www.nytimes.com/2010/05/11/science/11maya.html>.

¹¹ *Radiography of the Past (Radio-Past): Integrated non-destructive approaches to understand and valorise complex archaeological sites*: <http://www2.radiopast.eu/>.

¹² Foi recentemente aprovado pela Comissão Europeia no âmbito do Programa Cultura 2007-2013 o projecto *Archaeolandscapes Europe* (2010-2015), liderado pelo *Roman-Germanic Commission* e *German Archaeological Institute*, cujo objectivo principal é a estandardização e socialização do uso de tecnologias aéreas e de detecção remota em Arqueologia: <http://www.archaeolandscapes.eu/>.

Bibliografía

- Bewley R., Crutchley S. e Shell C. 2005. "New light on an ancient landscape: LIDAR survey in the Stonehenge World Heritage Site". *Antiquity*, 79: 636-647.
- Brophy, K. e Cowley, D. (eds.) 2005. *From the air: Understanding Aerial Archaeology*. Tempus. Stroud.
- Campana, S. 2009. *Seeing the Unseen. Geophysics and Landscape Archaeology*. Taylor and Francis. London.
- Cerrilo Cuenca, E. no prelo. "Recorriendo un territorio desaparecido: restitución fotogramétrica y análisis del paisaje de la necrópolis prehistórica del vado de Alconétar". *Actas del V Simposio Internacional de Arqueología de Mérida. Sistemas de Información Geográfica y Análisis Arqueológico del Territorio*.
- Chiabrando, F. e Spanò, A. 2009. "Digital wide scale orthoprojections and mapping from low-height aerial images". *Journal of Cultural Heritage*, 10: 49-58.
- Chose, A., Chose, O., Weishampel, J., Drake, J., Ramesh, S., Slatton, C., Awe, J. e Carter, W. 2011. "Airborne LiDAR, Archaeology and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize". *Journal of Archaeological Science*, 38-2: 387-398.
- Corns, A. e Shaw, R. 2008. "The application of digital vertical aerial photogrammetry in the recording and analysis of archaeological landscapes". In O. Bender, N. Evelpidou, A. Krek, A. Vassilopoulos (eds.): *Geoinformation Technologies for Geo-cultural Landscapes: European Perspectives*: 47-66. CRC Press.
- 2009. "High resolution 3-dimensional documentation of archaeological monuments & landscapes using airborne LiDAR". *Journal of Cultural Heritage*, 10: 72-77.
- Criado Boado, F. 1993. "Límites y posibilidades de la Arqueología del Paisaje". *Spal*, 2: 9-56.

- 1999. *Del Terreno al Espacio: Planteamientos y Perspectivas para la Arqueología del Paisaje*. CAPA 6, Criterios y Convenciones en Arqueología del Paisaje. Grupo de Investigación en Arqueología del Paisaje, Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- Crutchley, S. 2006. "Light Detection and Ranging (lidar) in the Witham Valley, Lincolnshire: an assesment of new remote sensing techniques". *Archaeological Prospection*, 13: 251-257.
- Crutchley, S. e Crow, P. 2010. *The Light Fantastic: Using airborne laser scanning in archaeological survey*. English Heritage. Swindow.
- Devereux, B., Amable, G., Crow, P. e Cliff, A. 2005. "The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies". *Antiquity*, 79: 648-660.
- Doneus, M. 2001. "Precision Mapping and Interpretation of Oblique Aerial Photographs". *Archaeological Prospection*, 8: 13-28.
- Doneus, M. e Briese, C. 2006a. "Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laserscanning". In M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, K. Mania (eds.): *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*: 155-162.
- 2006b. Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance. In: S. Campana, M. Forte (eds.): *From Space to Place. Proceedings of the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology*. BAR International Series, 1568: 99-106.
- Doneus, M., Briese, C., Fera, M. e Janner, M. 2008. "Archaeological prospection of forested areas using full-waveform laser scanning". *Journal of Archaeological Science*, 35: 882-893.
- Gallo, D., Ciminale, M., Becker, H. e Masini, N. 2009. "Remote sensing techniques for reconstructing a vast Neolithic settlement in Southern Italy". *Journal of Archaeological Science*, 36: 43-50.
- García Sanjuán, L. 2005. *Introducción al reconocimiento y análisis arqueológico del territorio*. Ariel Prehistoria. Barcelona.

- Gomez-Lahoz, J. e Gonzalez-Aguilera, D. 2009. "Recovering traditions in the digital era: the use of blimps for modelling the archaeological cultural heritage". *Journal of Archaeological Science*, 36: 100-109.
- Mallet, C. e Bretar, F. 2009. "Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64-1: 1-16.
- Meng, X., Currit, N. e Kaiguang, Z. 2010. "Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues". *Remote Sensing*, 2: 833-860.
- McCoy, M. e Lagefoged, T. 2009. "New developments in the use of spatial technology in Archaeology". *Journal of Archaeological Research*, 17: 263-295.
- Lasaponara, R. e Masini, N. 2009. "Full-waveform Airborne Laser Scanning for the detection of medieval archaeological microtopographic relief". *Journal of Cultural Heritage*, 10: 78-82.
- Parcak, S. 2009. *Satellite remote sensing for Archaeology*. Routledge.
- Sithole, G. e Vosselman, G. 2004. "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59: 85-101.
- Wiseman, J. e El-Baz, F. (eds.) 2007. *Remote Sensing in Archaeology*. Springer. New York.

Resumo

Pretende-se com este trabalho apresentar uma breve síntese acerca dos novos métodos de prospecção em Arqueologia baseados em tecnologias geo-espaciais. Dedicaremos particular atenção a uma tecnologia concreta de detecção remota: Light Detection and Ranging (LiDAR).

Palavras-chave: Prospecção arqueológica, tecnologias geo-espaciais, detecção remota, metodologias não-invasivas, LiDAR, SIG.

Abstract

The aim of this paper is to give an overview of the new survey methods in Archaeology based on the application of geospatial technologies. We will pay particular attention to a concrete remote sensing technology: Light Detection and Ranging (LiDAR).

Keywords: Archaeological prospection, geo-spatial technologies, remote sensing, non-invasive methods, LiDAR, GIS.