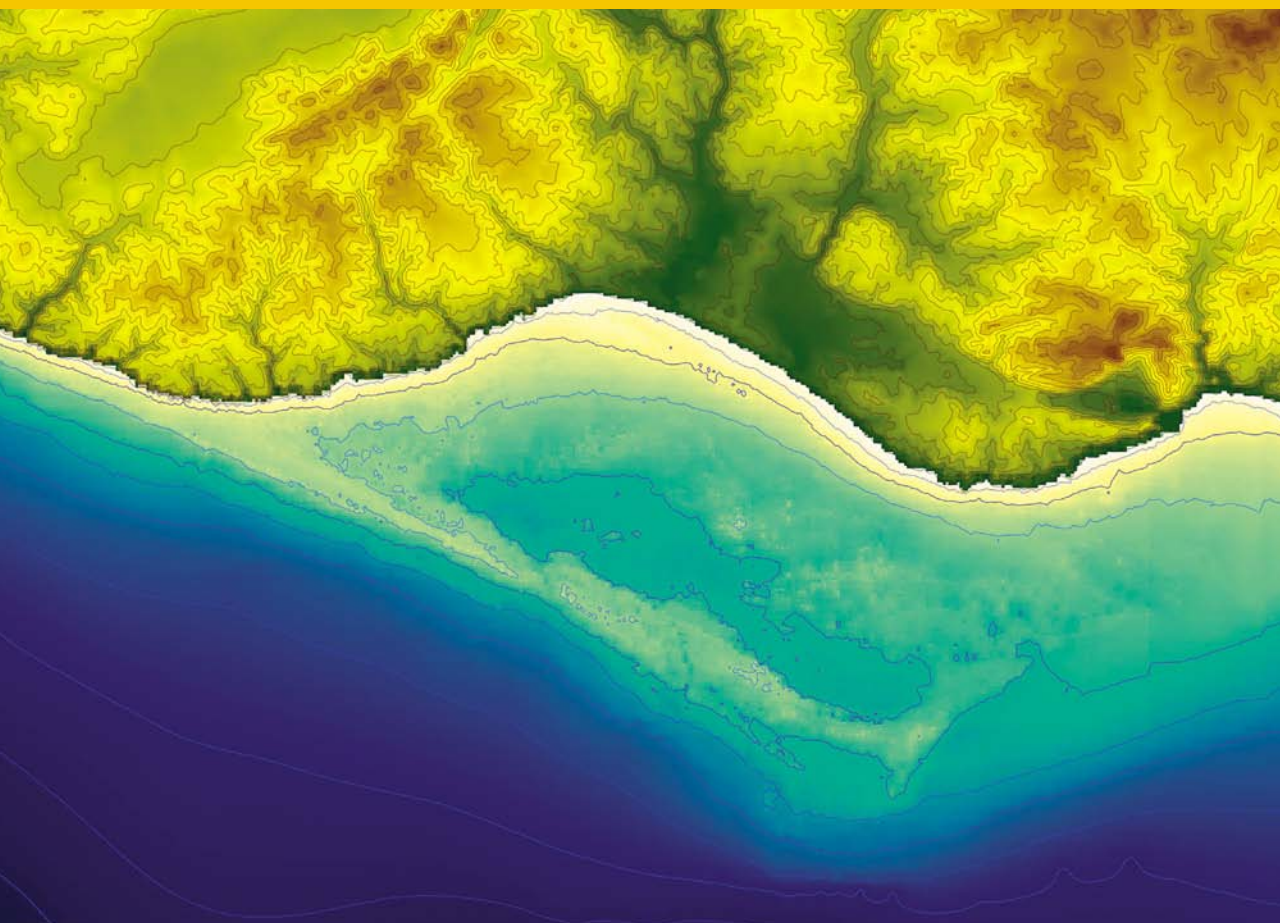


A. CAMPAR ALMEIDA · ANA M. S. BETTENCOURT · D. MOURA  
SÉRGIO MONTEIRO-RODRIGUES · MARIA ISABEL CAETANO ALVES



# ENVIRONMENTAL CHANGES AND HUMAN

INTERACTION ALONG THE  
WESTERN ATLANTIC EDGE

# MUDANÇAS AMBIENTAIS E INTERAÇÃO HUMANA

NA FACHADA ATLÂNTICA OCIDENTAL



## IMPRINT / FICHA TÉCNICA

**Title:** ENVIRONMENTAL CHANGES AND HUMAN INTERACTION ALONG THE WESTERN ATLANTIC EDGE  
*MUDANÇAS AMBIENTAIS E INTERAÇÃO HUMANA NA FACHADA ATLÂNTICA OCIDENTAL*

**Eds.** A. Campar Almeida, Ana M. S. Bettencourt, D. Moura, Sérgio Monteiro-Rodrigues and Maria Isabel Caetano Alves

### **Editors:**

APEQ - Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário

CITCEM - Centro de Investigação Transdisciplinar “Cultura, Espaço e Memória”, financiado por Fundos Nacionais, através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projeto PEstOE/HIST/UI4059/2011.

CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território

CGUP - Centro de Geologia da Universidade do Porto

CCT - Centro de Ciências da Terra da Universidade do Minho

### **Editorial advisory committee:**

António Monge Soares, Fernando da Silva Rebelo, Helena Granja, Isabel Figueiral, João Luís Cardoso, João Pais, Lúcio Cunha, Maria da Conceição Freitas, Nuno Bicho, Pedro Proença e Cunha, Philippa Ascough, Ramon Fábregas Valcarce.

**Cover image:** Digital terrain model of the Armação de Pêra, Algarve, Portugal (by Leandro Infantini)

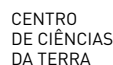
**Composition, printer and bound by** Sersilito-Empresa Gráfica, Lda.

**Edition:** 500 Exemplares

**Legal deposit:** 350801/12

**ISBN:** 978-989-97140-1-4

Coimbra, October 2012



A. Campar Almeida, Ana M. S. Bettencourt,  
D. Moura Sérgio Monteiro-Rodrigues, Maria Isabel Caetano Alves (eds.)

Environmental changes and human interaction  
along the western atlantic edge

*Mudanças ambientais e interação humana  
na fachada atlântica ocidental*



# Contents

## Índice

7 Foreword

### I

#### Methodology

##### *Metodologia*

- 13 Marine reservoir effects: problems and prospects for radiocarbon dating  
*Philippa L. Ascough*
- 27 Radiocarbon dating of aeolianite formation  
*A. M. Monge Soares, A. Ramos Pereira, J. M. Matos Martins & P. J. Portela*
- 43 Diatomáceas como potencial ferramenta para reconstituições paleoecológicas  
*A. Gomes, T. Boski & D. Moura*

### II

#### Palaeoenvironmental Changes and Human Activity

##### *Mudanças Paleoambientais e Actividade Humana*

- 51 Reconstructing Holocene evolution in the archaeological site of Campo Lameiro (NW Spain): an interdisciplinary approach to geoarchaeology  
*Manuela Costa-Casais, Antonio Martínez Cortizas, Joeri Kaal, Maria Isabel Caetano Alves & Felipe Criado-Boado*
- 71 Sedimentological analysis of relict slope deposits from Serra da Estrela (Portugal): first results  
*Alexandre Trindade, G. Vieira & C. Schaefer*
- 79 Environmental changes in the westernmost Cantabrian range during the postglacial period: the Pena Velosa (Muniellos, Asturias) pollen record  
*C. Muñoz Sobrino, F. J. Suárez Pérez, H. S. Nava Fernández, M.A. Fernández Casado, L. Gómez-Orellana, M. A. Rodríguez-Gutián, J. A. Fernández Prieto & P. Ramil-Rego*
- 95 Refúgios para árvores temperadas caducifólias na área litoral do Noroeste Ibérico durante o último período glacial  
*Luis Gómez-Orellana, Pablo Ramil Rego & Castor Muñoz Sobrino*
- 107 História do fogo durante o holocénico na serra da Estrela, Portugal: resultados preliminares  
*João Araújo, Simon E. Connor, Jacqueline F. N. van Leeuwen & Willem O. van der Knaap*
- 115 Firewood and timber exploitation during the 3rd and 2nd millennia BC in the Western façade of the Iberian northwest: wooden resources, territories and chaîne opératoire  
*María Martín-Seijo, Ana M. S. Bettencourt, Emilio Abad-Vidal & Juan C. López García*

### III

#### **Fauna and Human Activity**

##### ***Fauna e Actividade Humana***

- 139 O povoamento humano do paleo-estuário do Sado (Portugal): problemáticas em torno da ocupação dos concheiros mesolíticos  
*Mariana Diniz & Pablo Arias*
- 159 Preliminary analysis of the spatial relationships between faunal and lithic remains on the Mesolithic shellmidden of Cabeço da Amoreira (Muge, Portugal)  
*Rita Dupont de Sousa Dias, João Cascalheira, Célia Gonçalves, Cleia Detry & Nuno Bicho*
- 165 Burial practices in Muge shell middens (Portugal): state of the art  
*Olívia Figueiredo*
- 171 Acerca da influência ambiental e humana nos moluscos do Monte Molião (Lagos, Portugal)  
*Cleia Detry & Ana Margarida Arruda*

### IV

#### **Mining and Environmental Impact**

##### ***Mineração e Impacto Ambiental***

- 187 Impacto ambiental da primeira mineração e da metalurgia especializada no Sudoeste da Península Ibérica  
*Nuno Inácio, Francisco Nocete, José Miguel Nieto, Moisés R. Bayona, Joaquín Delgado, T. Boski & Daniel Abril*
- 203 Modelo de gestão e circulação de sílex há 5000 BP na faixa litoral entre Nazaré e Peniche (Estremadura portuguesa)  
*Patrícia Jordão & Nuno Pimentel*

### V

#### **Evolution of Coastal Land**

##### ***Evolução do Litoral***

- 219 Mean sea level and coastline-Late Quaternary  
*D. Moura, A. Gomes, S. Gabriel & J. Horta*
- 227 Utilização de ferramentas SIG para o estudo da morfologia submersa da bacia de Armação de Pêra (Algarve)  
*Leandro Infantini, D. Moura & Nuno Bicho*
- 243 Guidoiro Areoso. Megalithic cemetery and prehistoric settlement in the Ría de Arousa (Galicia, NW Spain)  
*José Manuel Rey García & Xosé Ignacio Vilaseco Vázquez*
- 259 Evolução recente (décadas de 1950-2010) da morfologia dos deltas do Catumbela e Cavaco (Benguela, Angola)  
*Pedro A. Dinis, Luís S. Silva, João Huvi, Jorge M. Dinis & Pedro P. Cunha*
- 265 Land use evolution of the coast Blanc Cap to Cantin Cap (Moroccan Atlantic coast): cartography by aerial photography analysis  
*Khalid el khalidi, Abdenaim Minoubi, Bendahhou Zourarah & Ahmed Aajjane*

# FOREWORD

This book is part of the project on Paleoenvironmental Changes and Anthropisation in the Quaternary of Western Iberia, a study carried out in 2010-2011 by the Portuguese Association for Quaternary Research (*APEQ*). The aim of the project was to bring together a number of research efforts leading to an explanation of environmental changes during the Quaternary, of how human communities responded to those changes, and of the role played by man in altering the landscape of the Western part of the Iberian Peninsula.

The present publication is a follow up to *Paleoenvironmental Changes and Anthropisation in the Quaternary of Western Iberia*, first published in 2010, although this time the geographical scope has been expanded to include the Western Atlantic edge and thus put the Iberian Peninsula in a wider research perspective.

For the most part the articles in this book are based on the papers first presented at “IV Jornadas do Quaternário” / 1st International Conference: Environmental Changes and Human Interaction Along the Western Atlantic Façade, held at the University of Coimbra in 9-10 December 2011.

Coming from a variety of universities and research centres in Portugal, Spain, Scotland, Switzerland, Morocco, Angola and Brazil, the authors of these studies belong to different scientific areas, from geophysics to geology to geography, archaeology and biology, thus reflecting the multidisciplinary nature of Quaternary studies.

The articles are divided into five thematic sections, according to the research interests of the authors involved.

Part I is devoted to methodological issues and opens with Philippa Ascough's article. Ascough's topical theme deals with the need to be cautious when using C14 for absolute ratings of marine samples or man-related remains, as they appear to be older than their terrestrial counterparts. What we have here is the marine reservoir effect (MRE). In the next article, António Monge Soares and his collaborators show how radiocarbon dating carried out in Portugal allowed them to determine the age of a number of apparently contemporary consolidated dunes, dating from somewhere between the last interstadial and the early Holocene. In their study, Ana Gomes, Tomasz Boski and Delminda Moura use the specificity of diatom communities in terms of ecological preferences to carry out paleoenvironmental reconstructions in the Guadiana estuary (S of Portugal) during the Holocene.



Part II is made up of articles on paleoenvironmental change and human activity. Based on their interdisciplinary study of sedimentary deposits found in the archaeological area of Campo Lameiro (Pontevedra, NW of Spain), Manuela Costa Casais and her team offer a model of Holocene environmental evolution. Their findings confirm the occurrence of significant erosion/sedimentation processes starting in the Younger Dryas and throughout the Holocene. According to the authors, some of the discontinuities found in Holocene colluvia coincide with abrupt climate events known to have occurred in the past 10,000 years, namely the 8.2 ka event, the beginning of Neoglaciation, and the 2.8 ka event. But since at least the Neolithic period, human intervention in the landscape must have played an important role in the way the landscape evolved, sometimes with far greater repercussions than those caused by natural phenomena. Alexandre Trindade, Gonçalo Vieira and C. Schaefer used the micromorphology of sediments and of soil slopes to come to a better understanding of their morphogenetic significance and thus arrive at a chronological framework of the late Quaternary in Serra da Estrela (Portugal). Using isotope datings and marine records, C. Muñoz-Sobrino, L. Gomez-Orellana and P. Ramil-Rego draw correlations between pollen sequences that help us understand the regional migration of plant species in the western end of the Cantabrian range (North of Spain) during the Post-glacial. From their pollen analysis of coastal wetlands in northwestern Iberia, L. Gomez-Orellana, P. Ramil-Rego and C. Muñoz-Sobrino derive the conclusion that between 100,000 and 32,000 BP there were conifers alongside temperate deciduous trees on the coast of northwestern Iberia, a region that served as a refuge for mesophilic and thermophilic species. Based on the study of charcoals found in a marsh, João Araújo and his colleagues offer a variation of Serra da Estrela (Portugal) vegetation dating from the end of the last glacial and the Holocene. The authors noticed that this higher concentration of charcoal was concurrent with deforestation between 3,000 and 900 BP. The paleobotanical study of Chalcolithic and Bronze Age sites located in northwestern Iberia, presented in the article by M. Seijo-Martín and his collaborators, uses the logic of operational chains as applied to the exploitation of wood resources. Using this method, the authors attempt to characterise the various stages of this particular activity – from the procurement of timber to its end use –, and from there they proceed to make inferences of a paleotechnological and paleoethnological nature. Their results show a broad-spectrum strategy for procuring firewood and timber, through the use of the resources available in the various landscape units around the habitats: climax forests, brushwood and riparian zones.

Part III covers both the fauna and human activity, *i.e.*, the ways in which humans have used a number of wildlife resources. Mariana Diniz and Pablo Arias's work on the Mesolithic shell middens of Portugal's Sado river aims, among other things, to draw attention to the specificities of these prehistoric sites. For although it is broadly possible to include them in a *typically Euro-Atlantic culturescape* to which the Muge shell middens also belong, there are certain peculiarities that have to be taken into account if one is to build an explanatory model of regional Mesolithic settlement. More

specifically, the authors believe that the analysis of these peculiarities may help assess the exact extent to which ecological and cultural factors determined how Mesolithic communities came to choose this territory. While also dealing with Mesolithic shell middens, the study carried out by Rita D. S. Dias and her team focuses on Muge (Portugal) and their article discusses the consequences of the use of spatial distribution models at Cabeço da Amoreira. Their methodology aims at identifying concentrations of artifacts and ecofacts, establishing relationships between lithic materials and osteological remains, and obtaining data on the site formation processes. Olivia Figueiredo, on the other hand, gives us a state-of-the-art type of review on the burial practices identified in Muge's diverse mounds. According to the author, there is ample evidence of the fact that the approximately three hundred skeletons found in Muge were actually the object of intentional, albeit nonstandard, burials. In the context of a much later chronological framework, Cleia Detry and Ana Margarida Arruda sought to identify the causes of the decrease of cockle (*Cerastoderma edule*) remains and the increase in grooved carpet shell clam (*Ruditapes decussatus*) and mussel (*Mytilus edulis*) remains at Monte Molião (Lagos, Portugal) during its Roman occupation. The findings suggest that the variation may be due to environmental changes caused by some sudden, brief event such as a storm or tsunami, leading to the disruption of this cockle-rich estuarine ecosystem. While giving this hypothesis its due, the authors do not rule out the possibility that the changes in the frequency of these molluscs were caused by habit changes with regard to the exploitation of water resources. This study also led to a dietary reconstruction of the inhabitants of Monte Molião.

In Part IV, devoted to mining and its impact on the environment, Nuno Inácio and his collaborators assess the environmental impact of copper mining and metallurgy in the Huelva region (Sw of Spain) in the third millennium BC. Palynological data, chemical analyses of sediments and other biomarkers of the Guadiana, Tinto, Odiel and Guadalquivir drainage basins for the period in question point to severe deforestation with consequent soil erosion as well as land and water contamination by various heavy metals. Based on these impacts, the authors suggest the possibility of copper mining and metallurgy as a specialised activity in the 3rd millennium BC. The Chalcolithic period is also the focus of the research carried out by Patricia Jordan and Nuno Pimentel, who submit a model for the management and movement of lithic resources, namely flint, in the Nazareth-Peniche region (central Portugal). Methodologically, this model derived from the petroarchaeological approach used for the Village of S. Mamede (Óbidos), which in turn resorted, among other things, to petrographic analyses and to studies based on lithic technology.

Part V deals with coastal evolution in four different geographical areas: the Algarve (SW of Iberian Peninsula), Galicia (NW of Iberian Peninsula), Morocco (NW of Africa) and Angola (West Africa). As far as the Algarve is concerned, Delminda Moura, Ana Gomes, Selma Gabriel and J. Horta discuss the relationship between the mean sea level and the coastline and how that relationship is reflected in terms of archaeological finds. L. Infantini, on the other hand, shows the occurrence and probable dynamics of

an immersed lagoonal form in the Armação de Pêra bay (Algarve). J. M. García-Rey and X. Vilaseco Vasquez analyse the loss of sand on an island in the ria de Arousa (Galicia) to study its archaeological sites and trace the island's evolution throughout the Quaternary. Pedro Dinis and his colleagues seek to explain the sedimentary dynamics of two river deltas near Benguela, in Angola, an area marked by a sharp seasonal contrast. Finally, El Khalidi, B. Zourarah and A. Ajjane use sequential analysis of aerial photos as well as a geographical information system to explain landscape and coastline changes on a stretch of the Moroccan coastline.

This book is thus the materialisation of APEQ's goals as expressed in the above-mentioned project and in the Association's activity over a two-year period.

*A. Campar de Almeida, Ana M. S. Bettencourt,  
D. Moura, Sérgio Monteiro-Rodrigues & Maria Isabel Caetano Alves*

**I**

**Methodology**

*Metodologia*



# MARINE RESERVOIR EFFECTS: PROBLEMS AND PROSPECTS FOR RADIOCARBON DATING

Philippa L. Ascough<sup>1</sup>

**Abstract:** Radiocarbon (<sup>14</sup>C) dating is an essential tool in archaeological and palaeoenvironmental research. The <sup>14</sup>C method makes it possible to compare and correlate data from these research fields on a global scale, by providing an absolute timescale for all carbon-containing samples less than ~50,000 years old. Despite this, there are several key considerations when selecting material for dating, including the Marine Reservoir effect (MRE). The MRE results in a difference in the <sup>14</sup>C age of marine and terrestrial samples that were formed at the same point in (calendar) time. This means that marine samples can appear erroneously older than terrestrial samples, unless a correction is applied. This affects the <sup>14</sup>C age of both wholly marine samples, and of terrestrial animals (e.g. humans) that consume marine resources. Because of variations in climate and ocean circulation, the appropriate MRE correction for samples depends on their geographic location. In addition, there is evidence that the MRE can vary through time at a single location. In recent years there has been a considerable research effort to accurately quantify the MRE at sites across the Atlantic façade, particularly in the mid to late Holocene period. Here, several important aspects of the MRE, relevant for archaeological and palaeoenvironmental research, are described, and the implications of these for Atlantic chronologies are discussed.

**Key-words:** Radiocarbon <sup>14</sup>C.; MRE; Holocene; Archaeology; Palaeoenvironment; Atlantic.

**Resumo:** A datação por radiocarbono <sup>14</sup>C é um instrumento essencial na investigação arqueológica e paleoambiental. O método possibilita comparar e correlacionar dados destes campos de investigação, a uma escala global, ao fornecer datações absolutas para amostras com carbono até cerca de -50000 anos. No entanto, há vários aspetos a ter em conta quando se selecionam amostras para datação, entre os quais o efeito de Reservatório Marinho (MRE). Este resulta numa diferença da idade de <sup>14</sup>C de amostras marinhas e terrestres que se formaram na mesma idade. Ou seja, as amostras marinhas podem parecer erroneamente mais velhas do que as amostras terrestres, a não ser que seja aplicada uma correção. Tal afeta a idade <sup>14</sup>C quer das amostras totalmente marinhas quer de animais terrestres (e.g. humanas) que consomam recursos marinhos. Por causa das variações do clima e da circulação oceânica a correção apropriada do MRE depende da localização geográfica das amostras. Além disso, há evidências de que o MRE pode variar ao longo do tempo num mesmo local. Nos últimos anos tem havido um esforço de investigação considerável para quantificar com precisão o MRE em sítios ao longo da fachada atlântica, particularmente para o Holocénico médio e final. Neste texto são descritos vários aspetos do MRE relevantes para a investigação arqueológica e paleoambiental, assim como são discutidas as implicações destes nas cronologias do Atlântico.

**Palavras-chave:** Radiocarbono <sup>14</sup>C.; MRE; Holocénico; Arqueologia; Paleoambientes; Atlântico.

---

<sup>1</sup> SUERC, Scottish Enterprise Technology Park, Rankine Avenue, East Kilbride G75 0QF, UK. E-mail: philippa.ascough@gla.ac.uk

## 1. INTRODUCTION: DEFINING MARINE RADIOCARBON RESERVOIR EFFECTS

Since the development of the radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ) dating technique, chronological information obtained *via*  $^{14}\text{C}$  measurements has become invaluable in both paleoclimatic and archaeological research. This means that  $^{14}\text{C}$  measurements are now an essential chronological tool, providing a rigorous means of absolute dating for carbonaceous samples up to c.50 Ka BP. A fundamental assumption in  $^{14}\text{C}$  dating theory is that the  $^{14}\text{C}$  activity of living organisms is globally uniform at a single point in time. In the atmospheric carbon reservoir, the residence time of carbon is short (on the order of 5 years) and the mixing of carbon (as  $\text{CO}_2$ ) is rapid (Levin & Hessheimer 2000). This means that the  $^{14}\text{C}$  activity of the atmosphere, and the terrestrial flora and fauna that atmospheric carbon supports is effectively uniform, provided that measurements are corrected for the isotopic fractionation that occurs during  $^{14}\text{C}$  transfer through the food chain (e.g. Stuiver & Polach 1977; Van der Plicht & Hogg 2006). This has made it possible to obtain a record of atmospheric  $^{14}\text{C}$  variations over time, by analysis of annually formed samples such as tree rings. These atmospheric  $^{14}\text{C}$  variations result from changes in  $^{14}\text{C}$  production rate changes and global carbon cycling, meaning measured  $^{14}\text{C}$  ages must be calibrated to convert to calendar ages. This is achieved using an internationally agreed calibration curve, (currently IntCal09 (Reimer *et al.* 2009), based on  $^{14}\text{C}$  measurements of dendrochronologically dated tree rings.

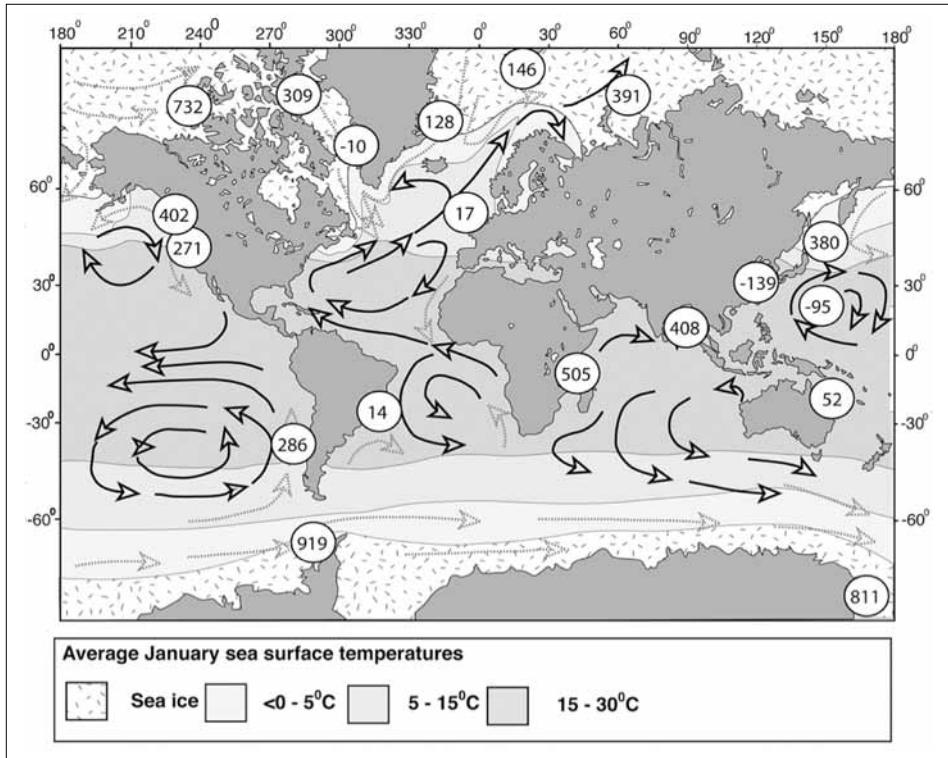
In contrast to the atmosphere, the residence time of carbon in the deep oceans is on the order of a thousand years (Sigman & Boyle 2000). Atmospheric carbon enters the marine carbon reservoir by  $\text{CO}_2$  exchange with surface ocean waters, which then sink away from the surface to become deep waters. During circulation in the deep oceans, radioactive decay reduces the water's  $^{14}\text{C}$  content, resulting in an overall  $^{14}\text{C}$  deficiency within the oceans relative to the atmosphere. Therefore, the deep oceans are depleted in  $^{14}\text{C}$  relative to the atmosphere because of the  $^{14}\text{C}$  decay that occurs at depth, while the surface oceans are intermediate in  $^{14}\text{C}$  activity between the deep oceans and the atmosphere. This is because the surface ocean reservoir is a mixture of "new carbon" from the atmosphere via gaseous exchange and "old carbon" from water upwelled from the deep oceans. There is therefore a  $^{14}\text{C}$  age offset between contemporaneous terrestrial and marine carbon; this offset is known as the Marine  $^{14}\text{C}$  Reservoir Effect (MRE), which affects all carbonaceous samples formed in the marine environment (Stuiver & Braziunas 1993). The  $^{14}\text{C}$  age of samples containing marine carbon must therefore be corrected to obtain an accurate calendar age range. To compensate for the MRE in calibration calculations, an accurate value for the offset in  $^{14}\text{C}$  activity between the terrestrial and marine reservoirs is required. If the offset were constant, the correction for the marine reservoir effect could be achieved for by subtracting this factor from the measured sample  $^{14}\text{C}$  age. However, the slow oceanic response to atmospheric  $^{14}\text{C}$  variations means the global average MRE varies through

time. A separate calibration curve therefore exists for marine samples (currently Marine09 (Reimer *et al.* 2009)). This is obtained by modelling the oceanic response to the variable atmospheric  $^{14}\text{C}$  signal (Stuiver & Braziunas 1993).

The Marine09 calibration curve provides an averaged correction for the MRE between the global surface oceans and the atmosphere through time. This correction value does not allow for geographic variations in the surface ocean  $^{14}\text{C}$  content and the fact that local MRE's may vary through time to significantly different extents from the global average (Stuiver & Braziunas 1993). This occurs because the world's oceans are not uniformly mixed, and the MRE for a local ocean area may be offset from the global average MRE. This offset can be positive or negative and is known as a  $\Delta R$  value (Stuiver & Braziunas 1993). The size of a  $\Delta R$  value depends on factors such as the stratification of water masses, rates of current movement, the length of time that a body of water is in contact with the atmosphere and the locations of water mass convergence and upwelling (Gordon & Harkness 1992). In regions where upwelling of deep,  $^{14}\text{C}$  depleted water dominates, the reduction in  $^{14}\text{C}$  content of surface ocean water results in a positive  $\Delta R$  value (Silar 1980; Goodfriend & Flessa 1997). In regions where surface ocean water is more thoroughly equilibrated with atmospheric  $\text{CO}_2$ , negative  $\Delta R$  values (and therefore a decreased MRE offset) are recorded (Silar 1980). Overall  $\Delta R$  values are also heavily influenced by climatic changes, including ocean-atmosphere gas exchange rates and factors of wind speed, sea-ice cover and temperature (Liss & Merlivat 1986; Broecker *et al.* 1985; Stocker & Wright 1996; Barber *et al.* 1999). Example values for modern (pre-bomb) regional average  $\Delta R$  values obtained from the on-line marine reservoir correction database (Reimer & Reimer 2006) (available at <http://calib.qub.ac.uk/marine/>) show great geographic variability (Fig. 1). These include  $\Delta R = +1312 \pm 55$   $^{14}\text{C}$  yr for Inexpressible Island, Antarctica (Mabin 1985) to  $\Delta R = -216 \pm 37$   $^{14}\text{C}$  yr for Guayaquil, Ecuador (Taylor & Berger 1967), and reflect the global influence of the environmental variables mentioned above.

The global variability in ocean surface  $^{14}\text{C}$  at any point in time, mean that although  $^{14}\text{C}$  dates on marine samples must be calibrated with the Marine09 calibration curve (available via either the OxCal or Calib online radiocarbon calibration programs), a  $\Delta R$  value is also required. This value must relate to the local ocean area that the sample came from. Pre-existing  $\Delta R$  values may be obtained from available literature, however any  $\Delta R$  value must be based on empirical measurements, not modelling (Stuiver *et al.* 1986; Stuiver & Braziunas 1993).  $\Delta R$  values are obtained by  $^{14}\text{C}$  measurement of samples for which both a marine  $^{14}\text{C}$  age and a terrestrial  $^{14}\text{C}$  age are either known or can be calculated. The terrestrial/atmospheric  $^{14}\text{C}$  age  $\pm 1$  sigma is converted to a modelled marine  $^{14}\text{C}$  age using an interpolation of the atmospheric (IntCal09) and marine (Marine09) global calibration curves.  $\Delta R$  is the difference between this modelled marine  $^{14}\text{C}$  age and the measured  $^{14}\text{C}$  age of the marine carbon sample (Fig. 2). It is important to note that the use of the IntCal09/Marine09 curves in this way means that beyond the end of the IntCal09 tree-ring data, the term  $\Delta R$  has limited value because data for older time periods were obtained from marine records (measurements of corals and foraminifera) converted into an 'equivalent' atmospheric

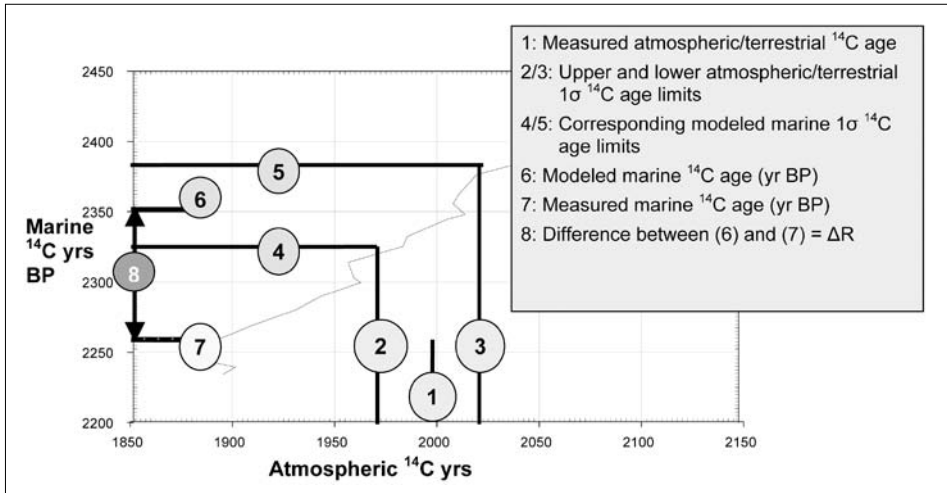




**Fig. 1** – From Ascough *et al.* 2005a. Examples of modern (pre-bomb)  $\Delta R$  values for surface ocean waters from the Marine Radiocarbon correction database (Reimer & Reimer 2006). Major ocean currents are shown, with solid black arrows indicating warm currents, and broken grey arrows indicating cold currents. Average January sea surface temperatures are taken from Couper (1983).

age using a site-specific MRE correction (Reimer *et al.* 2009). The  $1\sigma$  error on the  $\Delta R$  values is calculated by the propagation of errors as shown in Equation 1. An important note is that a  $\Delta R$  value should always have an associated  $\pm$  uncertainty attached to it, which should be used when calibrating marine samples with the Marine09 calibration curve.

The marine  $^{14}\text{C}$  age for  $\Delta R$  calculation is obtained by measuring a marine sample. For very young samples,  $^{14}\text{C}$  measurement of marine samples where the actual calendar age of the sample is known may be possible (e.g. Yoneda *et al.* 2000). In this case, the equivalent terrestrial  $^{14}\text{C}$  age can be calculated from the calendar age. In other, older, samples it might be possible to identify a terrestrial  $^{14}\text{C}$  age using geochronological marker horizons (Waelbroeck *et al.* 2001; Austin *et al.* 1995). It is most common however, to obtain the terrestrial  $^{14}\text{C}$  age in  $\Delta R$  calculation by measuring a paired terrestrial sample that is highly likely (on stratigraphic grounds), to represent the same calendar time period as the marine sample (e.g. Soares & Dias 2008). Pairs of same-age marine and terrestrial organisms can be extracted from a range of terrestrial deposits, including archaeological deposits, near-shore sediments representing ancient



**Fig. 2** – Graphical representation of the calculation of a hypothetical  $\Delta R$  value, showing how  $\Delta R$  is derived by interpolation of atmospheric and marine  $^{14}\text{C}$  ages. From Russell *et al.* (2011).

shorelines, land based exposures of post-glacial uplift and coastal storm or tsunami deposits (Southon *et al.* 1992; Ascough *et al.* 2005a).

**Equation 1.:** Propagation of  $\Delta R$  errors:

$$\sigma\Delta R = \sqrt{(\sigma_w + \sigma_m)^2}$$

Where:

( $\sigma\Delta R$ ) = the  $1\sigma$  error for the  $\Delta R$  determination

( $\sigma_w$ ) = the error on the measured marine age

( $\sigma_m$ ) = the error on the modelled marine age.

It is clear that in any attempt to quantify a  $\Delta R$  value, it is crucial to consider factors of sampling site and sample selection, as these strongly influence the precision and reproducibility of calculated  $\Delta R$  values. The key consideration is always the degree to which the marine and terrestrial material used to calculate  $\Delta R$  can be considered contemporaneous. Samples should therefore be selected from deposits with limited evidence for post-depositional bioturbation/disturbance, and where the time between death of the samples and deposition in the context is likely to have been short. If the time between death and deposition is extended, it is more likely that the terrestrial and marine samples were grown at significantly different points in time with respect to the typical measurement precision (c.  $\pm 35$   $^{14}\text{C}$  yr). It is important therefore that material used for the paired sample approach to determine MRE is likely to have experienced a minimum of taphonomic processes. Certain types of sample are likely to have undergone more taphonomic processes, such as reuse or transport between sites. These include objects that are of specific cultural significance or can be recycled for several purposes, such as building timbers. In addition, certain materials are likely to have survived an extended

period in the environment, such as driftwood that has been burnt as fuel. Samples for the paired sample approach should therefore be material that is often deposited as the direct result of short-lived (sub-annual) intensive human economic activities such as cereal processing or dumping of food waste. The use of short-lived single entities for measurement (e.g. Ashmore 1990) is therefore very useful. These include carbonized cereal grains, and represent integration of atmospheric or marine  $^{14}\text{C}$  over a short time period. It is also important to consider that the habitat of marine organisms, and what the diet of these organisms is, can also affect the accuracy of  $\Delta R$  values. This is a particular problem in areas of carbonate geology, where marine mollusc shell  $^{14}\text{C}$  levels can vary at an inter-species level due to the non-uniform  $^{14}\text{C}$  content of available food resources (Dye 1994; Forman & Polyak 1997; Heier-Nielsen *et al.* 1995). It should be noted that in areas of non-carbonate geology, such inter-species effects do not seem to affect marine mollusc  $^{14}\text{C}$  ages (Ascough *et al.* 2005b).

## 2. THE MRE IN THE NORTH ATLANTIC: TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION

The North Atlantic region is one in which climatic and oceanographic factors show a high level of variability, over both large and small spatial and temporal scales. These dynamic environmental changes through time have coincided with extensive human settlement and exploitation of natural resources, frequently at coastal locations, utilising marine resources (e.g. Gutiérrez-Zugasti *et al.* 2011). Environmental changes in the North Atlantic have global significance. For example changes in the global thermohaline circulation are driven by variations in the North Atlantic, and human-environment interactions here have implications of global relevance. This means that in addition to environmental research, the region also has great importance through the Holocene for the study of interactions between human communities and the environment.

Modern surface circulation within the North Atlantic is characterised by the distribution of northward-flowing warm, saline North Atlantic Current (NAC) waters, and the southward flow of cold, fresher Arctic-derived waters. Because the surface waters of the NAC spend an extended period in contact with the atmosphere during northward transport in the Gulf Stream, gaseous exchange with contemporary atmospheric  $\text{CO}_2$  means that NAC waters have relatively high  $^{14}\text{C}$  content (Campin *et al.* 1999). The  $^{14}\text{C}$  content of the NAC is high relative to that of surface waters in regions of strong upwelling, (e.g. the Antarctic coast) and equates to apparent ages between c.320-520  $^{14}\text{C}$  yr in modern Atlantic surface water between c.40°N and 40°S, (Broecker & Olsson 1961). Present assessments of the MRE and  $\Delta R$  values show considerable variation across the North Atlantic, generally increasing to the north and west and this variation is often associated with oceanographic variables, such as temperature and salinity, that are reflected in the distribution of Atlantic and Arctic water masses (e.g. Mangerud 1972; Eiríksson *et al.* 2004). In addition to the above water mass distribution, a complex zone of modern active upwelling exists along the

Atlantic coast of the Iberian Peninsula and the southern Portuguese coast (see Soares & Dias 2006) for a full discussion).

It is clear, from a large volume of research that the climatic and oceanic variables mentioned above have not been constant over time. Because these factors determine the surface ocean  $^{14}\text{C}$  content for a local ocean area, such variability can result in MRE fluctuations for a local ocean area, provided the variations are of sufficient magnitude and duration. It is therefore not only necessary to define a  $\Delta R$  or MRE value for a specific geographic location, but also for a specific time period. In the North Atlantic region, large-scale climatic/oceanographic changes have been correlated with variations in MRE values at individual locations through time. The most significant such changes are recorded over the last glacial/interglacial transition, with much higher MRE values for the glacial period than the following Holocene interval. The average Holocene MRE in the North Atlantic is c.400  $^{14}\text{C}$  yr, however MRE values in the west Iceland Sea are recorded as c.950 yr at c.25,000 cal yr BP and c.2240 C yr at c.18,000 cal yr BP, due to an increase in sea ice cover (Voelker *et al.* 1998, 2000). During the Holocene period, studies investigating MRE and  $\Delta R$  variations in the North Atlantic have also highlighted the potential for temporal fluctuations in values, although these are smaller than those observed over the glacial/interglacial transition, presumably due to the greater stability of climatic/oceanographic variables over the Holocene. For example, on the North Iceland shelf, varying dominance of the Irminger and East Iceland Currents appears to have resulted in MRE and  $\Delta R$  variations on the order of hundreds of  $^{14}\text{C}$  years from the mid-Holocene to present (Eiríksson *et al.* 2000, 2004). In addition, variations in  $\Delta R$  relative to present values are recorded over the past 8000 years for coastal waters around Scotland, Ireland, the Faroe Islands and Iceland (Ascough *et al.* 2006, 2007a, 2009).

Along with calibration of the  $^{14}\text{C}$  age of marine samples, determining MRE values can give valuable information about oceanography of a region. For example, work by Monge Soares and colleagues has demonstrated the utility of marine samples as a proxy record of oceanic upwelling events along the Atlantic façade of the Iberian peninsula, and highlighted significant variability in Holocene climate and palaeoceanography in this region (Soares & Dias 2006, 2007; Soares & Matos Martins 2010).

### **3. CHRONOLOGICAL IMPLICATIONS OF MRES FOR ARCHAEOLOGICAL MATERIAL**

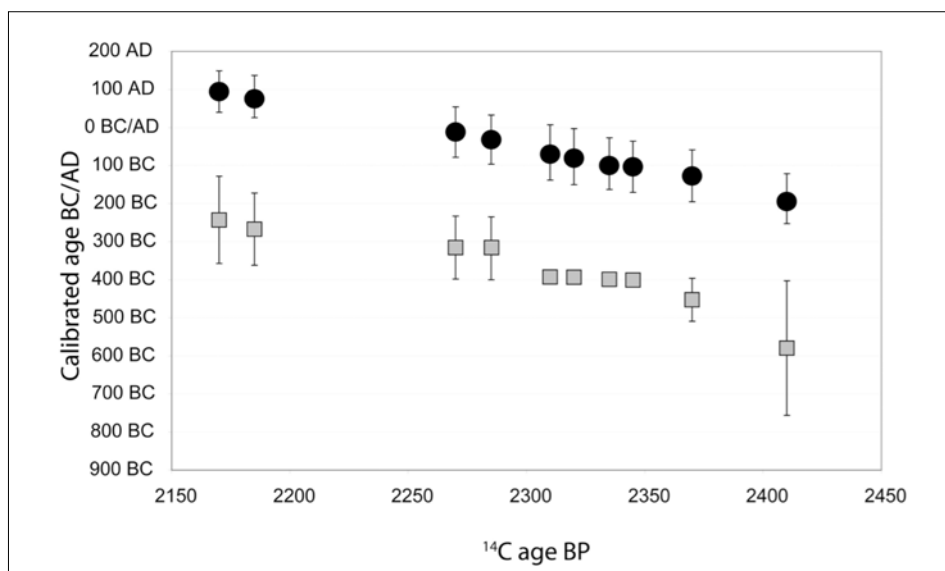
At archaeological sites, events represented in the stratigraphy of successive phases are frequently separated by less than 100  $^{14}\text{C}$  years, making chronological accuracy very important. In this case, if marine samples are selected for  $^{14}\text{C}$  dating, calibration of dates must be carefully considered. Firstly the Marine09 curve must be used, but also an appropriate  $\Delta R$  value applied, with its associated uncertainty. This value must be accurate for the geographic region and time period in which the samples were formed. The use of inaccurate values can lead to inaccurate chronological reconstructions, and

therefore to erroneous interpretations. This can be illustrated using the example of Iron Age settlement architecture on the Scottish Atlantic Façade (see Ascough *et al.* 2004 for a detailed discussion). This period is conventionally defined as covering c.800 BC to c.800 AD (Armit & Ralston 2003). During this period, building styles in Atlantic Scotland underwent a series of distinct and rapid transitions in different regions. The exact timing of these transitions has frequently been very unclear, which creates problems for archaeological investigations, particularly when investigating the links between cultural changes in settlement practice and environmental variability. One particular question has been the relationship between “brochs” and “wheelhouses”. The former is a drystone roundhouse with characteristic internal features including hollow walls, intramural stairs and galleries (Armit 2003). Although wheelhouses are often of comparable size to brochs, they were often dug into the landscape, and hence were much less visually impressive. The timing of these two settlement types has previously been less than clear regarding whether these developments were part of an ordered sequence progression or a more complex regional pattern of co-existence, although traditionally, wheelhouses are interpreted as post-dating brochs. This was questioned by findings at Hornish Point, on the Hebridean island of South Uist. Occupation at this site comprises an intensive successive series of building phases, where several wheelhouses were constructed, occupied, and abandoned over a short period (~330  $^{14}\text{C}$  yrs). Initial investigation at this site (Barber 2003) used radiocarbon dating of marine mollusc shells in construction of a site chronology. The MRE was assessed by comparing  $^{14}\text{C}$  measurements of terrestrial material with equivalent marine shell samples from both Hornish Point and the nearby site of Baleshare. As radiometric dating was used, a large sample volume was required, meaning it was not possible to directly compare marine and terrestrial material from the same deposit. Instead, samples were compared from deposits that were in close proximity, and in two cases the terrestrial  $^{14}\text{C}$  measurement was obtained by combining material from several adjacent deposits. The resulting MRE values ranged from +121 years to -405 years (Barber 2003), and the authors elected to calibrate all  $^{14}\text{C}$  age measurements from the site (including marine samples), using the atmospheric calibration curve (then IntCal98). The calibrated age ranges obtained in this way appear to imply that wheelhouses at Hornish Point were contemporaneous with some of the earliest brochs in Scotland (~700 BC to ~150 BC). A later assessment of the  $\Delta\text{R}$  at Hornish Point and Baleshare however, used AMS  $^{14}\text{C}$  measurement of multiple single entity terrestrial and marine samples from individual archaeological deposits, obtained according to a strict sample selection criteria (Ascough *et al.* 2004). If the  $^{14}\text{C}$  ages of marine material from the Hornish Point wheelhouse are calibrated with the marine calibration curve and the revised  $\Delta\text{R}$  value, indicates that the Hornish Point wheelhouses were constructed during a much later period, of ~250 BC to AD ~150 (Fig. 3).

Another major consideration when  $^{14}\text{C}$  dating archaeological samples from sites in regions such as the Atlantic Façade (where coastal resources were important to human populations), is whether any carbon in the bones of terrestrial organisms actually originated in the marine environment. This is possible in the case of omnivores, such

as humans and pigs, who may have incorporated marine material into their diets, such as fish, molluscs, and marine mammals (e.g. seals). The  $^{14}\text{C}$  age of bone collagen represents an average of the  $^{14}\text{C}$  in dietary protein (Ambrose & Norr 1993; Hedges *et al.* 2007), and therefore organisms consuming large amounts of marine food resources have older  $^{14}\text{C}$  ages than organisms of the same 'actual' age that consumed 100% terrestrial diets (cf. Tauber 1983; Yoneda *et al.* 2002; Bayliss *et al.* 2004; Richards & Sheridan 2000; Petchey *et al.* 2011). This has created problems for  $^{14}\text{C}$  dating of human remains in the North Atlantic region (e.g. Arneborg *et al.* 1999; Barrett *et al.* 2000; Ascough *et al.* 2006; Sveinbjörnsdóttir *et al.* 2010).

It is possible to calibrate the  $^{14}\text{C}$  ages of samples containing a mixture of terrestrial and marine carbon, by calibrating with a mixed IntCal09/Marine09 calibration curve, where an appropriate  $\Delta R$  value is used (Bronk Ramsey 1998). This requires quantification of the amount of sample marine carbon, which is usually achieved using the sample  $\delta^{13}\text{C}$ . The  $\delta^{13}\text{C}$  of bone collagen primarily reflects that of dietary protein. The  $\delta^{13}\text{C}$  of marine and terrestrial protein is significantly different, where terrestrial herbivore  $\delta^{13}\text{C}$  is usually -23 to -20‰ (DeNiro & Epstein 1978), compared to c. -15 to -17‰ for marine fish (Ambrose & Norr 1993; DeNiro & Epstein 1978; Hobson 1990). It is therefore possible to quantify the amount of marine carbon in a sample by mass balance, usually via a linear mixing model (Arneborg *et al.* 1999; Sveinbjörnsdóttir *et al.* 2010). In this approach it is essential that appropriate end-members are used for the  $\delta^{13}\text{C}$  mixing model, usually obtained by measurement of material from same geographical region as the samples to be  $^{14}\text{C}$  dated (Hobson 1999).



**Fig. 3** – Calibrated age ranges obtained for archaeological samples of marine material at Hornish Point on the Scottish Atlantic Façade. Age ranges obtained for samples using the atmospheric calibration curve are shown as grey circles, while age ranges using the marine calibration curve and a  $\Delta R$  of  $-79 \pm 17$   $^{14}\text{C}$  years are shown as black circles (From Ascough *et al.* 2004).

## 4. CONCLUSIONS

The marine radiocarbon reservoir effect is a crucial consideration when selecting samples for dating that may contain marine-derived carbon. This is particularly important for archaeological sites along the Atlantic Façade, both those that are based at coastal locations, and those where marine resources were important to the population, even when located away from the coastline. Terrestrial material should be preferred wherever possible for dating purposes, to avoid the complexities associated with correcting for the marine reservoir effect. In certain instances however, the most stratigraphically reliable samples may be of marine material, and indeed at some locations, this may be the only available material for  $^{14}\text{C}$  dating. In this case, it is critical that when calibrated age ranges are presented in the literature, all available information is also presented concerning how these age ranges were obtained. An accurate  $\Delta R$  value is crucial to produce accurate calibrated ages from marine samples, but the associated uncertainty on this  $\Delta R$  value must also be appropriate in order to account for small-scale local variations in sample  $^{14}\text{C}$  ages. Latitudinal and temporal variations in  $\Delta R$  are apparent in the North Atlantic, meaning it is important to consider a correction for the marine radiocarbon reservoir effect that is not only appropriate for the geographical area, but also for the time period in question.

Research is ongoing within the scientific community into marine radiocarbon reservoir effects on a global scale, and many researchers are taking part in this effort. Improved accuracy and precision of  $\Delta R$  determinations is apparent in the literature, particularly as improved analytical capabilities widen range of dateable material, and extend records over a longer timespan.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This paper is based on a presentation given at the 1st International Conference: Environmental Change and Human Interaction in the Western Atlantic Façade. The author would like to thank the organizers of the conference for the opportunity to make this presentation. The research on which this paper is based was supported by funding via Historic Scotland, the UK Natural Environmental Research Council (Grant No. NE/F002211/1), the Leverhulme Trust ('Landscape circum-*landnám*' Grant: Grant Number F/00 152/F), US National Science Foundation grant 0732327 'IPY: Long Term Human Ecodynamics in the Norse North Atlantic: cases of sustainability, survival, and collapse' awarded by the Office of Polar Programs Arctic Social Sciences International Polar Year program 2007-2010, the Carnegie Trust for the Universities of Scotland, and the Royal Scottish Geographical Society.

## REFERENCES

- Ambrose S.H. & Norr L.B. 1993. Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate. In: J.B. Lambert & G. Grupe (eds.) *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlin: Springer-Verlag:1-37.
- Armit I. & Ralston I.B.M. 2003. The Iron Age. In: K J Edwards and I.B.M. Ralston (eds.) *Scotland after the Ice Age: environment, archaeology and history 8000BC – AD 1000*. Edinburgh: 184, 2.

- Arneborg J., Heinemeier J., Lynnerup N., Nielsen H.L., Rud N. & Sveinbjörnsdóttir Á.E.** 1999. Change of diet of the Greenland Vikings determined from stable carbon isotope analysis and  $^{14}\text{C}$  dating of their bones. *Radiocarbon* 41: 157-168.
- Ashmore P.** 1998. Single entity dating. *Actes du colloque (C14 Archaeologie)* : 65-71.
- Ascough P., Cook G., Dugmore A., Barber J., Higney E. & Scott M.** 2004. Holocene variations in the Marine Radiocarbon Reservoir Effect. *Radiocarbon* 46: 611-620.
- Ascough P., Cook G. & Dugmore A.** 2005a. Methodological approaches to determining the marine radiocarbon reservoir effect. *Progress in Physical Geography* 29: 523-547.
- Ascough P., Cook G., Dugmore A., Scott M. & Freeman SPHT.** 2005b. Influence of mollusc species on marine  $\Delta\text{R}$  determinations. *Radiocarbon* 47: 433-440.
- Ascough P., Cook G., Church M.J., Dugmore A., Arge S.V. & McGovern T.H.** 2006. Variability in North Atlantic marine radiocarbon reservoir effects at c.1000 AD. *The Holocene* 16: 131-136.
- Ascough P., Cook G., Dugmore A. & Scott M.** 2007a. The North Atlantic Marine Reservoir Effect in the Early Holocene: Implications for Defining and Understanding MRE Values. *Nuclear Instruments and Methods in Physics B* 259: 438-447.
- Ascough P., Cook G. & Dugmore A.J.** 2009. North Atlantic Marine  $^{14}\text{C}$  Reservoir Effects: implications for late-Holocene chronological studies. *Quaternary Geochronology* 4: 171-180.
- Austin W.E.N., Bard E., Hunt J.B., Kroon D. & Peacock J.D.** 1995. The  $^{14}\text{C}$  age of the Icelandic Vedde ash; implications for Younger Dryas marine reservoir age corrections. *Radiocarbon* 37: 53-62.
- Barber D.C., Dyke A., Hillaire-Marcel C., Jennings A.E., Andrews J.T., Kerwin M.W., Bilodeau G., McNeely R., Southon J., Morehead M.D. & Gagnon J-M.** 1999. Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic draining of Laurentide lakes. *Nature* 400, 344-348.
- Barber, J.** 2003. Bronze Age farms and Iron Age farm mounds of the Outer Hebrides. *Scottish Archaeological Internet Reports* 3. The Society of Antiquaries of Scotland, UK.
- Barrett, J.H., Beukens R.P. & Brothwell D.R.** 2000. Radiocarbon dating and marine reservoir correction of Viking age Christian bones from Orkney. *Antiquity* 74: 537-543.
- Bayliss A., Shepherd Popescu E., Beavan-Athfield N., Bronk Ramsey C., Cook G.T. & Locker A.** 2004. The potential significance of dietary offsets for the interpretation of radiocarbon dates: an archaeologically significant example from medieval Norwich. *Journal of Archaeological Science* 31: 563-575.
- Broecker W.S. & Olson E.A.** 1961. Lamont radiocarbon measurements VIII. *Radiocarbon* 3: 176-204.
- Broecker W.S., Peng T.H., Ostlund G. & Stuiver M.** 1985. The distribution of bomb radiocarbon in the ocean. *Journal of Geophysical Research* 90: 6953-6970.
- Bronk Ramsey C.** 1998. Probability and dating. *Radiocarbon* 40: 461-474.
- Campin J-M., Fichetef T. & Duplessy J-C.** 1999. Problems with using radiocarbon to infer ocean ventilation rates for past and present climates. *Earth and Planetary Science Letters* 165: 17-24.
- Couper A.D.** 1983. *The times atlas of the oceans*. London: Times Books, 272 pp.
- DeNiro M.J. & Epstein S.** 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42: 495-506.
- Dye T.** 1994. Apparent Ages of Marine Shells: Implications for Archaeological Dating in Hawaii. *Radiocarbon* 36: 51-57.
- Eiriksson J., Knudsen K.L., Hafliðason H. & Heinemeier J.** 2000. Chronology of late Holocene climatic events in the Northern North Atlantic based on AMS  $^{14}\text{C}$  dates and tephra markers from the volcano Hekla, Iceland. *Journal of Quaternary Science* 15: 573-580.
- Eiriksson J., Larsen G., Knudsen K.L., Heinemeier J. & Símonarson L.A.** 2004. Marine reservoir age variability and water mass distribution in the Iceland Sea. *Quaternary Science Reviews* 23: 2247-2268.



- Forman S.L. & Polyack L.** 1997. Radiocarbon content of pre-bomb marine molluscs and variations in the  $^{14}\text{C}$  reservoir age for coastal areas of the Barents and Kara seas, Russia. *Geophysical Research Letters* 24: 885-888.
- Goodfriend G.A. & Flessa K.W.** 1997. Radiocarbon reservoir ages in the Gulf of California: Roles of upwelling and flow from the Colorado river. *Radiocarbon* 39:139-148.
- Gordon J.E. & Harkness D.D.** 1992. Magnitude and geographic variation of the radiocarbon content in Antarctic marine life: implications for reservoir correction in radiocarbon dating. *Quaternary Science Reviews* 11: 697-708.
- Gutiérrez-Zugasti I., Andersen S.H., Araújo A.C., Dupont C., Milner N. & Monge-Soares A.M.** 2011. Shell midden research in Atlantic Europe: State of the art, research problems and perspectives for the future. *Quaternary International* 239: 70-85.
- Hedges R.E.M., Clement J.G., Thomas, C.D.L. & O'Connell T.C.** 2007. Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Modeled from anthropogenic radiocarbon tracer experiments. *American Journal of Physical Anthropology* 133: 808-816.
- Heier-Neilsen S., Heinemeier J., Nielsen H.L. & Rud N.** 1995. Recent reservoir ages for Danish Fijords and marine waters. *Radiocarbon* 37: 875-882.
- Hobson, K.A.** 1990. Stable isotope analysis of Marbled murrelets: Evidence for freshwater feeding and determination of trophic level. *The Condor* 92: 897-903.
- Hobson, K.A.** 1999. Stablecarbon and nitrogen isotope ratios of songbird feathers grown in two terrestrial biomes: Implications for evaluating trophic relationships and breeding origins. *The Condor* 101: 799-805.
- Levin, I. & Hesshaimer, V.** 2000. Radiocarbon – a unique tracer of global carbon cycle dynamics. *Radiocarbon* 42: 69-80.
- Liss, P.S. & Merlivat, L.** 1986. Air-sea gas exchange rates: introduction and synthesis. In: P. Buat-Menard (ed) *The Role of Air-Sea Exchange in Geochemical Cycling*: 113-127.
- Mabin M.C.G.** 1985.  $^{14}\text{C}$  ages for 'heroic era' penguin and seal bones from Inexpressible Island, Terra Nova Bay, North Victoria Land. *New Zealand Antarctic Record* 6: 24-25.
- Mangerud J.** 1972. Radiocarbon dating of marine shells, including a discussion of apparent ages of Recent shells from Norway. *Boreas* 1: 143-172.
- Petchey F., Spriggs M., Leach F., Seed M., Sand C., Pietruszewsky M. & Anderson K.** 2011. Testing the human factor: Radiocarbon dating the first peoples of the South Pacific. *Journal of Archaeological Science* 38: 29-44.
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck W.J., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac F.G., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., van der Plicht J. & Weyhenmeyer C.E.** 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51: 1111-1150.
- Reimer P.J. & Reimer R.W.** 2001. A marine reservoir correction database and on-line interface. *Radiocarbon* 43: 461-463.
- Richards M.P. & Sheridan J.A.** 2000. New AMS dates on human bone from Mesolithic Ornsay. *Antiquity* 74: 313-315.
- Russell N., Cook G.T., Ascough P., Barrett J.H. & Dugmore A.** 2011. Species specific Marine Radiocarbon Reservoir Effect: A comparison of  $\Delta\text{R}$  values between *Patella vulgata* (limpet) shell carbonate and *Gadus morhua* (Atlantic cod) bone collagen. *Journal of Archaeological Science* 38: 1008-1015.
- Siani G., Paterne M., Michel E., Sulpizio R., Sbrana A., Arnold M. & Haddad G.** 2001. Mediterranean Sea Surface Radiocarbon Reservoir Age Changes Since the Last Glacial Maximum. *Science* 294: 1917-1920.

- Sigman D.M. & Boyle E.A.** 2000. Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide. *Nature* 407: 859-869.
- Silar J.** 1980. Radiocarbon activity measurements of oolitic sediments from the Persian Gulf. *Radiocarbon* 22: 655-661.
- Soares, A.M.M. & Dias J.M.A.** 2006. Coastal upwelling and radiocarbon – evidence for temporal fluctuations in ocean reservoir effect off Portugal during the Holocene. *Radiocarbon* 48: 45–60.
- Soares, A.M.M. & Dias, J.M.A.** 2007. Reservoir effect of coastal waters off western and northwestern Galicia. *Radiocarbon* 49: 925–936.
- Soares A.M.M. & Matos Martins J.M.** 2010. Radiocarbon dating of marine samples from Gulf of Cadiz: The reservoir effect. *Quaternary International* 221: 9-12.
- Southon J.R., Nelson D.E. & Vogel J.S.** 1992. The determination of past ocean atmosphere radiocarbon differences. In: E. Bard and W.S. Broecker (eds.) *The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies*. NATO ASI Series 1: 219-227.
- Stocker T.F. & Wright D.G.** 1996. Rapid changes in ocean circulation and atmospheric radiocarbon. *Paleoceanography* 11: 773-796.
- Stuiver M. & Braziunas T.F.** 1993. Modelling atmospheric  $^{14}\text{C}$  influences and  $^{14}\text{C}$  ages of marine samples to 10,000 BC. *Radiocarbon* 35: 137-189.
- Stuiver M., Pearson G.W. & Braziunas T.** 1986. Radiocarbon age calibration of marine samples back to 9000 cal yr BP. *Radiocarbon* 28: 980-1021.
- Stuiver M. & Polach H.A.** 1977. Reporting of C-14 data—discussion. *Radiocarbon* 19: 355-363.
- Sveinbjörnsdóttir A., Heinemeier J., Arneborg J., Lynnerup N., Olafsson G. & Zoëga G.** 2010. Dietary reconstruction and reservoir correction of  $^{14}\text{C}$  dates on bones from pagan and early Christian graves in Iceland. *Radiocarbon* 52: 682-696.
- Tauber H.** 1983.  $^{14}\text{C}$  dating of human beings in relation to dietary habits. *PACT* 8: 365-375.
- Taylor R.E. & Berger R.** 1967. Radiocarbon content of marine shells from the Pacific coasts of Central and South America. *Science* 158: 1180-1182.
- Van der Plicht J. & Hogg A.** 2006. A note on reporting radiocarbon. *Quaternary Geochronology* 1: 237–240.
- Voelker A.H.L., Sarnthein M., Grootes P.M., Erlenkeuser H., Laj C., Mazaud A., Nadeau M-J. & Schleicher M.** 1998. Correlation of marine  $^{14}\text{C}$  ages from the Nordic seas with the GISP2 isotope record: Implications for  $^{14}\text{C}$  calibration beyond 25ka BP. *Radiocarbon* 40: 517-534.
- Voelker A.H.L., Grootes P.M., Nadeau M. & Sarnthein M.** 2000. Radiocarbon levels in the Iceland Sea from 25-53 Kyr and their link to the Earth's magnetic field intensity. *Radiocarbon* 42: 437-452.
- Waelbroeck C., Duplessy J-C., Michel E., Labeyrie L., Paillard D. & Dupratt J.** 2001. The timing of the last deglaciation in North Atlantic climate records. *Nature* 412: 724 -727.
- Yoneda M., Kitagawa H., van der Plicht J., Uchida M., Tanaka A, Uehiro T., Shibata Y., Morita M. & Ohno T.** 2000. Pre-bomb marine reservoir ages in the western north Pacific: Preliminary result on Kyoto University collection. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B- Beam Interactions with Materials and Atoms* 172: 377-381.
- Yoneda M., Tanaka A., Shibata Y., Morita M., Uzawa K., Hirota M. & Uchida M.** 2002. Radiocarbon Marine Reservoir Effect in human remains from the Kitakogane Site, Hokkaido, Japan. *Journal of Archaeological Science* 29: 529-536.



# RADIOCARBON DATING OF AEOLIANITE FORMATION

A. M. Monge Soares<sup>1</sup>, A. Ramos Pereira<sup>2</sup>,  
J. M. Matos Martins<sup>1</sup> & P. J. Portela<sup>1</sup>

**Abstract:** Several consolidated carbonate-rich sand dunes (aeolianites) of Late Pleistocene age are known along western and southern Portuguese coasts. Marine transgressions and regressions allowed the onshore deposition of carbonate-rich sands. The subsequent aeolian reworking is in the origin of the aeolianites, which usually occur at similar geomorphologic positions. If it is postulated that the carbonate-rich sand that is deflated from a coastal dune field to form aeolianites had an apparent radiocarbon age that is characteristic of that dune field at the time when the deflation occurred, then the radiocarbon dates obtained from samples collected at aeolianites from a same region will indicate its relative chronology.

At Praia Azul, S. Julião, Samarra, Magoito, Aguda, Praia das Maças and Oitavos, all located in the Portuguese Estremadura, some of these aeolian sand deposits can be observed. For two of them, Magoito and Oitavos, reliable dates for their formation were determined, since a epipaleolithic midden and a paleosol, respectively, exist at the base of the aeolianites. Magoito has a Holocene age, probably formed during the Pre-Boreal period, whilst the Oitavos aeolianite was probably generated during the last interstadial of OIS 3 (ca. 32000 BP). Samples from Magoito and Oitavos, and also from S. Julião, Aguda and Praia Azul aeolianites were collected in order to determine their relative and, if possible, also their absolute chronologies. Aguda and Magoito aeolianites have the same apparent age (ca. 20000 BP), suggesting that Aguda is also of Holocene age. Samples collected at different places at S. Julião have the same apparent age suggesting that only one aeolianite generation is present. This apparent age is the same determined for Oitavos aeolianite suggesting that both were formed during the last interstadial of OIS 3. Praia Azul aeolianite has the youngest apparent age, only differing one thousand years from the apparent age of the Praia Azul present-day dune field.

This research allowed to prove that radiocarbon dating of the aeolianite carbonate fraction is a successful tool not only to test contemporaneity of aeolianite formation but also to set up a geochronologic framework where to place consolidated aeolian carbonate-rich sand deposits from a given region.

**Key-words:** Aeolianites; Radiocarbon dating; Apparent age; Western Portuguese coast.

**Resumo:** Diversas dunas de areias carbonatadas (eolianitos) do Plistocénico Superior e do Holocénico são conhecidas ao longo das costas ocidental e sul portuguesas. As transgressões e regressões marinhas têm permitido a deposição, em zonas costeiras emersas, de areias carbonatadas. A subsequente remobilização eólica desses depósitos arenosos está na origem dos eolianitos, os quais habitualmente se localizam em posições geomorfológicas similares. Se se postular que a areia carbonatada que sofre uma remobilização eólica a partir de um campo dunar costeiro e que irá originar eolianitos numa

---

<sup>1</sup> Laboratório de Radiocarbono, Instituto Tecnológico e Nuclear/Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Estrada Nacional 10, 2685-953 Sacavém, Portugal. amsoares@itn.pt, jmartins@itn.pt, paulo.portela@itn.pt

<sup>2</sup> Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal anarp@campus.ul.pt

determinada região tem uma idade aparente de radiocarbono que é característica desse campo dunar na altura em que a deflação ocorreu, então a datação por radiocarbono de amostras colhidas em eolianitos numa mesma região permitirá estabelecer a sua cronologia relativa.

Na costa ocidental portuguesa, na Estremadura, existem diversos eolianitos, designadamente na Praia Azul, em S. Julião, na Samarra, em Magoito, na Aguda, na Praia das Maças e em Oitavos. Para dois deles, os de Magoito e de Oitavos, foram determinadas idades rigorosas e precisas para a sua formação, dado que um concheiro epipaleolítico existe na base do primeiro, e um paleosolo na base do segundo, ambos com materiais fiáveis para datação pelo radiocarbono. O de Magoito tem uma idade holocénica, tendo sido formado, muito provavelmente, durante o Pré-Boreal, enquanto o eolianito de Oitavos teve a sua origem provavelmente durante o último interstadial de OIS 3 (ca. 32000 BP). Amostras de areias carbonatadas foram colhidas nestes dois eolianitos e também nos de S. Julião, Aguda e Praia Azul com a finalidade de determinar a sua cronologia relativa e, se possível, também a sua cronologia absoluta. Aguda e Magoito têm a mesma idade aparente (c. 20000 BP), o que sugere que Aguda terá também a mesma idade holocénica que Magoito. Por seu lado, as amostras colhidas em diversos pontos do eolianito de S. Julião têm a mesma idade aparente, o que sugere que apenas uma geração de eolianitos está presente neste local. Esta idade aparente é a mesma que foi determinada para o eolianito de Oitavos, o que aponta para que ambos se tenham formado na mesma altura, por conseguinte durante o último interstadial de OIS 3. O eolianito da Praia Azul tem a idade aparente mais recente do conjunto analisado, diferindo somente cerca de um milhar de anos da idade aparente do campo dunar actual existente junto à Praia Azul.

Os dados obtidos nesta investigação permitiram provar que a datação pelo radiocarbono da fracção carbonatada dos eolianitos constitui uma boa ferramenta, não só para testar a sua eventual contemporaneidade de formação, mas também para construir um esqueleto cronológico onde colocar os eolianitos de uma determinada região.

**Palavras-chave:** Eolianitos; Datação pelo Radiocarbono; Idade Aparente; Costa Ocidental Portuguesa.

## 1. INTRODUCTION

Coastal dunes are exposed to a series of diagenetic processes that, in particular situations, can lead to the cementation of the accumulated sediments allowing the formation of consolidated dunes or aeolianites. Cemented sand-dune formations have been widely used in environmental and climatic reconstruction due to the relation of these geomorphologic features with palaeoclimatic events (Bateman *et al.* 2004; Brooke 2001).

In Portugal, the main diagenetic process responsible for the cementation of coastal dunes and, consequently, for aeolianite generation, is carbonatation. This phenomenon is associated with specific climatic conditions that involve humidity, and posterior evaporation of the water, allowing the precipitation of calcium carbonate, which leads to the cementation of coastal carbonate-rich dunes (Pereira & Angelucci 2004).

If it is postulated that the carbonate-rich sand that is deflated from the dune field to form aeolianites had an apparent radiocarbon age that is characteristic of that dune field at the time when the deflation occurred, then the radiocarbon dates obtained from samples collected at aeolianites from a same region will indicate its relative chronology. Nevertheless, the determination of an absolute date for these structures using radiocarbon usually raises several problems due to lack of suitable material (charcoal, bones) to be dated. Due to the absence of these materials, radiocarbon dating of the aeolianite carbonate fraction present in these formations becomes the

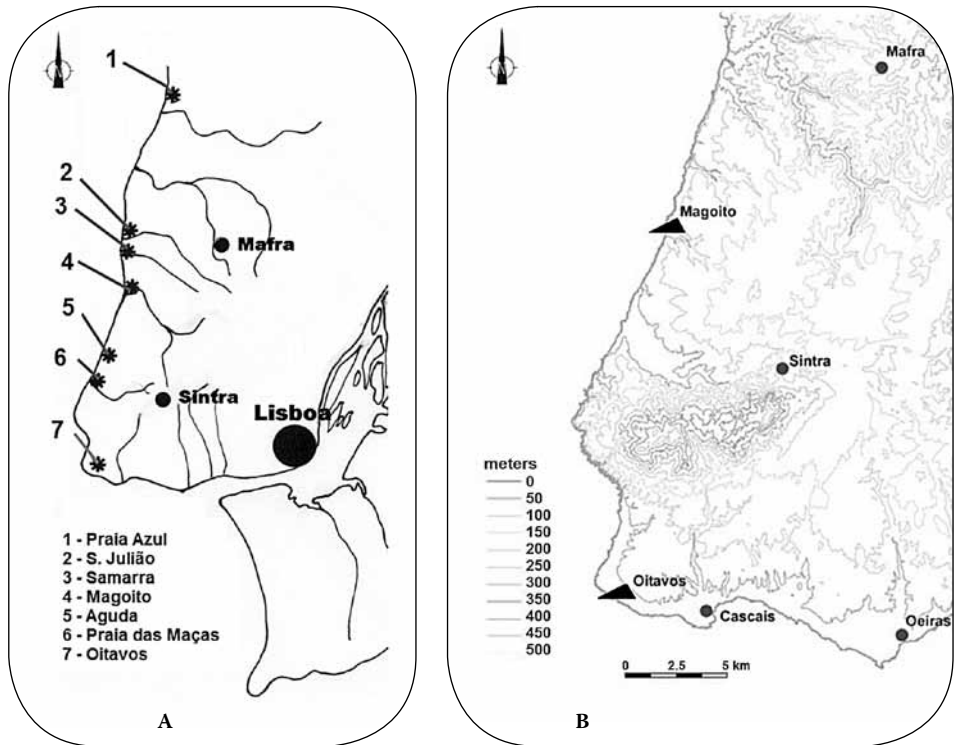


Fig. 1 – Location of aeolianites of the Portuguese Estremadura.

only option available. However, the carbonate fraction includes a mixture of biogenic and lithic carbonates, and also precipitated and reprecipitated carbonate that only leads to the obtainment of an apparent age (i.e., a maximum age for the formation of the aeolianite).

Several aeolianites are known along the western Portuguese coast, namely at Praia Azul, S. Julião, Samarra, Magoito, Aguda, Praia das Maças and Oitavos, all in the Portuguese Estremadura (Fig. 1A). These aeolianites usually present cross bedding stratification that indicates a prevailing northern or northwestern wind direction during the dune formation. On the other hand, these aeolianites, with the exception of Oitavos, fossilize the slope of the northern margin of small rivers near the beaches where today they have their mouths. Due to very similar characteristics, locations and conditions of dune formation, all these dunes were thought to be of Pleistocene age (Pereira & Correia 1985).

Despite the problems mentioned above related with the radiocarbon dating of these sedimentary structures, reliable radiocarbon dates for the formation of two of them, Magoito and Oitavos (Fig. 1B) were determined, since a shell midden and a paleosol with snail shells (*Helix sp.*) exist, respectively, at the base of these two aeolianites (Daveau *et al.* 1982; Soares 2003; Soares *et al.* 2006).

## 1.1. Magoito Aeolianite

The Magoito carbonated climbing consolidated dune (Fig. 2) was previously studied by Zbyszewski (1943) who identified two archaeological sites closely associated with it. A black layer with a large concentration of marine and estuarine shells, charcoal, and bones (a shell midden) was found in the base of the dune. Zbyszewski linked this archaeological site to the Upper Paleolithic, while the dune would be ascribed to the Final Würm. On the southern side of this sedimentary structure another shell midden was found, but this one placed over the dune, containing large shells of *Mytilus galloprovincialis* and pottery. This shell midden would be chronologically linked to the Neolithic or to a more recent period (Zbyszewski 1958).

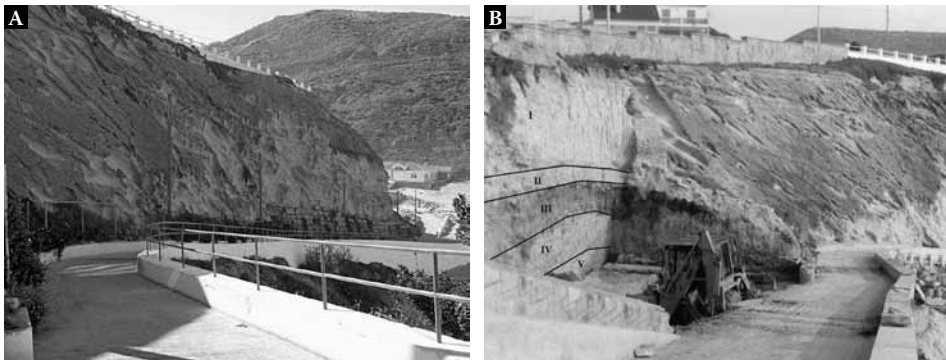


Fig. 2 – A. Magoito aeolianite; B. Stratigraphic layers (III – older shell midden).

Later on, the radiocarbon dating of a charcoal sample, collected from the black layer of the older midden, placed this shell midden in the Pre-Boreal period (GrN-11229 9580 ± 100 BP; 2σ: cal BP 10660 – cal BP 11200). Consequently, the formation of the Magoito aeolianite would have occurred during the Holocene (Daveau *et al.* 1982).

Given the uncertainty associated to a single radiocarbon date, more samples of different materials were collected at different locations in the archaeological layer to be radiocarbon dated (Soares 2003). These new dates (Tab. 1 – Magoito 1) confirm the first one and show that the Magoito aeolianite was formed during the Pre-Boreal. The second archaeological site, on the southern side of the dune, turned out to be much more complex than what was described by Zbyszewski. It was possible to identify two human occupations, being the older one (Magoito 2) ascribed to the V Millennium B.C., while the more recent occupation was linked to the Late Neolithic to which belong the shards found in this midden (Soares 2003).

**Tab. 1.** Radiocarbon dating of archaeological sites connected with the Magoito aeolianite (see Soares 2003, Quadro I)

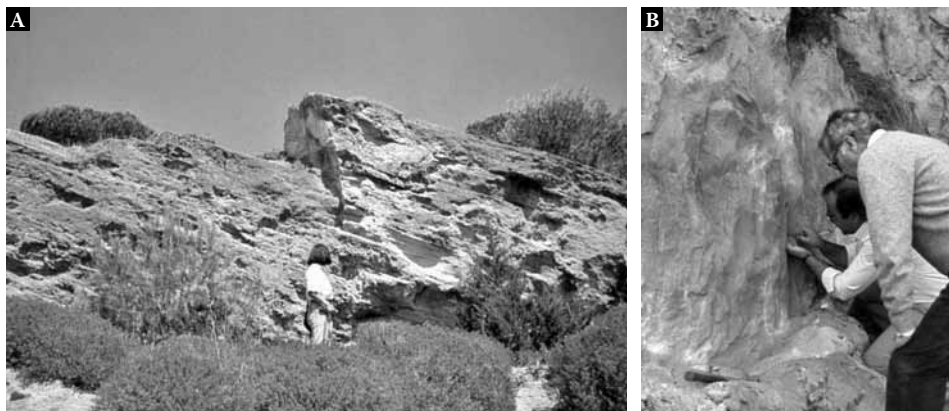
Lab. ref.	Sample ref.	Sample type	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ age (BP)	Calendar date (2 $\sigma$ ) (cal BC)*
GrN-11229	Magoito 1A	Charred wood		9580 $\pm$ 100	9250 – 8710 <sup>a</sup>
ICEN-52	Magoito 1B	Charred wood	-24.56	9490 $\pm$ 60	9130 – 8630 <sup>a</sup>
ICEN-80	Magoito 1B M	<i>Mytilus sp.</i>	+2.34	9970 $\pm$ 70	9100 – 8560 <sup>b</sup>
ICEN-81	Magoito 1B P	<i>Patella sp.</i>	+2.75	9790 $\pm$ 120	8880 – 8240 <sup>b</sup>
ICEN-82	Magoito 1B C	<i>Cerastoderma</i>	+1.33	9910 $\pm$ 100	9110 – 8420 <sup>b</sup>
ICEN-577	Magoito 1C M	<i>Mytilus sp.</i>	+0.54	9880 $\pm$ 80	8990 – 8370 <sup>b</sup>
ICEN-425	Magoito 2A P2	<i>Patella spp.</i>	+3.71	6030 $\pm$ 80	4590 – 4240 <sup>c</sup>
ICEN-471	Magoito 2A T	<i>Thais haemas-toma</i>	+4.05	5970 $\pm$ 120	4610 – 4040 <sup>c</sup>

\*\* Calendar dates using the IntCal09 curve (<sup>a</sup>) and the Marine09 curve (<sup>b,c</sup>) (REIMER et al., 2009), the program CALIB rev. 6.0.1 (Stuiver & Reimer 1993) and the  $\Delta R$  values 160  $\pm$  60  $^{14}\text{C}$  yr (<sup>b</sup>) or 95  $\pm$  15  $^{14}\text{C}$  yr (<sup>c</sup>) (Soares & Dias 2006).

## 1.2. Oitavos Aeolianite

A rigorous radiocarbon dating program was designed to determine with reliability the age of the Oitavos aeolianite formation (for a detailed discussion see Soares *et al.* 2006). This program included not only the radiocarbon dating of the organic matter and the land snail shells of *Helix sp.* present in the paleosol underlying the aeolianite (Fig. 3) but also *Helix sp.* samples from two other sites: Magoito aeolianite and Encosta de Sant'Ana (ESA), a Neolithic site in the down-town of Lisbon, in order to determine the so-called age anomaly associated to the radiocarbon age of this kind of terrestrial gastropods. The results are presented in Tab. 2.

Regarding the paleosol sample, radiocarbon dating of this kind of material involves some problems concerning the interpretation of the result. The organic matter contained in these samples is always at risk of contamination due to sediment

**Fig. 3** – A. Oitavos aeolianite; B. *Helix sp.* sample collection at Oitavos aeolianite.



permeability and humic acids mobility. A usual method is to eliminate carbonate materials and fulvic acids, and to extract the humic acids with an alkaline solution, which are later precipitated with an acid solution (Delibrias 1979; Gilet-Blein *et al.* 1980; Head & Zhou 2000). This was the way followed in the dating of the Oitavos paleosol (Soares *et al.* 2006).

**Table 2.** Radiocarbon dating of Oitavos aeolianite (see Soares *et al.* 2006, Tab. 1)

Lab. ref.	Sample ref.	Sample type	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ age (BP)
ICEN-460	Oitavos	Paleosol (NaOH extract)	-26.9	+1700 31700 * -1400
ICEN-373	Oitavos H1	<i>Helix sp.</i> (intermediate fraction)	-4.2	+1810 34240 * -1460
ICEN-374	Oitavos H2	<i>Helix sp.</i> (inner fraction)	-1.7	+3530 39090 * -2450
ICEN-52	Magoito 1	Charred wood	-24.6	9490 ± 100
ICEN-429	Magoito 1A-H1	<i>Helix sp.</i> (intermediate fraction)	-6.4	10270 ± 110
ICEN-430	Magoito 1A-H2	<i>Helix sp.</i> (inner fraction)	-7.2	10120 ± 100
ICEN-431	Magoito 1B-H	<i>Helix sp.</i>	-4.9	10510 ± 110
Sac-2076	ESA 04 E VIII 6/7 M	<i>Mytilus sp.</i>	+0.5	5970 ± 50**
Sac-2077	ESA 04 E VIII 6/7 H	<i>Helix sp.</i>	-10.4	7520 ± 50

\* As the radioactivity decay law is an exponential law the radiocarbon dates have a non-normal calibrated distribution that must be taken into account when the standard deviations are large like those of ICEN-460, ICEN-373, and ICEN-374.

\*\* Corrected date using a R (marine reservoir effect) value of  $380 \pm 30$   $^{14}\text{C}$  yr (Soares 1993).

In order to test the reliability of the paleosol date, a sample of *Helix sp.* collected in the paleosol was also radiocarbon dated. The *Helix* gastropod species is known to present an age anomaly when radiocarbon dated. This anomaly results from the incorporation of carbonate depleted in  $^{14}\text{C}$  from soil or from rocks in the mollusk shell. This aging factor can be estimated between 500 and 2800 years (Yates 1986; Goodfriend 1987). As mentioned above *Helix* samples collected into other two sites and closely associated with more reliable samples were also radiocarbon dated – at Magoito, from two places in the aeolianite, just above the older shell midden, and at Encosta de Sant’Ana (ESA), in a Neolithic layer, closely associated with *Mytilus* shells. The results (see Table 2) point out to an anomaly value of *c.* 600-1000  $^{14}\text{C}$  yrs (Magoito)

or c. 1500  $^{14}\text{C}$  yrs (ESA). These values are in accordance with those published by Yates and Goodfriend. So, the radiocarbon date obtained for the paleosol seems reliable, i.e. the Oitavos aeolianite was probably formed in the interval 33-30 Ka BP, perhaps during the last interstadial of OIS 3 (ca. 32000BP).

An attempt to date this aeolianite was also made by other researchers (Prudêncio *et al.* 2007) with results somewhat different from those ones mentioned above. They used blue optically stimulated luminescence (B-OSL) and radiocarbon dating. Three dates were determined for the Oitavos aeolianite using B-OSL (11800 $\pm$ 537 BP, 14363 $\pm$ 1086 BP, 14454 $\pm$ 834 BP) and one for the paleosol (15270 $\pm$ 665 BP). The dated samples were in stratigraphic order and with these results Prudêncio *et al.* (2007) suggest the presence of two episodes of dune formation, but there is a complete lack of evidence concerning any stratigraphic discontinuity in the dune. Besides that date for the paleosol, other dates using different kind of samples were obtained for the same deposit: 16400 $\pm$ 50 BP (SUERC-8362) with an organic sample, 34830+1350/-1150 (Sac-2065) with sand carbonate not pretreated, and 33900 $\pm$ 300 BP with a snail shell. The first date is not very different from that one determined with B-OSL, the sand carbonate radiocarbon date is, as it is known, an apparent age, and the snail shell date is similar to that one determined by us. Prudêncio *et al.* (2007) using INAA and XRD concluded that  $^{14}\text{C}$ -free limestone was incorporated into shell carbonate. But this fact, which is reflected in the referred age anomaly, is already known and abundantly described in the literature (see, for instance, Tamers 1970; and Evin *et al.* 1980). Nevertheless Prudêncio *et al.* (2007) went further and explained the difference between the age (33900 $\pm$ 300 BP) determined with the land snails and the one obtained with the organic component of the paleosol (16400 $\pm$ 50 BP), i.e. an ageing of the land snails of c. 17000  $^{14}\text{C}$  yr, with the incorporation, by a diagenetic process, of  $^{14}\text{C}$ -free carbonate into the shells. It seems that the authors ignore *i*) that the eventual contamination of the shells (a diagenetic process) came from the carbonate-rich sand with a finite age and not from any  $^{14}\text{C}$ -free limestone formation, and *ii*) which are the possible values for the so-called radiocarbon age anomaly of land snails. On the other hand, if we take into account that the radioactive decay law is an exponential law and if we agree with the authors' interpretation, then the most part of the dated land snail should be secondary carbonates (calcite). But, following Prudêncio *et al.* (2007), XRD analysis shows that aragonite content  $\gg$  calcite content, which renders inaccurate their interpretation of the age determined for the land snails. So, the B-OSL dates and also SUERC-8362 seem to be also inaccurate, i.e. they do not represent the date of deposition of the constituents of the sedimentary formation (paleosol). The exposed surfaces of the Oitavos formation have been subject to both weathering and bioturbation. Today bees, wasps and other insects can be seen boring into the dune and in the paleosol. Weathering and bioturbation may explain the discrepancy between our results and those ones obtained by Prudêncio *et al.* (2007).

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Sampling

The aim of this work is to demonstrate that radiocarbon dating of the aeolianite carbonate fraction is a successful tool not only to test contemporaneity of aeolianite formation but also to set up a geochronologic framework where to place consolidated aeolian carbonate-rich sand deposits from a given region. To achieve this objective, in a first step, samples of carbonate-rich sand were collected from Magoito aeolianite and also from the present-day beaches of Praia Azul, Foz do Lizandro<sup>3</sup>, S. Julião and Magoito in order to test the constancy of the apparent age value at different locations in the aeolianite and the effectiveness of the sample pre-treatment. Also the apparent age of the carbonate-rich sand present in several present-day beaches was determined. In a second step, Praia Azul, S. Julião, Aguda and Oitavos aeolianites were sampled and radiocarbon dated.

### 2.2. Sample pre-treatment, benzene synthesis, liquid scintillation counting (l.s.c.)

Three kinds of samples were collected in the first step mentioned above: duplicated samples from present-day beaches, superficial dark crusts and consolidated carbonate-rich sand with no visual sign of alteration from Magoito aeolianite. From Praia Azul, S. Julião, Aguda and Oitavos aeolianites only samples of consolidated carbonate-rich sand with no visual sign of alteration were collected. Any exception to this sampling will be mentioned ahead.

A sample pre-treatment in two steps was used in its decontamination. In the first step, 500 g of sample were mechanical disaggregated (if aeolianite samples) and the foreign materials removed. After this first step, an acid hydrolysis was carried out with acetic acid (CH<sub>3</sub>COOH, 10 M) in an attempt to remove the more recent contamination (secondary carbonates).

In the case of present-day beach samples, one of the duplicated sample was subjected in the synthesis line, after mechanical removal of eventual foreign material, to an acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl) in order to convert the sample in benzene to be dated by l.s.c.; the other sample was decontaminated with 220 ml of CH<sub>3</sub>COOH (10 M) prior to the reaction with HCl in the synthesis line. Concerning aeolianite samples collected at Magoito, the crust samples were decontaminated with CH<sub>3</sub>COOH in the same way referred before, while with those without any visual sign of alteration the reaction with CH<sub>3</sub>COOH was made in the synthesis line and the obtained CO<sub>2</sub> was dated after its conversion to benzene. The remaining sand was washed with distilled water, dried and subject to a new reaction with HCl in the synthesis line, i.e. two radiocarbon dates were obtained for each sample. Samples

---

<sup>3</sup> Foz do Lizandro is the nearest beach north of S. Julião.

collected from the other aeolianites were hydrolysed with HCl after decontaminated with CH<sub>3</sub>COOH in the same way mentioned above. Sometimes, the residue of this last hydrolysis was further hydrolysed with HCl in order to obtain another radiocarbon date.

The sample conversion process in benzene and the measurement of its <sup>14</sup>C activity is described elsewhere (Soares 2005). Stable isotope enrichment values ( $\delta^{13}\text{C}$ ) were determined for the CO<sub>2</sub> gas produced at the initial stage of benzene synthesis using a SIRA 10 (VG ISOGAS) Isotope Ratio Mass Spectrometer with dual inlet.

<sup>14</sup>C ages were calculated in accordance with the definitions recommended by Stuiver and Polach (1977).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Apparent age of present-day beaches

The results obtained with samples of carbonate-rich sands collected in present-day beaches are presented in Table 3. As expected, radiocarbon ages obtained with samples without a chemical decontamination are more recent than those obtained after the chemical pre-treatment with acetic acid, which point to the effectiveness of the used pre-treatment. Apparent age values obtained after sample decontamination seem to be related with the sand origin as we will see ahead. Also the same is suggested with the apparent ages determined before pre-treatment, although differences among ages are smaller than those found after pre-treatment.

**Tab. 3** – Radiocarbon dates of samples collected in present-day beaches

Lab. Ref.	Sample ref.	Pretreatment	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	<sup>14</sup> C date (BP)
Sac-2699	Magoito m1	None	-0.8	5510 ± 45
Sac-2701	Magoito m1'	CH <sub>3</sub> COOH	-1.8	9560 ± 70
Sac-2700	S. Julião m1	None	-1.7	7420 ± 50
Sac-2702	S. Julião m1'	CH <sub>3</sub> COOH	-4.1	16430 ± 120
Sac-2753	S. Julião m2*	CH <sub>3</sub> COOH	-3.9	14650 ± 80
Sac-2754	Foz do Lizandro	CH <sub>3</sub> COOH	-3.5	13220 ± 70
Sac-2698	Praia Azul m1**	None	-1.5	6290 ± 50
Sac-2704	Praia Azul m1**	CH <sub>3</sub> COOH	-2.1	7980 ± 80

\* Sample collected in a different location of the previous duplicated sample.

\*\* Duplicated sample collected in the dune field outside the beach.

### 3.2. Apparent age of Magoito aeolianite

The radiocarbon dates obtained with samples collected in the Magoito aeolianite are presented in Tab. 4.

**Tab. 4** – Radiocarbon dating of Magoito aeolianite carbonate fractions (dc – dark crust; na – without any visual sign of alteration; samples with the more effective pretreatment are highlighted)

Lab. ref.	Sample ref.	Ac. hydrolysis	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ Age (yr BP)
Sac-2143	Mag 1 dc	CH <sub>3</sub> COOH	-1.2	13300 ± 70
Sac-2145	Mag 1 dc	HCl	+0.5	20930 ± 120
Sac-2146	Mag 1 na	CH <sub>3</sub> COOH	+0.6	14950 ± 90
Sac-2150	Mag 1 na	HCl	-0.2	20390 ± 110
Sac-2144	Mag 2 dc	HCl	+0.4	15430 ± 70
Sac-2147	Mag 2 na	CH <sub>3</sub> COOH	+0.1	14250 ± 80
Sac-2151	Mag 2 na	HCl	-0.3	20370 ± 100
Sac-2142	Mag 3 dc	HCl	-0.5	14390 ± 70
Sac-2148	Mag 3 na	CH <sub>3</sub> COOH	-0.7	13690 ± 80
Sac-2152	Mag 3 na	HCl	+3.3	18430 ± 100
Sac-2140	Mag 4 dc*	HCl	-1.7	12090 ± 60
Sac-2141	Mag 5 dc	HCl	+0.7	16350 ± 80
Sac-2149	Mag 5 na	CH <sub>3</sub> COOH	+0.0	14420 ± 80
Sac-2153	Mag 5 na	HCl	0**	18450 ± 90

\* with whitish carbonate precipitates ; \*\* not measured.

The results also point to some effectiveness of the used pre-treatment. Mag 1 and Mag 2 were collected in the trench of a dirty road recently cut in the aeolianite, while the others were collected in the top aeolianite surface (Mag 3) or in the aeolianite flank base near the Mata river (Mag 4 and Mag 5). The coating surface of the aeolianite on these last three collection sites seems highly weathered presenting a harder dark crust and in the case of Mag 4 also whitish lumps of carbonate precipitate. Although the na samples did not present visual signs of alteration the radiocarbon dates obtained after decontamination suggest that some weathering would be present in Mag 3 and Mag 5 samples, i.e, the acetic acid pretreatment was not totally efficient. Nevertheless, an apparent age of *c.* 20000  $^{14}\text{C}$  yr must be ascribed to the Magoito aeolianite.

The results show the need of appropriate sample decontamination prior to radiocarbon dating, in order to obtain a more reliable chronological framework when dealing with this kind of samples. Also an attempt of choosing samples without signs of weathering is of paramount importance. Doing this a pre-treatment using CH<sub>3</sub>COOH is effective in order to eliminate younger carbonates present in samples.

### 3.3. Apparent age of Oitavos aeolianite

The radiocarbon dates obtained with samples collected in the Oitavos aeolianite are presented in Table 5.

**Tab. 5** – Radiocarbon dating of Oitavos aeolianite carbonate fractions

Lab. Ref.	Sample ref.	Pretreatment	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ date (BP)
Sac-2266	Paleosol	None	+0.7	31620 ± 650
Sac-2267	Paleosol	CH <sub>3</sub> COOH	+0.2	37770 ± 480
Sac-2291	Paleosol	Residue	-6.3	38070 +2970 -2170
Sac-2271	1 <sup>st</sup> layer (bottom)	CH <sub>3</sub> COOH	-0.2	32400 ± 270
Sac-2290	1 <sup>st</sup> layer (bottom)	Residue	-0.1	31390 ± 260
Sac-2272	2 <sup>nd</sup> layer (bottom)	CH <sub>3</sub> COOH	-0.6	45830 +1270 -1100
Sac-2270	Top layers	CH <sub>3</sub> COOH	-0.7	43720 +1030 -910

With these samples collected in the paleosol and in the aeolianite, besides the decontamination with CH<sub>3</sub>COOH, we went further in two cases and sand residues from the HCl hydrolysis suffered a second hydrolysis in order to obtain a second radiocarbon date (Sac-2291 and Sac-2290). Nevertheless, the results strongly suggest that the paleosol and the 1<sup>st</sup> layer were highly weathered in the sampled places, since an apparent age of *c.* 44000  $^{14}\text{C}$  yr was obtained for the 2<sup>nd</sup> layer and top layers.

### 3.4. Apparent age of S. Julião aeolianite

Samples were collected in four different areas of the aeolianite, including the place where the sedimentary deposit seems to be karsified and presents a reddish colour (SJV), perhaps belonging to an older aeolianite generation (Pereira & Correia 1985). Also an extended region of the aeolianite with a ruiniform shape (SJG), where remobilization and weathering of the sand deposit seem to have occurred, were sampled. The area of the aeolianite near the present-day beach (SJP) and another far away from the beach (SJE) were sampled too.

The radiocarbon dates obtained for the S. Julião aeolianite are presented in Table 6. Once more it is evident that using samples that suffered some degree of weathering leads to younger dates than the true ones in spite of being decontaminated with a weak acid like the acetic acid. This fact explains the results concerning SJG samples. So, the apparent age of the S. Julião aeolianite must be between 46000 and 41000  $^{14}\text{C}$  yr and on the other hand the results suggest that only one aeolianite generation would be present at S. Julião.

**Tab. 6** – Radiocarbon dating of carbonate-rich sand samples of S. Julião aeolianite

Lab. Ref.	Sample ref.	Pretreatment	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ date (BP)
Sac-2225	SJP 06	CH <sub>3</sub> COOH	-2.1	40840 ± 660
Sac-2246	SJP 06'	CH <sub>3</sub> COOH	+1.7	38820 ± 720
Sac-2218	SJV 01	CH <sub>3</sub> COOH	-3.1	41590 ± 750
Sac-2219	SJEW 02	CH <sub>3</sub> COOH	0*	42320 +970 -850
Sac-2227	SJE 03	CH <sub>3</sub> COOH	-4.9	45680 +1260 -1100
Sac-2220	SJG 1	CH <sub>3</sub> COOH	-2.8	38390 ± 550
Sac-2242	SJG 1'	Residue*	-3.4	39090 ± 480
Sac-2241	SJG 2	CH <sub>3</sub> COOH	-3.4	37290 ± 450
Sac-2228	SJG 3	CH <sub>3</sub> COOH	-5.4	34710 ± 300
Sac-2244	SJG 3'	Residue*	-4,3	36980 ± 380

\*See Table 5.

### 3.5. Apparent age of Aguda aeolianite

The radiocarbon dates obtained for the aeolianite carbonate samples are presented in Tab. 7. Four samples were collected in different places in the consolidated carbonate-rich sand deposit. Aguda 3 must be an outlier since the sample did not present any sign of alteration and was collected in a stratigraphic position under that one of Aguda 4. The apparent age of the Aguda aeolianite should be comprised between 20000 and 22000  $^{14}\text{C}$  yr.

**Tab. 7** – Radiocarbon dates determined for the Aguda aeolianite

Lab. Ref.	Sample ref.	Pretreatment	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ date (BP)
Sac-2223	Aguda 1	CH <sub>3</sub> COOH	-1.9	20140 ± 100
Sac-2224	Aguda 2	CH <sub>3</sub> COOH	0*	19840 ± 100
Sac-2221	Aguda 3	CH <sub>3</sub> COOH	-3.3	14490 ± 70
Sac-2222	Aguda 4	CH <sub>3</sub> COOH	+0.7	22050 ± 220

\*not measured.

### 3.6. Apparent age of Praia Azul aeolianite

The radiocarbon dates determined for samples collected in the aeolianite present at Praia Azul are shown in Table 8. Five samples were collected from different places at the aeolianite. It must be said that cohesion of the material present in this formation is weak compared with that one observed at the other aeolianites mentioned above. The dates determined for this sand deposit are comprised between 8500 and 9500  $^{14}\text{C}$  yr suggesting a very recent age single event behind the formation of the deposit.

**Tab. 8** – Radiocarbon dating of Praia Azul aeolianite carbonate fractions

Lab. ref.	Sample ref.	Pretreatment	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ Date (BP)
Sac-2705	PAz East A	CH <sub>3</sub> COOH	-3.0	8550 ± 50
Sac-2706	PAz East B	CH <sub>3</sub> COOH	-2.6	8770 ± 40
Sac-2707	PAz West-South	CH <sub>3</sub> COOH	-3.4	9540 ± 45
Sac-2709	PAz West-North A	CH <sub>3</sub> COOH	-3.2	8850 ± 40
Sac-2708	PAz West-North B	CH <sub>3</sub> COOH	-3.2	8650 ± 40

#### 4. CONCLUSIONS

The results of this work show that the issues inherent to the radiocarbon dating of the carbonate fraction of aeolianite formations can be, in part, overcome with the use of an appropriate collection procedure and a suitable pre-treatment protocol for this particular kind of samples. The final results concerning the radiocarbon dating of the formation of the aeolianites located on the western coast of the Portuguese Estremadura and also their apparent ages can be summarized in Table 9. Also the apparent ages of the carbonate-rich sands of present-day beaches where those aeolianites can be found are presented in the same table.

**Tab. 9** – Final results

Aeolianite	Apparent age ( $^{14}\text{C}$ ka BP)	Formation age ( $^{14}\text{C}$ ka BP)	Difference ( $^{14}\text{C}$ ka BP)	Present-day beach No pre-treatment With pre-treatment ( $^{14}\text{C}$ ka BP) ( $^{14}\text{C}$ ka BP)	
Oitavos	<i>ca. 44</i>	33-30	11-14		
S. Julião	46-41			<i>ca. 7.5</i>	<i>ca. 15.5</i>
Magoito	<i>ca. 20</i>	<i>ca. 9</i>	<i>ca. 11</i>	<i>ca. 5.5</i>	<i>ca. 9.5</i>
Aguda	22-20				
Praia Azul	9.5-8.5			<i>ca. 6.3</i>	<i>ca. 8.0</i>

The results suggest the same formation age for Oitavos and S. Julião aeolianites. The same inference can be made concerning Magoito and Aguda aeolianites, pointing out to a Holocene age for their formation. On the other hand, the radiocarbon dates determined for Praia Azul aeolianite indicate a more recent chronology. The difference between the apparent ages obtained for the aeolianite structure and the actual dune field suggests that the aeolianite was probably generated only one thousand years ago.

Besides the geochronological framework obtained for these aeolianites it was also possible to evaluate the eventual presence of different aeolianite generations in the same structure, namely at S. Julião, where the geomorphologic position and state of preservation of different strips of the aeolianite suggest the presence of more than



one generation or at Oitavos, where B-OSL dating pointed to two different periods of aeolianite formation. Nevertheless samples collected in these structures and radiocarbon dated suggest that only one aeolianite generation is present in these sand deposits.

This research allowed to prove that radiocarbon dating of the aeolianite carbonate fraction can be a successful tool not only to test contemporaneity of aeolianite formation but also to set up a geochronologic framework where to place consolidated aeolian carbonate-rich sand deposits from a given region. And, at least for ante-Holocene or even early Holocene aeolianites located on the western coast of the Portuguese Estremadura, the subtraction of 11000 years to the aeolianite apparent radiocarbon age seems to be a good approach to determine the true age of its formation.

**ACKNOWLEDGMENTS:** This research work has been financed by the Portuguese Science Foundation (Project PTDC/CTE-GEX/59643/2004 – Carbonate Dunes as Palaeoclimatic Records in the Littoral of Portugal – CarDune).

J. Martins acknowledge the PhD grant SFRH/BD/45528/2008 from Portuguese Science and Technology Foundation (FCT-MCTES).

## REFERENCES

- Bateman M.D., Holmes P.J., Carr A.S., Horton B.P., Jaiswal M.K.** 2004. Aeolianite and barrier dune construction spanning the last two glacial-interglacial cycles from the southern Cape coast, South Africa. *Quaternary Science Reviews* 23 (14-15): 1681-1698.
- Brooke B.** 2001. The distribution of carbonate eolianites. *Earth-Science Reviews* 55:135–164.
- Daveau S., Pereira A.R., Zbyszewski G.** 1982. Datation au C<sup>14</sup> du site archéologique de la plage de Magoito (Portugal), scellé par une dune consolidée. *Clio* 4 :133-135.
- Delibrias G.** 1979. Problèmes liés à la datation des sols fossils par le carbone 14. *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire* 58/59 :35-42.
- Evin J., Marechal J., Pachiardi C. & Puissegur J.J.** 1980. Conditions involved in dating terrestrial shells. *Radiocarbon* 22(2):545-555.
- Gilet-Blein N., Marien G. & Evin J.** 1980. Unreliability of 14C dates from organic matter of soils. *Radiocarbon* 22 (3): 919-929.
- Goodfriend G.A.** 1987. Radiocarbon age anomalies in shell carbonate of land snails from semi-arid areas. *Radiocarbon* 29(2):150-167.
- Head M.J. & Zhou W.J.** 2000. Evaluation of NaOH leaching techniques to extract humic acids from paleosols. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 172:434-439.
- Pereira A.R. & Angelucci D.E.** 2004. Formações dunares no litoral português, do final do Plistocénico e inícios do Holocénico, como indicadores paleoclimáticos e paleogeográficos. *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos*. Geologia, História, Arqueologia e Climatologia, Lisbon: Universidade Aberta:220-256.
- Pereira A.R. & Correia E.B.** 1985. Dunas consolidadas em Portugal. Análise da bibliografia e algumas reflexões. Relatório nº 22. *Linha de Acção de Geografia Física*. Lisbon: Centro de Estudos Geográficos.
- Prudêncio M.I., Marques R., Rebelo L., Cook G.T., Cardoso G., Naysmith P., Freeman S.P.H.T., Franco D., Brito P., Dias M.I.** 2007. Radiocarbon and blue optically stimulated luminescence chronologies of the Oitavos consolidated dune (western Portugal). *Radiocarbon* 49 (2):1145-1151.
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac G., Manning S., Reimer R.W.,**

- Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., Van Der Plicht J., Weyhenmeyer C.E.** 2009. IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 51(4): 1111-1150.
- Soares A.M.M.** 1993. The  $^{14}\text{C}$  content of marine shells: evidence for variability in coastal upwelling off Portugal during the Holocene. *Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere*. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA): 471-485.
- Soares A.M.M.** 2003. A duna de Magoito revisitada. *Revista Portuguesa de Arqueologia* 6 (1): 83-100.
- Soares A.M.M.** 2005. *Variabilidade do Upwelling Costeiro durante o Holoceno nas Margens Atlânticas Ocidental e Meridional da Península Ibérica*. Dissertação de Doutoramento. Faro: Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente. Universidade do Algarve. 205p.
- Soares A.M.M. & Dias J.M.A.** 2006. Coastal upwelling and radiocarbon – evidence for temporal fluctuations in ocean reservoir effect off Portugal during the Holocene. *Radiocarbon* 48 (1): 45-60.
- Soares A.M.M., Moniz C. & Cabral J.** 2006. A duna consolidada de Oitavos, a Oeste de Cascais, região de Lisboa: a sua datação pelo método do radiocarbono. *Comunicações Geológicas* 93: 105-118.
- Stuiver M. & Polach H. A.** 1977. Discussion. Reporting of  $^{14}\text{C}$  Data. *Radiocarbon* 19(3): 355-363.
- Stuiver M. & Reimer, P. J.** 1993. Extended  $^{14}\text{C}$  Data Base and Revised CALIB 3.0  $^{14}\text{C}$  Age Calibration. *Radiocarbon* 35(1): 215-230.
- Tamers M.A.** 1970. Validity of radiocarbon dates on terrestrial snail shells. *American Antiquity* 35(1): 94-100.
- Yates T.** 1986. Studies of non-marine mollusks for the selection of shell samples for radiocarbon dating. *Radiocarbon* 28(2A): 457-463.
- Zbyszewski G.** 1943. *La Classification du Paléolithique Ancien et la Chronologie du Quaternaire de Portugal en 1942*. Porto: Imprensa Moderna, Lda.
- Zbyszewski G.** 1958. *Le Quaternaire du Portugal*. Lisboa: Instituto de Alta Cultura (Sep. do Boletim da Sociedade Geológica de Portugal 13: 1 e 2).



# DIATOMÁCEAS COMO POTENCIAL FERRAMENTA PARA RECONSTITUIÇÕES PALEOECOLÓGICAS

A. Gomes<sup>1</sup>, T. Boski<sup>1</sup> & D. Moura<sup>1</sup>

**Resumo:** As diatomáceas são algas unicelulares que abundam tanto em águas doces como salgadas. Este trabalho mostra que as associações de diatomáceas presentes ao longo de um perfil de sapal, junto à foz do rio Guadiana, são sensíveis a vários parâmetros ambientais. Desta forma, confirma-se o seu potencial como indicador para reconstruções paleoecológicas em estuários, especialmente no que diz respeito a variações do nível médio do mar, como as ocorridas desde a última transgressão posglacial.

**Palavras-chave:** Diatomáceas; Nível médio do mar; Reconstruções paleoecológicas.

**Abstract:** Diatoms as a potential tool for palaeoecological reconstructions

Diatoms are unicellular algae that abound in both fresh and salt water. This work shows that diatom assemblages along a transect near the mouth of the Guadiana River are sensitive to various environmental parameters. The study confirms diatoms' potential as indicators in palaeoecological reconstructions in estuaries, especially with respect to variations in mean sea-level since the postglacial transgression.

**Key words:** Diatoms; Mean sea-level; Palaeoecological reconstruction.

## 1. INTRODUÇÃO

As diatomáceas são algas unicelulares eucarióticas, com uma frústula opalina constituída por duas valvas. Abundam tanto em águas doces como salgadas e são sensíveis a alterações de variáveis ambientais, tais como salinidade, condições tróficas, pH (Vos & de Wolf 1988), luminosidade e temperatura. Assim, o conhecimento da distribuição, composição e diversidade das comunidades de diatomáceas atuais torna possível a interpretação de sequências fósseis e reconstituições paleoecológicas de estuários, ao longo da última transgressão posglacial (Cooper 1999; Hassan *et al.* 2006). Sendo a distribuição espacial atual das diatomáceas nos estuários determinada em parte pela variação da salinidade, torna-se possível estimar a evolução da linha de costa em função da variação do nível médio do mar. Por esta razão, a utilização das diatomáceas, como indicadores ecológicos, assume particular importância em ambientes aquáticos de transição na interface oceano – continente (Bernárdez *et al.* 2008). Contudo, este indicador tem sido pouco utilizado na Península Ibérica para efectuar reconstituições paleoecológicas, tendo-se frequentemente privilegiado a utilização de foraminíferos. Destacam-se nesta área os trabalhos de Bao *et al.* (1999) e de Freitas *et al.* (2002),

---

<sup>1</sup> Universidade do Algarve, Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA). Campus de Gambelas, 8005-139-Faro. 1. E-mail: aisgomes@ualg.pt

que descreveram as alterações paleoambientais inferidas dos registos sedimentares das lagoas litorais ao longo da costa Oeste portuguesa.

O presente trabalho tem como objectivo: (i) estudar a sensibilidade das associações de diatomáceas a variações determinadas pela influência das marés no estuário do Guadiana; e (ii) avaliar o potencial das diatomáceas como ferramenta para reconstituições paleoecológicas.

## 2. LOCAL DE ESTUDO

O rio Guadiana é o quarto mais longo da Península Ibérica, percorrendo cerca de 810 km desde a sua nascente, em Campo de Monteil, até à foz junto a Vila Real de Santo António (Fig. 1). Nos últimos 200 km o rio define uma fronteira natural entre Portugal e Espanha. Este estudo realizou-se no baixo estuário do Guadiana, no sapal da margem espanhola, perto da cidade de Ayamonte. As coordenadas dos pontos de amostragem, representados na Figura 1, são: G1 – 37° 11' 42"N; 7° 24' 17"W, G2 – 37° 11' 42"N; 7° 24' 19"W e G3 – 37° 11' 41"N; 7° 24' 21"W. O local de estudo tem um regime de marés mesomareal semidiurno, com uma amplitude máxima de 3.44 m (GAREL *et al.* 2009).



**Fig. 1** – (A) Localização do perfil de amostragem; (B) pontos de amostragem (G1, G2, G3) e a sua posição relativa à Maré Viva Equinocial Máxima (MVEM) e Maré Viva Equinocial Mínima (MVEm).

**Fig. 1** – (A) Location of the sampling transect near the mouth of the Guadiana River, Portugal; (B) Sampling points (G1, G2, G3) and their position relative to Highest Astronomical Tide (MVEM) and Lowest Astronomical Tide (MVEm).

## 3. MÉTODOS

Procedeu-se à amostragem de sedimentos nos pontos G1, G2 e G3 representados na Figura 1B. A amostragem foi efectuada utilizando espátula, recolhendo-se apenas o sedimento superficial (máximo 0,5cm). Como demonstrado por Sawai *et al.* (2004) e Hassan *et al.* (2008), a mistura de associações de diatomáceas mortas e vivas, presentes nos sedimentos superficiais, são representativas da variabilidade anual destas comunidades. Deste modo mediu-se também a salinidade e o pH da água intersticial do sedimento nos três pontos de amostragem, nas quatro estações do ano. Descreveu-se ainda a vegetação presente em cada ponto do perfil. Para caracterizar o substrato onde se encontram as diferentes associações de diatomáceas, sub-amostras de sedimento (20 mg) foram analisadas no aparelho EA1108 – Elemental Analyzer para determinar o seu conteúdo em carbono orgânico. Para o estudo das diatomáceas,

uma amostra com cerca de 1g de sedimento foi tratada com  $H_2O_2$  e com HCl para eliminar, respectivamente, a matéria orgânica e carbonatos. A partir destas amostras, um volume entre 300 e 400  $\mu$ l, conforme a concentração das suspensões, foi utilizado para preparar lâminas que foram observadas num microscópio Zeiss Axioskop a uma magnificação de 1000x. Contaram-se 300 valvas em cada amostra e a identificação foi efectuada seguindo Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Round *et al.* (1990), Witkowski *et al.* (2000) e Ribeiro (2010).

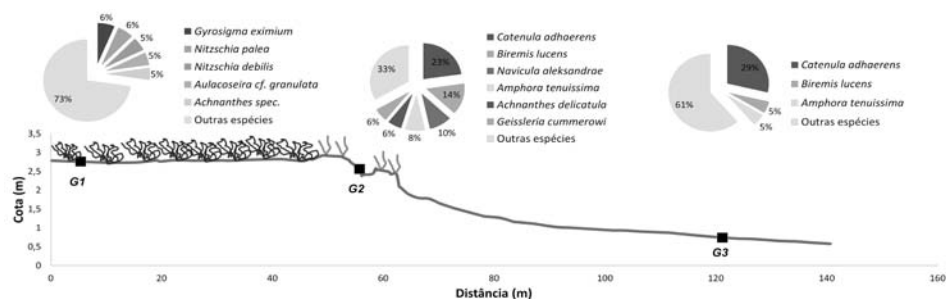
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostram claramente que as associações de diatomáceas são sensíveis a variações ambientais observadas ao longo do perfil de sapal, com um desnível vertical de apenas 1,8 m (Fig. 2 e Tab. 1).

Os valores médios de salinidade variam entre 37.27 PSU em G2 e 24.97 PSU em G3 (Tab. 1). Contudo, em G2 não foi possível medir a salinidade durante o Inverno, o que faz com que o valor médio apresentado seja mais elevado e tenha um menor desvio padrão do que os valores de salinidade em G1 e G3. Como expectável verificou-se uma subida dos valores de pH de G1 para G3, variando a percentagem de carbono orgânico de forma inversa. Verifica-se ainda que a percentagem de carbono orgânico é directamente proporcional a densidade da vegetação ao longo do perfil (Tab. 1). Por outro lado, há forte probabilidade de que também o tipo e a zonação da vegetação ao longo do perfil estudado influenciem as associações de diatomáceas aí existentes (Fig. 2). É de referir que as diatomáceas, sendo microalgas, são sensíveis a substâncias alelopáticas produzidas pela vegetação do sapal.

Evidenciam-se algumas semelhanças relativamente às espécies presentes em G3 e G2. De acordo com a descrição de Witkowski *et al.* (2000) e de Ribeiro (2010), relativa à ecologia das espécies dominantes nestas amostras, estas semelhanças podem dever-se ao facto das espécies dominantes terem preferência por substratos arenosos. Estas semelhanças podem ainda estar relacionadas com a percentagem de carbono orgânico e com o pH, que têm valores idênticos em G3 e G2. Por outro lado, a diversidade de espécies dominantes é maior em G2, o que pode dever-se à diferença de elevação do perfil e à existência de vegetação em G2 (uma vez que em G1 não há vegetação). A associação de diatomáceas presente em G1 apresenta uma composição muito diferente das associações de G2 e G3, embora a diversidade não seja afectada relativamente a G2. O ponto de amostragem G1 é ainda o local em que se obtém a maior percentagem de carbono orgânico e o valor mais baixo de pH. Assim, a diferença existente na associação de diatomáceas de G1 pode dever-se ao facto das espécies aqui presentes preferirem ambientes que sofrem menos influência da maré física, mais ricos de nutrientes e com substrato fino.

Neste perfil encontrou-se ainda um novo género de Cymatosiraceae bem como percentagens baixas de *Navicula gregaria* (espécie indicadora de poluição), facto que realça o potencial deste indicador como ferramenta para reconstituições paleoecológicas.



**Fig. 2** – Representação esquemática do perfil de amostragem do sapal do estuário inferior do Guadiana (Fig. 1) com as diatomáceas dominantes em cada ponto de amostragem (G1, G2, G3).

**Fig. 2** – Schematic representation of the sampling transect across the lower Guadiana saltmarsh (Fig 1), with the dominant diatoms at each sampling point (G1, G2, G3).

**Tab. 1** – Parâmetros ambientais dos pontos de amostragem

**Tab. 1** – Environmental parameters from the sampling points

Amostra	Salinidade (PSU)	pH	% Corg	Vegetação
G1	29.67±10.62	7±0.34	2,559	50% <i>Sarcocornia perennis</i> ; <i>Hallimione portulacoides</i> (residual)
G2	37.27±2.97	7.41±0.18	0,425	30% <i>Spartina marítima</i> ; <i>Sarcocornia perennis</i> (residual)
G3	24.97±14.10	7.58±0.29	0,358	Sem vegetação

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por este estudo podem contribuir para a validação de curvas de variação do nível do mar com base na interpretação de bio-fácies sedimentares, uma vez que as diatomáceas confirmam o seu potencial como indicador para reconstruções paleoecológicas da evolução do estuário. Por outro lado, Delgado *et al.* (2012) confirma a utilidade deste indicador, uma vez que no registo sedimentar do estuário do Guadiana as diatomáceas apresentam um menor grau de dissolução em comparação com os foraminíferos.

**AGRADECIMENTOS:** Este trabalho foi financiado pela bolsa de doutoramento SFRH/BD/62405/2009 da Fundação para a Ciência e Tecnologia. Agradece-se à Selma Gabriel e Simon Connor pela ajuda no trabalho de campo e ao João Horta pela assistência no processamento de dados em ArcGIS.

## BIBLIOGRAFIA

- Bao R., Freitas M.C. & Andrade C. 1999. Separating eustatic from local environmental effects: a late-Holocene record of coastal change in Albufeira Lagoon, Portugal. *The Holocene* 9 (3): 341-352.
- Bernárdez P., Prego R., Varela M. & Francés G. 2008. Diatom thanatocoenosis in a middle Galician Ría: Spatial patterns and their relationship to the seasonal diatom cycle in the water column and hydrographic conditions. *Continental Shelf Research* 28 (17): 2496-2508.

- Cooper S.R.** 1999. Estuarine paleoenvironmental reconstructions using diatoms. In: E.F. Stoermer & J.P. Smol (eds.) *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. London: Cambridge University Press: 352-373.
- Delgado J., Boski T., Nieto J., Moura D., Gomes A., Sousa C. & García-Tenorio R.** 2012. Sea-level rise and anthropogenic activities recorded in the Late Pleistocene/Holocene sedimentary infill of Guadiana estuary (SW Iberia). *Quaternary Science Reviews* doi:10.1016/j.quascirev.2011.12.002.
- Freitas M.C., Andrade C. & Cruces A.** 2002. The geological record of environmental changes in southwestern Portuguese coastal lagoons since the Lateglacial. *Quaternary International* 93-94:161-170.
- Garel E., Pinto L., Santos A. & Ferreira O.** 2009. Tidal and river discharge forcing upon water and sediment circulation at a rock-bound estuary (Guadiana estuary, Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84: 269-281.
- Hassan G.S., Espinosa M.A. & Isla F.I.** 2006. Modern diatom assemblages in surface sediments from estuarine systems in the southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Paleolimnology* 35:39-53.
- Hassan G.S., Espinosa M.A. & Isla F.I.** 2008. Fidelity of dead diatom assemblages in estuarine sediments: How much environmental information is preserved? *Palaeos* 23:112-120.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H.** 1986. *Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H.** 1988. *Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Ephithemiaceae, Surirellaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H.** 1991a. *Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H.** 1991b. *Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Ribeiro L.** 2010. *Intertidal benthic diatoms of the Tagus estuary: Taxonomic composition and spatial-temporal variation*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa.
- Round F.E., Crawford R.M. & Mann D.G.** 1990. *The Diatoms, Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sawai Y., Horton B. P. & Nagumo T.** 2004. The development of a diatom-based transfer function along the Pacific coast of eastern Hokkaido, northern Japan – an aid in paleoseismic studies of the Kuril subduction zone. *Quaternary Science Reviews* 23: 2467-2484.
- Vos P. C. & de Wolf H.** 1988. Methodological aspects of paleo-ecological diatom research in coastal areas of the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw* 67: 31-40.
- Witkowski A., Lange-Bertalot H. & Metzeltin D.** 2000. *Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Micrographs*. In: H. Lange-Bertalot (ed.) *Volume 07: Diversity – Taxonomy – Identification: Diatom flora of marine coasts I*. Koenigstein: Koeltz scientific books.





## II

### **Palaeoenvironmental Changes and Human Activity**

### *Mudanças Paleoambientais e Actividade Humana*



# RECONSTRUCTING HOLOCENE EVOLUTION IN THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF CAMPO LAMEIRO (NW SPAIN): AN INTERDISCIPLINARY APPROACH TO GEOARCHAEOLOGY

Manuela Costa-Casais<sup>1</sup>, Antonio Martínez Cortizas<sup>2</sup>, Joeri Kaal<sup>1</sup>,  
Maria Isabel Caetano Alves<sup>3</sup> & Felipe Criado-Boado<sup>1</sup>

**Abstract:** The objective of this research was to evaluate the potential of sedimentary deposits to be used for the reconstruction of Holocene environmental changes in the Campo Lameiro area (NW Spain). We focused on the evolution of landforms as a key factor in the configuration of alluvial and colluvial sequences. The geomorphological and sedimentological studies indicate that the distribution of landforms is a main factor to understand the formation of colluvial soils. Granitic macroforms dominate the present landscape, constituted by alveolar depressions surrounded by crests and slabs. The thickest sedimentary deposits were found in the depressions. We identified two main stratigraphic units: a basal inorganic layer represented by alluvio-colluvial sediments, formed in a highly energetic environment, probably dating to the Younger Dryas (>11000 years BP), and a younger unit of thick sandy, blackish, organic matter rich, colluvium. The oldest radiocarbon age obtained for this unit indicates that it may have started to form by 11240-11130 cal. BP. The Holocene colluvial soils show discontinuities in grain size, soil reaction, elemental composition of the inorganic phase and molecular composition of the soil organic matter. These features are evidence of the occurrence of several phases of erosion/sedimentation (i.e. landscape instability), some of which were coeval with known periods of Holocene abrupt climate change – the 8.2 ka event, the beginning of the Neoglaciation (ca. 6 ka BP) or the 2.8 ka wet/cold event. But some of the most intense phases coincided with increased human pressure on landscape during the Neolithic, Bronze Age, Roman Period, and the Middle Ages. Charcoal layers, burnt soil layers and the highly aromatic nature of the soil organic matter point to frequent fire episodes. Pollen studies also indicated a sharp decrease in forest cover beginning by ca. 6000 cal BP, which seems to have been accompanied by a progressive soil acidification with time. Our research suggests that both climate and human activities played an important role in the formation of colluvial deposits in the area, confirming that they are valuable geoarchives of Holocene environmental change from a geoarchaeological approach.

**Key-words:** Geoarchaeology; Geoarchives; Palaeoenvironmental reconstruction; Holocene.

**Resumo:** Neste trabalho estudaram-se os depósitos sedimentares na área da estação arqueológica de Campo Lameiro (NW Espanha), com o objetivo de avaliar o seu potencial para a reconstrução

---

<sup>1</sup> Institute of Heritage Sciences (Incipit). Spanish National Research Council (CSIC), San Roque, 2. 15704 Santiago de Compostela, A Coruña, España, manuela.costa-casais@incipit.csic.es, joeri.kaal@incipit.csic.es, felipe.criado-boado@incipit.csic.es;

<sup>2</sup> Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, Faculty of Biology, Campus Sur, University of Santiago de Compostela (USC), 15782 Santiago de Compostela, A Coruña, España, antonio.martínez.cortizas@usc.es

<sup>3</sup> Geology Centre of the University of Porto and Earth Sciences Centre of the University of Minho, University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal, icaetano@dct.uminho.pt

das mudanças ambientais holocénicas, no que diz respeito à evolução do relevo como um fator determinante na configuração das sequências aluviais e coluviais. Os estudos geomorfológicos e sedimentológicos indicam que a distribuição das geoformas é um fator principal para compreender a formação dos solos coluviais. Na paisagem atual da área de estudo dominam as macroformas graníticas, constituídas por depressões alveolares rodeadas por cristas e lajes. Os depósitos sedimentares mais espessos ocorrem nas depressões. Identificaram-se duas unidades estratigráficas principais: uma camada basal inorgânica, representada por sedimentos aluvio-coluvionares, formados em ambiente altamente energético, provavelmente datados do Dryas recente (> 11000 anos BP) e uma unidade mais recente, arenosa, escura, rica em matéria orgânica, de solos coluviais. A datação mais antiga, obtida por radiocarbono para esta unidade, indica que ela pode ter começado a formar-se há 11240-11130 cal. BP. Os solos holocénicos coluviais apresentam descontinuidades na dimensão das partículas, na reação do solo, na composição da fase inorgânica e na composição molecular da matéria orgânica do solo. Estas características comprovam a ocorrência de diversas fases de erosão / sedimentação (ou seja, de instabilidade da paisagem), algumas das quais são contemporâneas dos períodos de mudança climática abrupta conhecidos no Holocénico – o evento a 8,2 ka, no início da Neoglaciação (ca. 6 ka BP) ou o evento húmido e frio a 2,8 ka. Mas, algumas das fases mais intensas coincidiram com o aumento da pressão humana sobre a paisagem durante o Neolítico, a Idade do Bronze, o Período Romano e na Idade Média. A ocorrência de camadas de carvão, de solos queimados e a natureza distintamente aromática da matéria orgânica do solo apontam para episódios de incêndios frequentes. Os estudos polínicos também indicaram uma diminuição acentuada da cobertura florestal, com início a ca. 6500 cal BP, que parece ter sido acompanhada por uma progressiva acidificação do solo ao longo do tempo. O trabalho de investigação realizado, sugere que as mudanças climáticas e as atividades humanas desempenharam ambos um papel importante na formação dos depósitos coluviais na área. De acordo com estudos anteriores, isto indica que os referidos depósitos são geoarquivos valiosos para reconstruir as mudanças ambientais holocénicas, a partir de uma abordagem geoarqueológica.

**Palavras-chave:** Geoarqueologia; Geoarquivos; Reconstrução paleoambiental; Holocénico.

## 1. INTRODUCTION

Geoarchaeology applies techniques and methods of the Human Sciences and Geosciences to reconstruct landscape evolution at different geographical scales. Huckleberry (2000), slightly modifying the perspective offered by Gifford & Rapp (1985), defines geoarchaeology -as “the application of Earth Science method and theory to understanding the human past”, a definition broad enough to include experts from a range of scientific backgrounds to contribute towards the comprehension of human prehistory. The recent application of Earth Science techniques for the analysis of soils and sediments at archaeological sites has generated new levels of understanding of human activities and use of the landscape. Soils and sediments are composed of similar components, and form a continuum over the landscape. Their study can reveal how humans in prehistory used it and defined space through their activities. However, the techniques do not fully address several persistent problems associated with making inferences about past human activity from soils. The presence or absence of elements alone may be inadequate to effectively understand the relationship between soil properties and pedogenic, diagenetic and/or anthropogenic processes. As a result, multi-method approaches are becoming standard practice in pedoarchaeology (Walkington 2010).

Soil is an archive that can be used to interpret archaeological deposits (Mandel & Bettis 2001). Soil processes can contribute to an understanding of archaeological sites because the soil can act as an archive in a variety of ways (Walkington 2010): (a) soils represent process-response systems through the unique interaction of the soil forming factors at a particular site; (b) soils reflect soil processes occurring both vertically and laterally; (c) soils can store palaeoecological indicators such as pollen, phytoliths, bones, etc, and are thus archives of environmental change (Lowe & Walker 2006); (d) soils are geoarchives, even when transport has occurred, the resulting colluvial soils can still store environmental information (Leopold & Völkel 2007); and (e) soils can record human use and management of a landscape.

A pedogeomorphological approach at a landscape scale (Gerrad 1992) linked to multiproxy indicators for dating and climate reconstruction can help to track past processes in detail. Surface formations contain information inherent in their geomorphological evolution. Climate and human activities played an important role in the formation of the alluvial- colluvial deposits. The geomorphological data together with other palaeoenvironmental proxies define them as useful geoarchives for the reconstruction of Holocene environmental change (Costa-Casais *et al.* 2008). Colluvial soils, given their wide distribution and the time expand covered by them, may also be crucial to decipher and understand human responses to climate change and the impact of anthropogenic activities on the environment at the local and regional scales (Leopold & Völkel 2007).

This work is part of an interdisciplinary study made in the area of the Rock Art Park of Campo Lameiro (Galicia, NW Spain). In this survey the Earth Science's disciplines played a major role in complementing the archaeological research. Our paper focuses on the evolution of landforms – rocky substrate, sediments and soils – as a key factor for geoarchaeological analysis, with the objective to evaluate the potential of sedimentary deposits to be used for the reconstruction of Holocene environmental changes. This approach is particularly important in the studied area because of the scarcity of available archaeological remains. Granite landforms, soils and sediments are unique archives that have recorded transformations in the landscape linked to cultural evolution (Costa-Casais *et al.* 2009).

## 2. REGIONAL SETTING

The study area is located within Rock Art Park of Campo Lameiro (Pontevedra-Galicia, NW Spain), on the upper part of the Monte Paradela hill (330 m a.s.l.) and 25 km E of the Atlantic Ocean, in the Eurosiberian (Atlantic) phytogeographic region (Fig. 1). The area appears as an almost isolated hill, at the centre of the watershed, defined by the river network, and surrounded by fractures running from N-S and E-W as well as by numerous joints that break the substrate running N-S, EW, NW-SE and NE-SW. The lithology is homogenous throughout the park. It is comprised of two mica granitic rocks with megacrystals of K-feldspars, with minerals showing a certain degree of

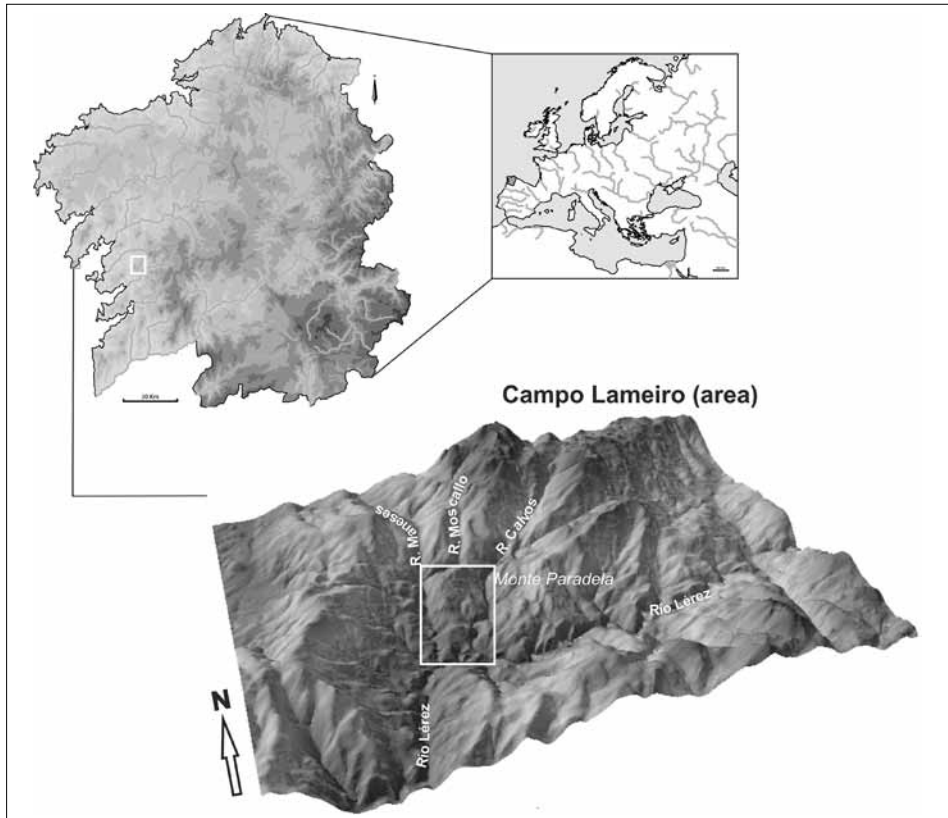


Fig. 1. Location of the study area indicating the sectors cited in the text.

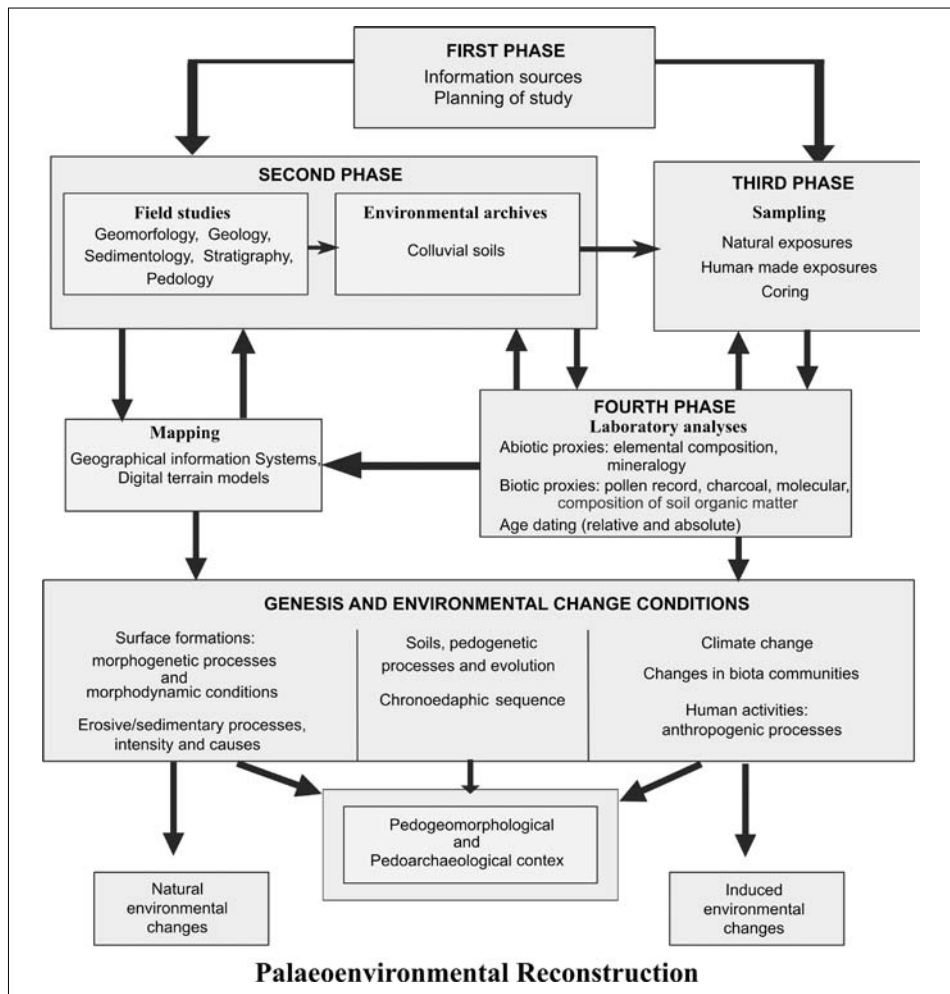
orientation towards the north of the area (IGME,1982a, 1982b). The general rolling topography, with tops and troughs, is the result of a combination of granitic macro and microforms. Granitic modelling dominates the slopes, with granitic outcrops separated by small thalwegs.

It is an area of transition between the coast and mountain range, with temperate humid climate. Present mean annual temperature is 14.5 °C, and mean annual precipitation is 1500 mm (Martínez Cortizas & Pérez Alberti 1999). Current vegetation of the site is a mosaic of pine (*Pinus pinaster*), pedunculate oak (*Quercus robur*), heather (*Calluna vulgaris*), *Erica* spp. and herbaceous species. Along the valleys, the riverside vegetation is mainly composed of common alder (*Alnus glutinosa*), hazel (*Corylus avellana*), *Quercus robur* and birch (*Betula alba*). Cultivated land is located within a distance of 300 m, at lower elevations.

### 3. MATERIAL AND METHODS

Geoarchaeology applies techniques and methods of the Human Sciences and Geosciences to reconstruct landscape evolution at different geographical scales. These include several disciplines of the Earth Science, related to the study of the

fossil – plant and animal – record and those dedicated to the study of the material remains of cultures. The study on past environmental changes in the Rock Art Park of Campo Lameiro has been carried out using the colluvial formations to reconstruct changes in the landscape. The disciplines involved in the study were: (a) disciplines of Earth Sciences: geomorphology, sedimentology, pedology, geochemistry, mineralogy, as well as computer techniques applied to geographic studies and geographic information systems; (b) disciplines that are responsible for studying the fossil or subfossil record: palynology and anthracology; (c) disciplines that deal with the study of material culture remains: archaeology and prehistory. The archives showed information about past soil erosion and landscape change. The signals are geomorphological features, morphological soil features, physico-chemical properties, changes in elemental and mineral composition, information



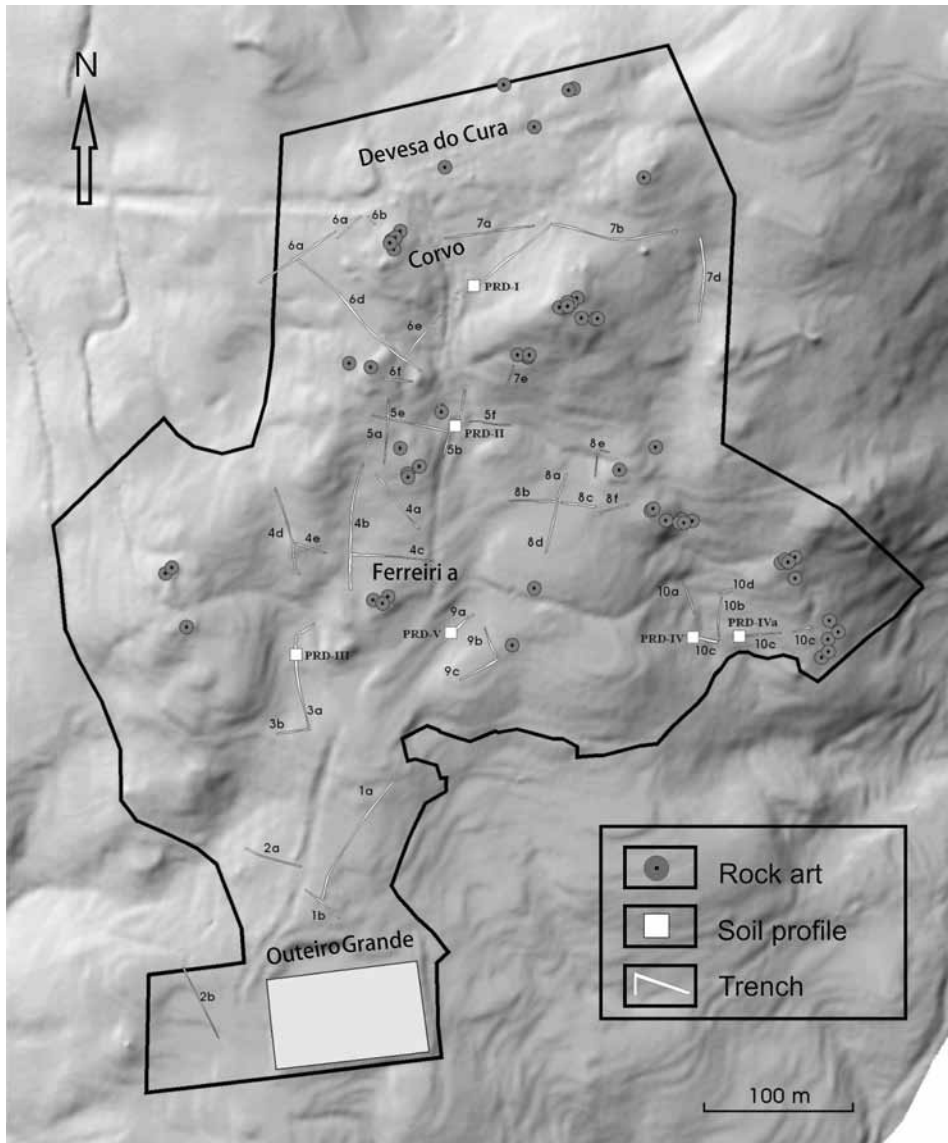
**Fig. 2.** Steps followed in the multi-archive, multi-proxy, approach to palaeoenvironmental reconstruction in NW Iberia. Modified from Martínez Cortizas (2000).



on past vegetation, etc. Methodological point of view, the study was divided into four phases, following the guidelines suggested by Martínez Cortizas (2000) (Fig. 2).

The first phase implied an inventory of all available information about the area (maps, climatic data, geology, hydrography, previous studies, etc.), which aided to the current understanding of the peculiarities of the landscape under study. This phase was the basis for setting the strategies to follow in the planning the work.

In a second phase, fieldwork was carried out in order to differentiate landforms. The work started with the interpretation of aerial photographs, to define relief units



**Fig. 3.** Georeferenced trenches, soil profiles and rock art pannels were incorporated into a digital terrain model to conform a GIS database. Modified from Costa-Casais et al. (2009).

and how they are related to the regional geomorphologic context. This information was used for designing and subsequent opening of 43 ditches in ten sectors, with a total length of 2.5 km. Two main criteria were followed: (a) the variety of morphological units, their location in sectors prone to sediment/soil accumulation, in erosive/accumulative or erosive areas, and (b) their proximity to the rock carvings. Systematic descriptions of the sedimentary facies were made in order to define the vertical and lateral stratigraphic changes. More detailed descriptions were performed for a small number of sedimentary sequences in each ditch, which generally coincided with the deepest ones and showing the greatest diversity of facies. The location of the trenches, the sedimentary sequences and the rock art panels were incorporated into a digital terrain model, then combined with the information obtained from the other disciplines involved – geomorphology, archaeology and pedology – to conform a GIS database (Costa-Casais *et al.* 2009) (Fig. 3).

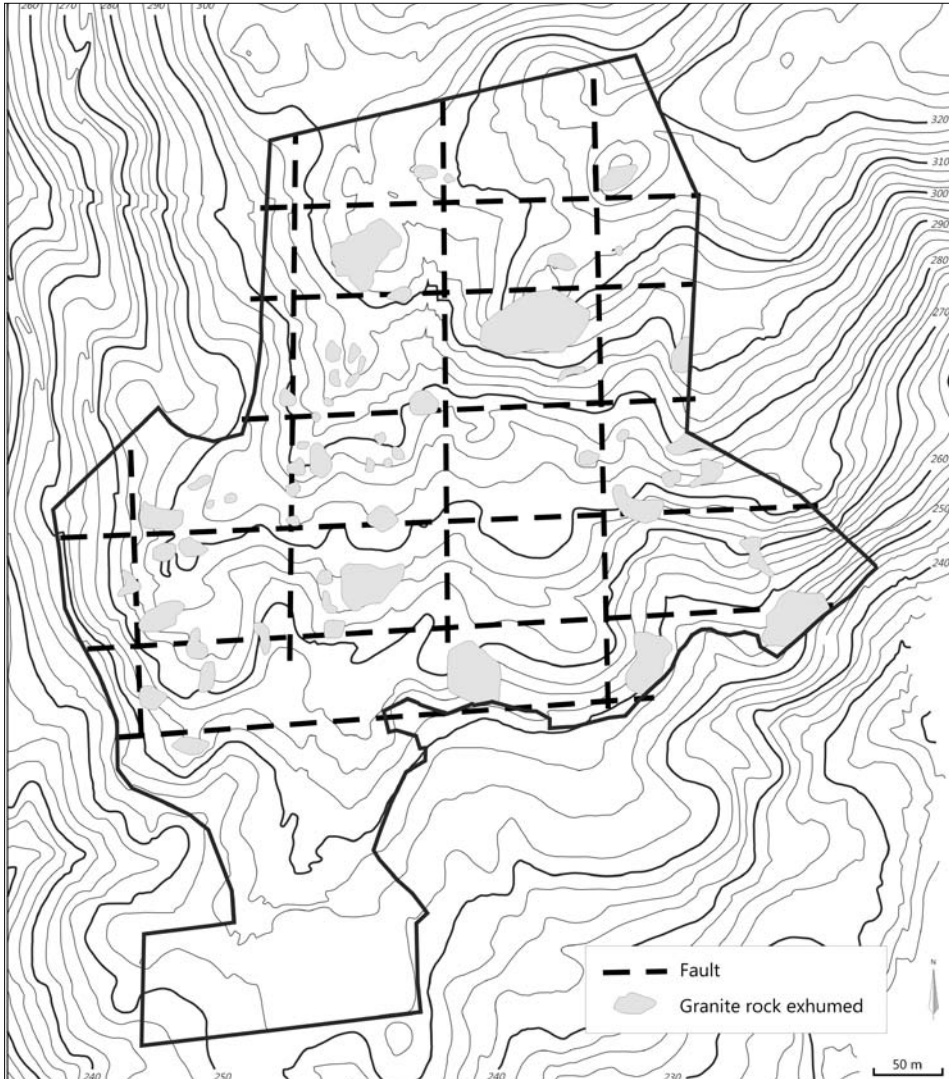
In the third phase, eleven pedo-sedimentary sequences (with depths between 1.5 and 3 m) were selected for high-resolution sampling of soils and sediments. Of these, five were studied in more detail. Sampling was systematic and took into account the variability of each sediment layer or soil cycle.

The fourth phase concerned the analytical procedures. These included abiotic (physico-chemical properties: soil reaction, elemental composition of the inorganic phase, mineralogy, etc.) and biotic (pollen record, charcoal, molecular composition of the organic matter, etc.) proxies. In a relatively small area several colluvial formations were analysed and supported by extensive radiocarbon dating.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

### 4.1. Geomorphological context: granite landscape

The landscape of the study area is dominated by granite outcrops separated by small thalwegs. The tops are organized following a polygonal pattern resulting from long-term granite weathering that is controlled by a joint system running from N-S and E-W directions. This tectonic pattern defines an alignment with a series of tops and granitic slabs interspersed with small low-lying areas known as alveolar depressions or *alveoli* (Fig. 4). The lithological, structural and geomorphological variety corresponds to that of granitic landforms, classified into two groups, depending on their size. The megaforms or large-scale forms are divided into convex – castle-kopje, tor, block – located in a high topographic position, and concave forms – *alveoli* or weathering basins – at lower topographic positions. The microforms or smaller forms, consist of: (a) microforms without any evident relationship to the rock structure – linear forms (gutters) and pointed forms (*gnammas*, *tafone*); and (b) microforms with an evident relationship with the rock structure – linear forms (polygonal cracking, nerviate forms), and flat forms (broken blocks) (Godard 1977; Twidale 1986, 1989). At an intermediate topographic position are the granitic slabs, minor forms that are related



**Fig. 4.** The tops are organized following a polygonal pattern resulting from long-term granite weathering that was controlled by a joint system running from N-S and E-W directions. Modified from Costa-Casais et al. (2009).

to the structure of the rock (mainly joints), flat in shape and slightly tilted down. Granitic macroforms dominate the landscape, constituted by alveolar depressions surrounded by crests and granitic slabs. The rock art panels of *Os Carballos* and *Os Cogoludos* are good examples, carved on slabs, in which the joints, narrow channels and other linear features are observed (Costa-Casais *et al.* 2009).

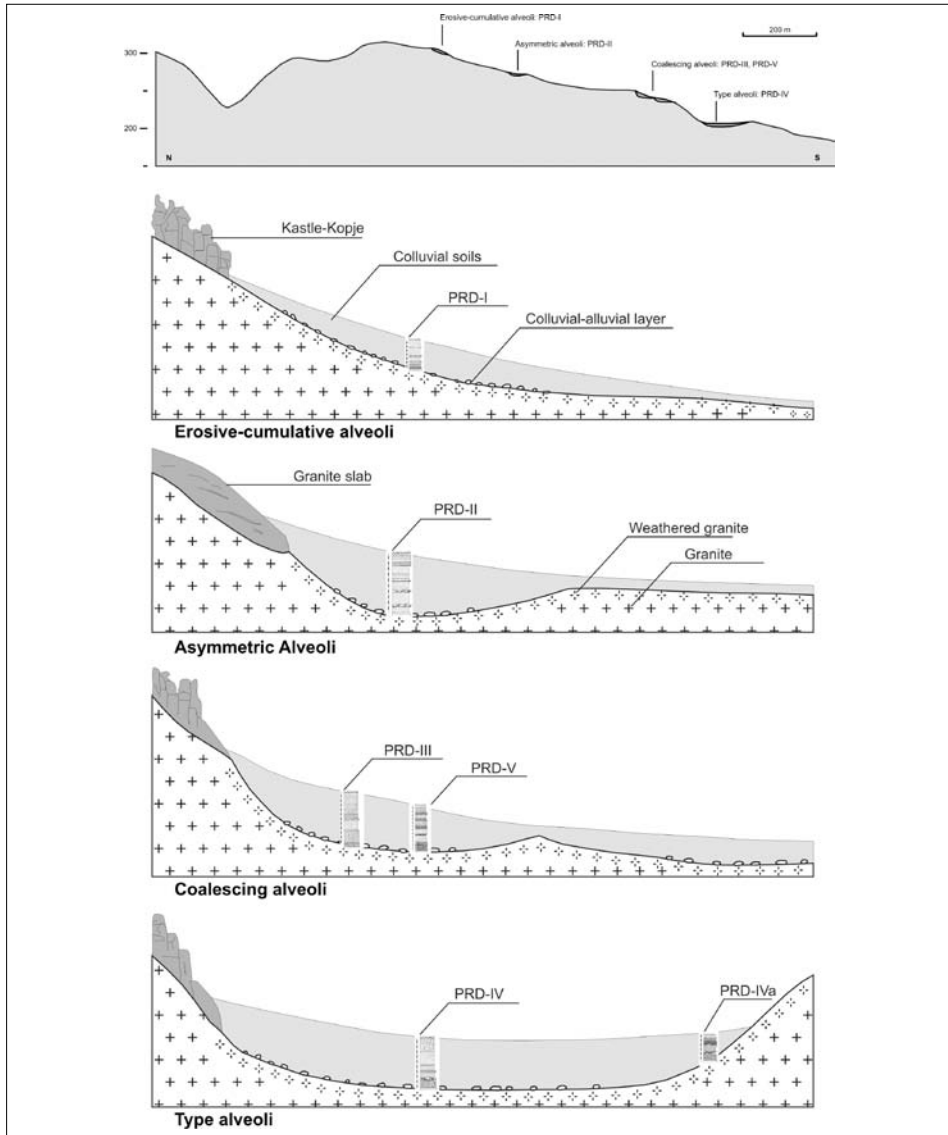
Granite morphogenesis is the result of the interaction of a number of factors: rock type, tectonics, climatic changes, human activities and the associated morphogenetic systems, which acted either directly or indirectly on the granitic substrate to form

the present landforms seen in Campo Lameiro. Alveolar depressions are the most representative major landforms. Their formation, as already mentioned, has been controlled by the joint system that channelled both the upwards and downwards alteration processes (hydrothermal/thermal), and the downwards weathering and pedogenetical processes (Vidal Romaní 1989). Their final shape is also linked to fluvial and alluvial processes that gradually uncovered the megaforms. These *alveoli* are covered by alluvial-colluvial deposits and colluvial soils. They played a decisive role in the preservation of sedimentary sequences in Campo Lameiro.

#### 4.2. Sedimentary sequences: alluvial deposits and colluvial soils

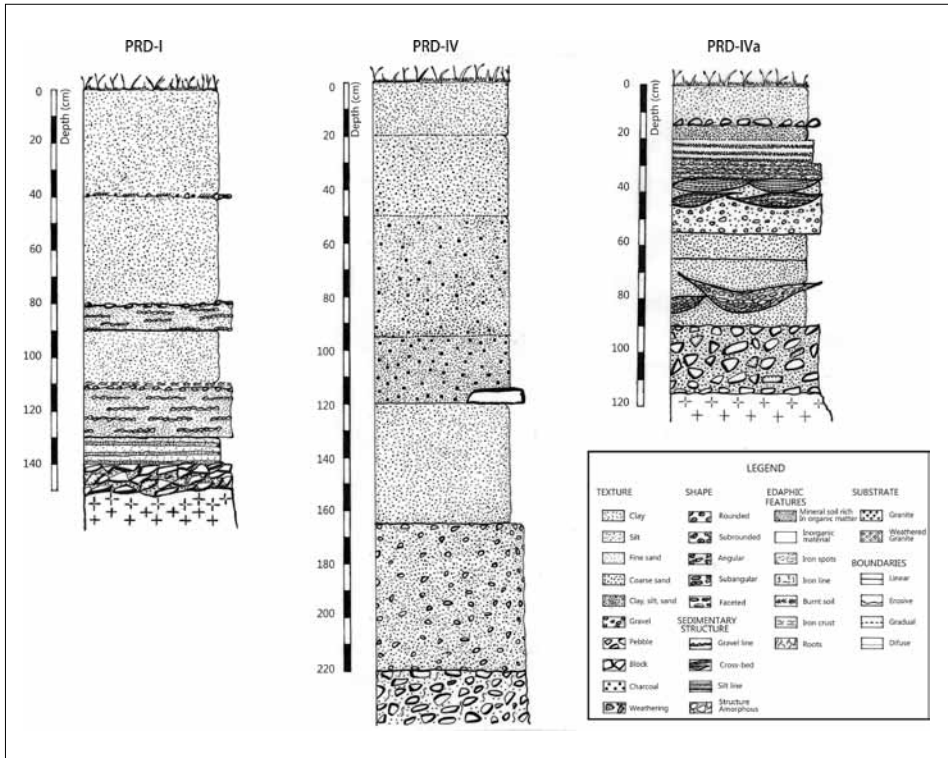
The thickest sedimentary deposits are located in the alveolar depressions, where sedimentation was favoured over erosion. The *alveoli* shape types have conditioned the evolution of the surface formation. Depending on where they are located, superficial formations can be classified into four main groups: (a) *erosive-cumulative alveoli*: situated in high potential energy areas prone to both erosion and sedimentation in comparable intensities; (b) *coalescing alveoli*: located in low energy areas where accumulation dominated, such as the channelled depressions; (c) *asymmetric alveoli*: formations that cover *alveoli* found at intermediate positions, located next to the base of a granite slab and with their external border eroded; and (d) *type alveoli*: covered *alveoli* floors (Costa-Casais *et al.* 2008) (Fig. 5). The sedimentary sequences show two types of stratigraphic units: a basal inorganic sedimentary layer, covering the granitic substrate or the deeply weathered saprolite, with varying thickness (50 to 100 cm) and a younger, thicker (up to 250 cm) layer represented by colluvial, polycyclic soils, rich in organic matter.

The basal inorganic sedimentary unit is the result of the erosion and transport of the strongly weathered saprolite mantle, generating a large amount of material. The mineralogical composition, shape of the clasts, degree of weathering and the type of fine matrix refers to a morphogenetic system controlled by water. The sedimentary facies are quite varied. There are heterogeneous and chaotic layers: cross-bed, linear structures and lenticular sand layers, related to alluvial transport, which are only preserved in *alveoli* bottoms (Costa-Casais *et al.* 2009) (Fig. 6). They were formed under an alluvial morphogenetic system, probably as small alluvial fans, with three main channels following the natural thalwegs in the area (Fig. 7). Fans are dynamic systems that can temporarily store sediments (Gómez Villar 1996) as a result of a sporadic yet continuous supply, in geological terms, in a highly energetic environment. Alluvial fans depend equally on torrential rainfall and its ability to produce large amounts of sediment. At PRD-I (Fig. 6) this basal unit is fossilized by a palaeosol that provided a radiocarbon age of 8480-8320 cal BP (Costa-Casais *et al.* 2009) and in PRD-IV (Fig. 6) it is covered by a soil cycle dating back to ca. 11260-10905 cal BP (Kaal *et al.* 2011), indicating that the fans are at least late Pleistocene or early Holocene in age. Their formation in the study area may be associated with the Younger Dryas



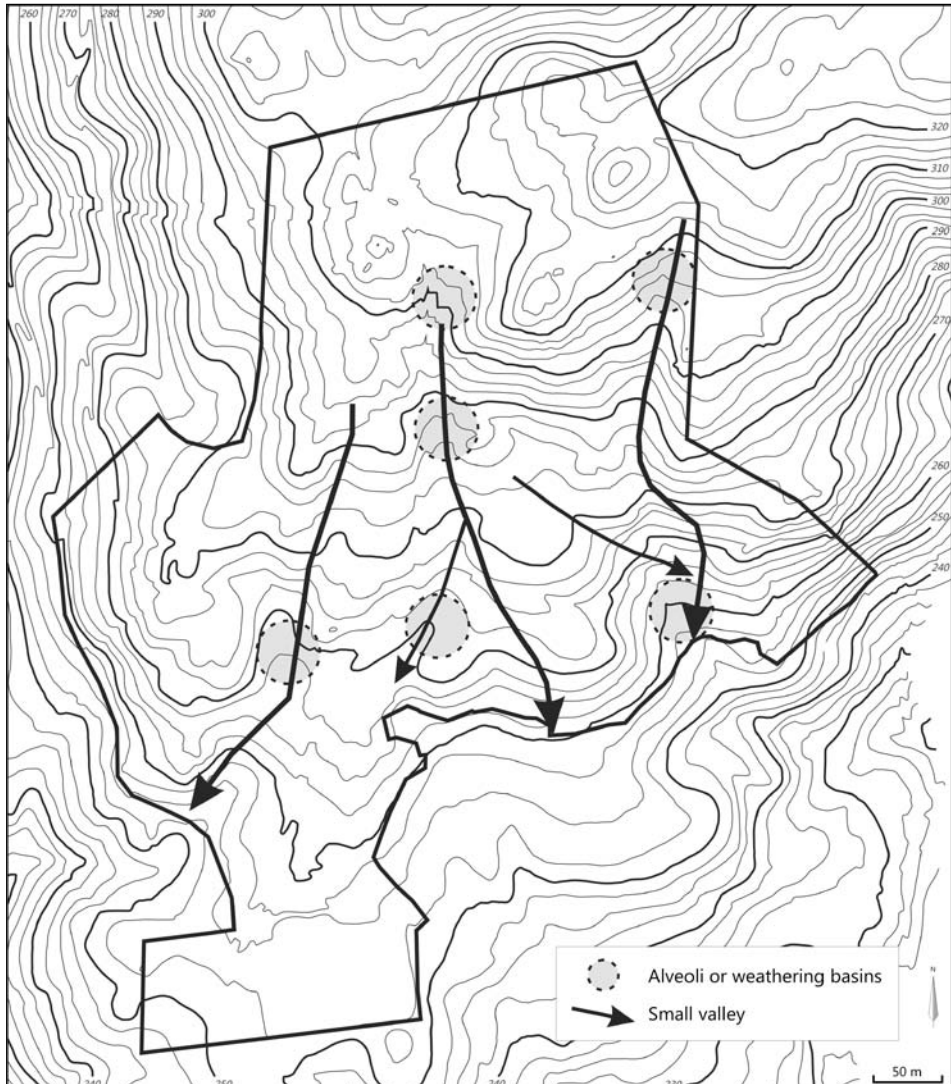
**Fig. 5.** Different types of small depressions (*alveoli*) identified in the Campo Lameiro Rock Art Park area. The eroded soil from the slopes was accumulated in these reduced areas named “*alveoli*”, where sedimentation was favoured. Modified from Costa-Casais *et al.* (2008).

(11000-10000 BP), a severe cold spell with rainy conditions, as represented in sedimentary levels by important alluvial-colluvial accumulations that are well defined in the northwestern Iberian Peninsula (Martínez Cortizas & Moares Domínguez 1995; Valcárcel Díaz 1998). This is consistent with recent research on fluvial activity in Spain that suggests increased activity by 11170-10230 BP and 9630-8785 BP (Thorndycraft & Benito 2006).



**Fig. 6.** Three examples of sedimentary sequences in the Campo Lameiro Rock Art Park area. Sedimentological and stratigraphic schemes and legend of PRD-I, PRD-IV, PRD-IVa alluvial and colluvial soils.

The younger unit is represented by colluvial layers that show an apparently homogeneous morphology: black to dark brown A horizons (mineral soil rich in organic matter), loamy sand to sandy loam texture, with abundant quartz and muscovite, acidic and with high C/N ratios. Nonetheless these soils exhibit significant vertical changes in grain size, charcoal layers, burnt soil layers, pH, elemental composition of inorganic phase (Ti, Zr, Fe, Al). Also, the highly aromatic nature of the soil organic matter, originating from pyrogenic material formed during palaeofires points towards recurrent fire episodes (Kaal *et al.* 2008). Sedimentary and geochemical features, supported by extensive radiocarbon dating, are evidence of the occurrence of several phases of erosion/sedimentation (i.e. landscape instability), some of which were coeval with known periods of Holocene abrupt climate change – the 8.2 ka event, the beginning of the Neoglaciation (ca. 5500 ka BP) and the 2.8 ka wet/cold event (Costa-Casais *et al.* 2009). But some of the most intense phases coincided with increased human pressure on the landscape during the Neolithic, Bronze Age, Roman Period, and the Middle Ages.



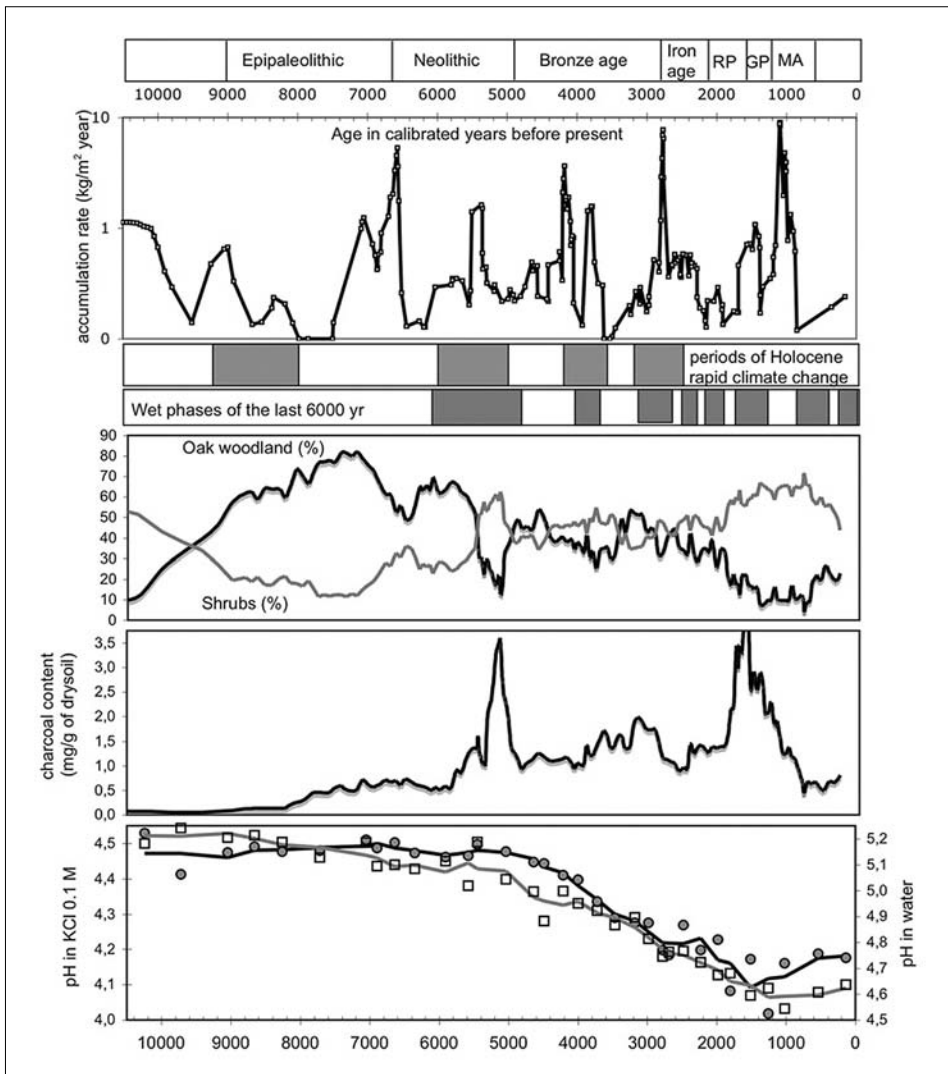
**Fig. 7.** The location of the granite outcrops and the alveolar depressions defines three main flow paths within the area that channelized the transport of water and sediments to the valleys. Modified from Costa-Casais *et al.* (2009).

### 4.3. Landscape change vs induced environmental changes

#### Colluvial soil dynamics

Martínez Cortizas *et al.* (2009a, 2012) analyzed changes in soil accumulation/erosion rates in the Rock Art Park of Campo Lameiro – in a relatively small area (less than 1 km<sup>2</sup>) – using several colluvial formations and based on high-resolution sampling of soils and sediments and extensive radiocarbon dating. The record of average soil accumulation rates revealed sixteen erosion/accumulation periods, eight of them

with an equivalent accumulation rate greater than  $10 \text{ tm ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Fig. 8). The estimated duration of these phases was between 410 and 130 years, except the oldest one, which may have lasted for 500 years. The length of these phases seems to have decreased substantially in two steps: one around 6500 cal BP and other one around 2700 cal BP. The average duration prior to 6500 cal BP was 600 years, between 6500 and 2700 cal BP was 310 years and after 2700 cal BP it was 160 years (Fig. 8). As a result of increased erosion the transport of soil and sediments caused a progressive accretion and infilling of the alveolar depressions. It was possibly at this time, around 6000 cal BP (the Neolithic), when the granite outcrops started to become exhumed together with the upper part of the slabs. Studies on landscape evolution in NW Spain indicate



**Fig. 8.** Holocene changes in soil accumulation/erosion rates, vegetation change, charcoal content in colluvial soils and soil reaction in Campo Lameiro, Pontevedra (Martínez Cortizas *et al.* 2009a).



that soil erosion began to be a widespread phenomenon at least from 6000-5500 cal BP. Most of these phases were also detected by synchronous erosion episodes in other areas of NW Spain (Benito *et al.* 1991; Martínez Cortizas & Moares Domínguez 1995; Martínez Cortizas *et al.* 1999, 2000).

The role of climate changes in the formation of colluvial soils was also addressed by Leopold and Völkel (2007), particularly related with extreme rainfall events. In Campo Lameiro some of the erosion phases correlate with wet periods during the last 6000 years, but there is not a direct relationship between the change in rainfall and the intensity of erosion. The erosive effect of rainfall may overlap with human-induced transformations. The oldest erosion phases coincided with abrupt climate changes (Younger Dryas – >10000 cal BP or the 9000-8000 cal BP period, including the 8.2 ka event; Mayewski *et al.* 2004). These events occurred in periods of weak environmental repercussions of human activities. Other phases (Neoglaciacion 5500-5000 cal BP, the 4200-3800 or 2750-2450 cal BP event; Magny *et al.* 2006; van Geel *et al.* 2000; Lal *et al.* 2007), characterized by wetter and cooler conditions, occurred in periods of higher human impact, which probably led to higher landscape sensitivity. The results suggest that since 6800-6500 cal BP, human activities seem to have been coupled to climate changes and in that period became a relevant force that accelerated landscape evolution. The same chronology has been found in other areas of NW Spain (Martínez Cortizas *et al.* 2009b).

### **Forest dynamics and fire use**

The anthracological study of the macroscopic charcoal (>2 mm, obtained by wet sieving) in five colluvial soils from the Campo Lameiro area linked the fire history to vegetation change and slope processes (Fig. 8) (Kaal *et al.* 2011). Fires often cause accelerated soil erosion through elimination of the protective vegetation cover and litter. The direct result is the exposure of the mineral soil to wind and water erosion. Soils located in the upper part of the slopes (i.e. geomorphologically active areas) can be completely eroded. The black colour of the resulting colluvial soils seems to be, at least partially, associated with the abundance of vegetation fire residues (“black carbon”) not only as macroscopic charcoal fragments but also as fine-grained material incorporated into the soils’ microgranular fabric (Kaal & Van Mourik 2008). The formation of black-coloured soils rich in organic matter is often the consequence of pyrogenic material accumulation from long-term fire regimes: chernozemic soils of the lower Rhine basin (Gerlach *et al.* 2006), Australia (Skjemstad *et al.* 1996), and *Terra Preta* soils in South America (Glaser & Amelung 2003).

The early phases of the Holocene in Campo Lameiro (10000-7000 BP) were characterized by the expansion of forest vegetation, dominated by deciduous *Quercus* (Martínez Cortizas *et al.* 2009b; Kaal *et al.* 2011) which remained dominant up until ca. 6000 cal BP, when it started to be gradually replaced by shrub communities. Pollen studies have found a sharp decrease in forest cover beginning by ca. 6500 cal BP. The effect of fire on the forest in this area is clear since ca. 6000 cal BP, and the charcoal record shows a decline in the contribution of oak and an increase in shrub species

(*Erica* sp.) that seems to be a good indicator of fire-induced environmental degradation (Fig. 8) (Kaal *et al.* 2011). The episodes of accelerated deforestation (ca. 5500-5000 cal BP and ca. 2000-1500 cal BP) coincided with periods of increased human pressure and cultural changes reflected in many areas of Europe (6000 BP Neolithic expansion of agriculture and pastoralism, 3000 BP Bronze Age/Iron Age transition and the 1700-1500 BP Roman/Germanic shift; Tinner *et al.* 1999; Mighall *et al.* 2006) and climate deterioration (especially the Neolithic that coincides with the Neoglaciation; Martínez Cortizas *et al.* 2009b).

Charcoal layers identified in colluvial soils are often covered by high accumulation rates which confirm that fire was an important agent in the geomorphological evolution of Campo Lameiro landscape. Pedo-anthracological analyses by Kaal *et al.* (2011) showed that: i) the deforestation initiated on the upper part of the Monte Paradela hill and probably had a local character; ii) the low degree of chronological precision, which is inherent in fire history reconstructions from colluvial soils, made it impossible to distinguish climatic from human-induced fires, but the abundance of synanthropic pollen indicators (e.g. *Plantago lanceolata* and *Urtica dioica*) since at least ca. 6000 cal BP strongly suggests that humans used fire to generate and maintain pasture; and iii) in NW Spain, macroscopic charcoal records in colluvial soils seem to provide an excellent proxy for local fire-induced vegetation change.

These colluvial soils, traditionally referred to as Atlantic Rankers (Carballas *et al.* 1967), should therefore be added to the list of black-coloured soils probably formed upon frequent anthropogenic fire starting in the Neolithic period (Martínez Cortizas *et al.* 2009a)

### **Soil acidification**

Another possible effect of human activities since prehistoric times was soil acidification. The results of the study of the Campo Lameiro colluvial soils reflected that pH started to decrease ca. 6000-5000 cal. BP (Fig. 8), an acidification trend that would continue for several Millennia. It is only in the last 1000 years that pH seems to have stabilized at its lowest values (Martínez Cortizas *et al.* 2009a).

The beginning of acidification was synchronous with one of the most critical phases of forest decline, an increase in shrubs in the charcoal record, and an abrupt increase in total charcoal content in the colluvial soils. In soil layers generated during periods of high accumulation rates, pH values tend to be slightly higher than in layers formed in periods of low accumulation rate. The substitution of the forest by a more acidophilous vegetation, the disruption of the biocycling of nutrients and increased leaching may have been the processes leading this forced acidification of soils (Martínez Cortizas *et al.* 2009a, 2012).

A decline in forest cover and the first appearance of cereal pollen indicated by palynological studies (Ramil 1993; Martínez Cortizas *et al.* 2005), the erosive discontinuities, stone and charcoal lines in colluvial soils, as well as the start of a progressive soil acidification point to human activities as the main trigger. By 3000

BP, a critical threshold must have been crossed in NW Spain because many indicators show an acceleration of environmental degradation (Costa-Casais *et al.* 1996, 2009).

## 5. CONCLUDING REMARKS

Our research suggests that both climate and human activities played an important role in the formation of colluvial deposits of the study area. The geomorphological and sedimentological analyses indicate that the distribution of present landforms is a primordial factor to understand the formation of the colluvial deposits. In agreement with previous studies, this indicates that they are valuable geoarchives to reconstruct Holocene environmental change from a geoarchaeological approach. Given their wide distribution and the time span covered by them, they may also be crucial to decipher and understand human responses to climate change and the impact of anthropogenic activities on the environment at the local and regional scales. The lack of archaeological remains for the studied area makes colluvial deposits an important archive that allows to trace the chronology of human activity. In this sense, we can briefly summarize palaeoenvironmental information provided by these archives as follows:

Climatic changes dominated the environmental evolution until ca. 7000 years ago. After this date human modifications became an important driving force.

Increasing landscape instability phases since the mid-Holocene. Some of which were coeval with known periods of Holocene abrupt climate change – the 8.2 ka event, the beginning of the Neoglaciation (ca. 5500 ka BP) or the 2.8 ka wet/cold events. But some of the most intense phases are coincident with increased human pressure on landscape during Neolithic, Bronze Age, Roman Period and Middle Ages.

Features such as charcoal layers, burnt soil layers and the highly aromatic nature of the soil organic matter point to frequent fire episodes; pollen studies indicate a sharp decrease in forest cover beginning by ca. 6500 cal. BP, that was accompanied by a progressive soil acidification.

Therefore, the geomorphological evolution is controlled by climatic and anthropogenic causes. The anthropogenic processes manifested as an acceleration of an existing pedogeomorphological process. Direct effects of the geomorphological change in the landscape are: slope processes (erosion/sedimentation, i.e. landscape instability), fire use accelerated soil erosion, modification of the vegetation cover and redistribution of soil resources and preferential concentration of soil in the *alveoli* megaforms.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** Manuela Costa-Casais is supported by a Research Program “Isidro Parga Pondal 2007” – Xunta Galicia. This research was partly funded by the Project “Paleopaisaje y prehistoria del Futuro Parque de Arte Rupestre de Campo Lameiro, Pontevedra” (PGIDT02CCP60601) and the Project 09SEC015606PR (2009-2012) “Xeoarqueoloxía e reconstrución paleoambiental. Metodoloxía aplicada a contextos arqueolóxico-culturais” (Consellería de Economía e Industria. Xunta de

Galicia) and by Portuguese National Funds through the FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) under the project "PEst-OE/CTE/UI0039/2011".

The authors are deeply grateful to the reviewers for their helpful comments and contributions on the manuscript.

## REFERENCES

- Benito E., Soto B. & Díaz-Fierros F.** 1991. Soil erosion studies in NW Spain. In: M. Sala, J.L. Rubio, J.M. García-Ruiz (eds.) *Soil erosion studies in Spain*. Geoforma Ediciones: 55-74.
- Carballas T., Duchaufour P. & Jacquin F.** 1967. Évolution de la matière organique des rankers. *Bulletin de l'École nationale supérieure d'agronomie* 9: 20-28.
- Costa Casais M., Moares Domínguez C. & Martínez Cortizas A.** 1996. Caracterización físico-química do depósito litoral de Mougás (Pontevedra): implicaciones morfoxenéticas. In: A. Pérez Alberti, P. Martini, W. Chesworth & A. Martínez Cortizas (eds.) *Dinámica y evolución de medios cuternarios*. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela: 431-440.
- Costa-Casais M., Martínez-Cortizas A., Kaal J., Ferro-Vázquez C. & Criado-Boado F.** 2008. Depósitos coluviales holocenos del NO peninsular: geoarchivos para la reconstrucción de la dinámica geomorfológica. In: J. Benavente & F.J. Gracia (eds.) *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008*. SEG, X Reunión Nacional de Geomorfología, Cádiz: 83-86.
- Costa-Casais M., Martínez-Cortizas A., Pontevedra-Pombal X. & Criado-Boado F.** 2009. Analysis of landforms in geoarchaeology: Campo Lameiro, NW Iberian Peninsula. *Mem. Descr. Carta Geol. D'it.* LXXXVII: 39-52.
- Gerlach R., Naumewerd-Schmidt H., Van der Borg K., Eckmeier E. & Schmidt M.W.I.** 2006. Prehistoric alteration of soil in the Lower Rhine Basin, northwest Germany-archaeological, 14C and geochemical evidence. *Geoderma* 136: 38-50.
- Gerrad J.** 1992. *Soil geomorphology: an integration of pedology and geomorphology*. Chapman Hall, London, 292 p.
- Gifford J.A. & Rapp G.** (1985). Chapter 1. History, philosophy and perspectives. In: G.J. Rapp & J.A. Gifford (eds.) *Archaeological geology*. New Haven: Yale University Press, 435 p.
- Glaser B. & Amelung W.** 2003. Pyrogenic carbon in native grassland soils along a climosequence in North America. *Global Biogeochemical Cycles* 17, art. n° 1064, 8 p.
- Godard A.** 1977. *Pays et paysages du granite*. Presses Universitaires de France. Vèndome, 232 p.
- Gómez Villar A.** 1996. *Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña*. Monografías científicas, no 6. Geoforma. Ediciones. Logroño, 192 p.
- Huckleberry G.** 2000. Interdisciplinary and specialized geoarchaeology: A pos-Cold War perspective. *Geoarchaeology. An International Journal* 15 (6): 523-536.
- IGME** 1982a. *Mapa geológico de España: Cerdedo 153 05-09. Escala 1:50.000*. Madrid: Servicio de Publicaciones. Ministerio de Industria y Energía.
- IGME** 1982b. *Mapa geológico de España: Vilagarcía de Arousa 152 04-09. Escala 1:50.000*. Madrid: Servicio de Publicaciones. Ministerio de Industria y Energía.
- Kaal J. & Van Mourik J.M.** 2008. Micromorphological evidence of black carbon in colluvial soils from NW Spain. *European Journal of Soil Science* 59: 1133-1140.
- Kaal J., Martínez Cortizas A., Eckmeier E., Costa Casais M., Santos Estévez M. & Criado Boado F.** 2008. Holocene fire history of black colluvial soils revealed by pyrolysis-GC/MS: a case study from Campo Lameiro (NW Spain). *Journal of Archaeological Science* 35: 2133-2143.
- Kaal J., Carrión Marco J., Asouti E., Martín Seijo M., Martínez Cortizas A., Costa Casais M. & Criado Boado F.** 2011. Long-term deforestation in NW Spain: linking the Holocene fire history to vegetation change and human activities. *Quaternary Sciences Reviews* 30:161-175.

- Lal D., Lagem W.G. & Walker S.G.** (2007). Climate forcing before, during, and after the 8.2 kyr BP global cooling event. *Journal of Earth System Science* 116: 171-177.
- Leopold M. & Völkel J.** 2007. Colluvium: definition, differentiation and possible suitability for reconstructing Holocene climate data. *Quaternary International* 162-163: 133-140.
- Lowe J.J. & Walker M.J.C.** 2006. *Reconstructing Quaternary Environments* (Third Edition). London: Pearson Education Ltd., 389 p.
- Mandel R.D. & Bettis E.A.** 2001. Use and analysis of soils by archaeologists and geoscientists. In: P. Golderberg, V.T. Holliday & C.R. Ferring (eds.) *Earth Sciences and Archaeology*. New York: Kluwer Academic/Plenum: 173-204.
- Magny M., Leuzinger U., Bortenschlager S. & Haas J.N.** 2006. Tripartite climate reversal in Central Europe 5600-5300 years ago. *Quaternary Research* 65: 3-19.
- Martínez Cortizas A.** 2000. La reconstrucción de paleoambientes cuaternarios: ideas, ejemplos y una síntesis de la evolución del Holoceno en el NW de la Península Ibérica. *Estudos do Quaternário* 3: 31-41.
- Martínez Cortizas A. & Moares Domínguez C.** 1995. *Edafología y arqueología. Estudio de yacimientos arqueológicos al aire libre en Galicia*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia: 199 p.
- Martínez Cortizas A. & Pérez Alberti A.** 1999. *Atlas Climático de Galicia*. Santiago de Compostela: Consellería de Medio Ambiente: Xunta de Galicia, 207 p.
- Martínez Cortizas A., Pérez Alberti A., Franco Maside S. & García-Rodeja E.** 1999. Landscape evolution during the Holocene in Galicia (NW Spain). In: F. Díaz del Olmo, D. Faust & A.I. Porras (eds.) *Environmental changes during the Holocene*. Sevilla: Comission on the Holocene. Universidad de Sevilla: 61-64.
- Martínez Cortizas A., Fábregas Valcarce R. & Franco Maside S.** 2000. Evolución del paisaje y actividad humana en el área de Monte Penide (Redondela, Pontevedra): una aproximación metodológica. *Trabajos de Prehistoria* 57: 173-184.
- Martínez Cortizas A., Mighall T., Pontevedra Pombal X., Nóvoa Muñoz J.C., Peiteado Varela E. & Piñeiro Rebolo R.** 2005. Linking changes in atmospheric dust deposition, vegetation change and human activities in northwest Spain during the last 5300 years. *The Holocene* 15 (5): 698-706.
- Martínez Cortizas A., Kaal J., Costa Casais M. & Chesworth W.** 2009a. Human activities and Holocene environmental change in NW Spain. In: J. Sánchez Díaz & S. Asíns (eds.) *Control de la Degradación de los Suelos y Cambio Global*. Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CSIC, Universitat de València, Generalitat Valenciana): 193-208.
- Martínez Cortizas A., Costa Casais M. & López Sáez J.A.** 2009b. Environmental change in NW Iberia between 7000 and 500 cal. BC. *Quaternary International* 200: 77-89.
- Martínez Cortizas A., Costa-Casais M., Kaal J., Ferro-Vázquez C., Pontevedra-Pombal X. & Viveen W.** 2012. Entre la geoquímica y el paisaje: composición elemental de los suelos. In: F. Criado-Boado & A. Martínez Cortizas (eds.) *Arte rupestre, paleoambiente y paisaje. Miradas interdisciplinares sobre Campo Lameiro*. Santiago de Compostela: Instituto de Ciencias del Patrimonio, CSIC. In press.
- Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C., Karlén W., Maasch K.A., Meeker L.D., Meyerson E.A., Gasse F., Van Kreveld S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R.R. & Steig, E.J.** 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62: 243-255.
- Mighall T., Martínez Cortizas A., Biester B. & Turner S.E.** 2006. Proxy climate and vegetation changes during the last five milenias in NW Iberia: pollen and non-pollen palynomorph data from two ombrotrophic peat bogs in the North Western Iberian Peninsula. *Review of Paleobotany and Palynology* 141: 202-223.
- Ramil Rego P.** 2003. Evolución climática e historia de la vegeatación durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno en las regiones montañosas del Noroeste Ibérico. In: Pérez Alberti A., Guitián Rivera L.&

Ramil Rego P. (eds.) *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los Caminos Jacobeos*. Xunta de Galicia: 25-60.

**Skjemstad J.O., Clarke P., Taylor J.A., Oades J.M. & McClure S.G.** 1996. The chemistry and nature of protected carbon in soil. *Australian Journal of Soil Research* 34: 251-271.

**Thorndycraft V.R. & Benito G.** 2006. The Holocene chronology of Spain: evidence from a newly compiled radiocarbon database. *Quaternary Science Reviews* 25: 223-234.

**Tinner W., Hubschmid P., Wehrli M., Ammann B. & Conedera M.** 1999. Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. *Journal of Ecology* 87: 273-289.

**Twidale C.R.** 1986. Granite landforms evolution: features and implications. *Geol. Rundt* 75 (3): 769-779.

**Twidale C.R.** 1989. La iniciación subsuperficial de las formas graníticas y sus implicaciones en las teorías generales de evolución del paisaje. *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 13: 49-69.

**Valcárcel Díaz M.** 1998. *Evolución geomorfológica y dinámica de las vertientes en el noroeste de Galicia: Importancia de los procesos de origen frío en un sector de las montañas lucenses*. Tesis doctoral. Departamento de Xeografía. Universidad de Santiago de Compostela. Inédita, 496 p.

**Van Geel B., Heusser C.J., Rensen H. & Schuurmans C.J.E.** 2000. Climatic change in Chile at around 2700 BP and global evidence for solar forcing: a hypothesis. *The Holocene* 10: 659-664.

**Vidal Romani J.R.** 1989. Geomorfología granítica en Galicia (NW España). *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 13: 89-163.

**Walkington H.** 2010. Soil science applications in archaeological contexts: A review of key challenges. *Earth-Science Reviews* 103:122-134.



# SEDIMENTOLOGICAL ANALYSIS OF RELICT SLOPE DEPOSITS FROM SERRA DA ESTRELA (PORTUGAL): FIRST RESULTS

A. Trindade<sup>1</sup>, G. Vieira<sup>1</sup>, C. Schaefer<sup>2</sup>

**Abstract:** This paper deals with the genetical processes and palaeoenvironmental significance of relict slope deposits in serra da Estrela, Central Portugal. Three sites were analyzed using two techniques: fabric analysis and micromorphology. Clast direction, dip angle and shape were analyzed from 25 to 50 prolate clasts and plotted in a stereonet. Fabrics displayed distinct preferred orientations, which are related to run-off, solifluction and/or debris flow processes. Micromorphology allowed for a systematic description of the physical characteristics of the sediments of two thin-sections. Different microfeatures were identified. One sample presents lamination-like features that are a good evidence of runoff. The other displays frost-induced features such as those of solifluction deposits. The detailed analysis of both the macro- and micromorphological characteristics of the deposits allowed a more accurate identification of the past slope dynamics.

**Key-words:** Micromorphology; Slope deposits; Serra da Estrela.

**Resumo:** Este trabalho apresenta novos resultados do estudo da génese e significado paleoambiental de depósitos de vertente, herdados, da serra da Estrela, Portugal. Três locais foram analisados utilizando duas técnicas: estrutura clástica (*fabric*) e micromorfologia. Direção, ângulo de inclinação e forma, foram analisados a partir de 25 a 50 clastos e os resultados apresentados em stereonet. A análise da estrutura clástica revelou orientações preferenciais distintas, relacionadas com escoamento hídrico, solifluxão e/ou com fluxos de detritos. A micromorfologia feita a partir de duas lâminas delgadas permitiu uma descrição sistemática das características físicas dos sedimentos. Foram identificadas diferentes microestruturas. Uma amostra apresenta como principais características, estruturas com laminação que testemunham escoamento hídrico. A outra amostra apresenta estruturas criogénicas frequentes em depósitos resultantes de solifluxão. A análise detalhada das características macro e micromorfológicas dos depósitos permitiu uma identificação mais precisa da coeva paleodinâmica de vertentes.

**Palavras-chave:** Micromorfologia; Depósitos de vertente; Serra da Estrela.

## 1. INTRODUCTION

Slope deposits are accumulations of sediment in a slope or near its base, and whose genesis is associated with them (Dewolf & Bourrié 2008). They are essentially controlled by gravity action, which may or not be complemented by water, ice or wind. Slope deposits are found in all climatic regions, being particularly significant in periglacial environments, where they relate to specific landforms and sedimentary

---

<sup>1</sup> Centre of Geographical Studies – IGOT, University of Lisbon, Portugal. E-mail: alexandretn@gmail.com

<sup>2</sup> Department of Soils, Federal University of Viçosa, Brazil.



structures (Van Steijn *et al.* 2002). Although there exist several studies on relict slope deposits in Portuguese mountains, most still lack a detailed sedimentological analysis, as well as an absolute chronological framework, which introduces limitations in their application for paleoenvironmental reconstruction.

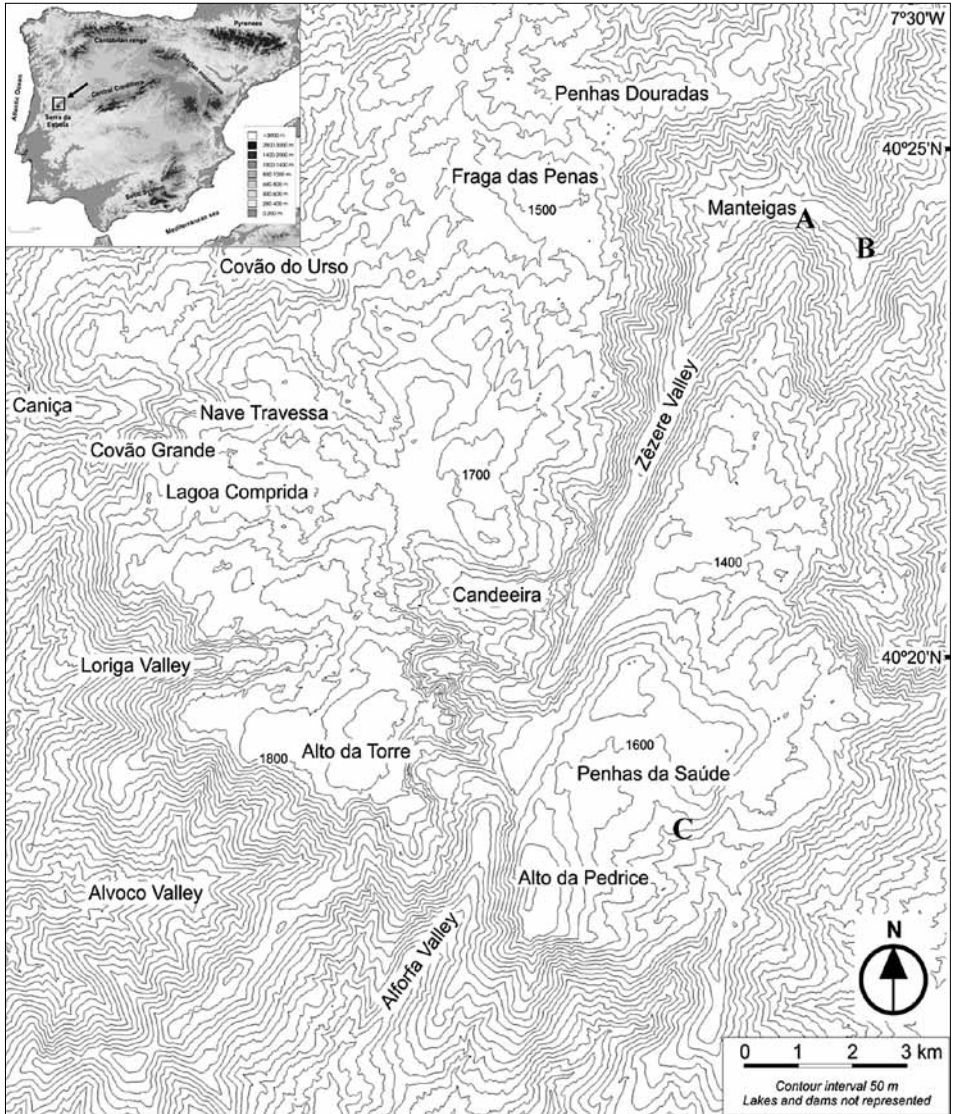
Serra da Estrela is the highest mountain in Portugal (1,993 m ASL) and part of the Iberian Central Cordillera (Fig. 1). The mountain presents different plateau surfaces between 1,400 m ASL and the summit, and has a lithological diversity, with several types of granitoids and metasediments. Most of the western plateau area was glaciated during the Last Glacial Maximum and its morphology is dominated by glacial landforms. Vieira (2004) produced a detailed geomorphological map of Serra da Estrela and described several sites showing stratified slope, head and debris-flow deposits. Based on the geomorphological analysis of the relationships between glacial and periglacial evidences, a first relative chronology was presented. However, a detailed and systematic sedimentological analysis has not been conducted before and absolute ages are also lacking.

This project is part of an ongoing PhD thesis and presents the first results on fabrics and micromorphology analysis of three slope deposits sites. Fabric analysis is a frequently applied technique that analysis the orientation of elongated stones within soil and sediments has been extensively used to understand sediment dynamics (Millar 2005). This technique has been employed frequently for differentiating glacial tills and colluvium, including that on arid and periglacial slopes. The results of such studies are often applied in a palaeoenvironmental context as one in a suite of many criteria. Micromorphology concerns the microscopic identification, description and interpretation of components, features and fabrics in soils and sediments (Stoops *et al.* 2010). It provides insights into various problems relating to geomorphology, geology, soil-forming processes and palaeoenvironmental reconstructions. Micromorphology of slope sediments and soils is an essential technique for studying site-formation processes that involve pedogenic, depositional (sedimentary) and post-depositional factors.

Our main goals are to contribute to the better understanding of the morphogenetical significance of the different types of slope deposits including clarifying the role of cold environment processes.

## 1.1. Study sites

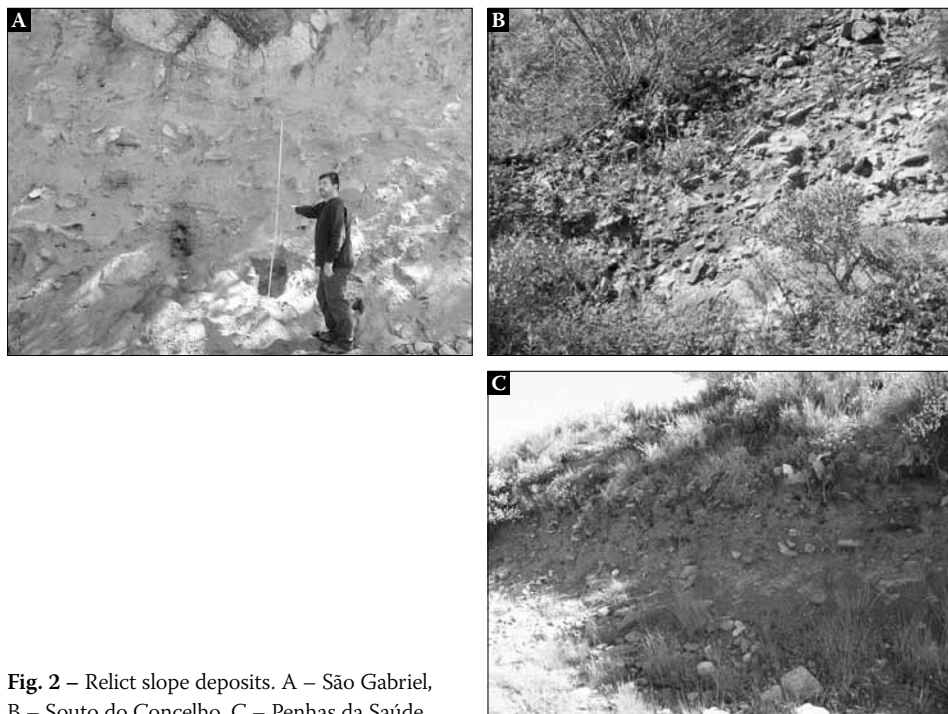
The work reported here accounts for three sites in the eastern plateau of the Serra da Estrela. The lithofacies analysis was described by Vieira (2004). The São Gabriel site (A – Fig. 1, Fig. 2) is located at 680 m of altitude, and the outcrop is over 200 m long and 3 to 4 m high. The bedrock is the Manteigas biotite granite. The studied part of the slope is characterized by (base to top): a) poorly sorted and very crudely stratified beds of coarse sands and gravels with a silty-sandy matrix; b) poorly sorted beds of angular and sub-angular boulders and clasts with fine matrix; c) on the top there is an



**Fig. 1** – Topography of the Serra da Estrela and location of the sites. A – São Gabriel, B – Souto do Concelho, C – Penhas da Saúde.

increasing frequency of boulders. A buried organic soil is observed, possibly the result of slope wash, with a  $^{14}\text{C}$  age of  $25,260 \pm 250\text{BP}$  (Vieira 2004).

The Souto do Concelho site is located at 700 m of altitude (B – Fig. 1, Fig. 2). The bedrock is the Manteigas biotite granite and in the upper section of the slope hornfels occurs. Three sedimentary units were identified. The lowest one is a diamicton composed of different sized angular hornfels clasts moderately orientated parallel to the slope and matrix-supported. The matrix is silty-sand and shows incipient laminar poorly-sorted structures. The middle unit is matrix-supported diamicton and the



**Fig. 2** – Relict slope deposits. A – São Gabriel, B – Souto do Concelho, C – Penhas da Saúde.

clasts are well-oriented parallel to the slope. The upper unit shows a clast-supported diamicton at the base, becoming open-work closer to the surface.

The Penhas da Saúde site (C – Fig. 1, Fig. 2) is located at 1,530 m of altitude and the sedimentary unit is about 80 cm thick and 50 m long, lying on the Covilhã granite. It is divided in three units. Unit 1 is a poorly sorted compacted diamicton with sub-rounded and sub-angular clasts, characteristic of a subglacial till as demonstrated by microfibrils (Vieira 2004). In unit 2 the matrix is a poorly sorted silty-clay (matrix-supported) with small clasts moderately oriented parallel to the slope and poorly defined beds. Unit 3 is clast-supported (sandy-silty matrix) constituted by boulders moderately to well oriented parallel to the slope.

In this paper we focus only in São Gabriel Unit b at 140 cm (Fig. 3-A), Souto do Concelho lower unit at 150 cm (Fig 3-B) and Penhas da Saúde Unit 2 at 50 cm (Fig. 3-C). The thin sections were sampled from the same layers, but only from two of the sites: São Gabriel (Fig. 4-A) and Souto do Concelho (Fig. 4-B). All heights were measured from the base of the outcrop.

## 2. METHODOLOGY

Clast fabric was defined by measuring the direction and inclination of 25 to 50 prolate clasts at each unit, and then plotted on rose diagrams (2D) and polar diagrams or equal-area stereonet (3D) (Hubbard & Glasser 2005). Clast shape were also analyzed,

and include the measuring of the three orthogonal axis (a, b and c) of 25 to 50 gravel-sized clasts. In this work we analyzed clast fabrics and shape from one layer of each site and the data was plotted using STEREO spreadsheet.

The microscopic structure of the deposits was studied from 10×6 cm thin-sections. Vertically aligned and oriented soil samples were collected from different slope deposits and depths, dried at 50 °C, impregnated with a crystic resin, and polished with corundum abrasives following Schaefer *et al.* (2008). After ultrasonic cleaning, the polished blocks were mounted onto glass slides followed by polishing and hand-finishing to produce the thin-sections, which were examined under a Zeiss microscope (OTM level).

### 3. RESULTS

#### 3.1. Fabrics

Figure 3 shows the results of the fabric analysis (direction and inclination) and clast shape (ratio). Figure 3-A displays the results from São Gabriel slope. Fabric analysis reveals low dip angles (ca. 10°) and a clear modal class towards NNE, thus coinciding with slope aspect. A random distribution of smaller number of clast

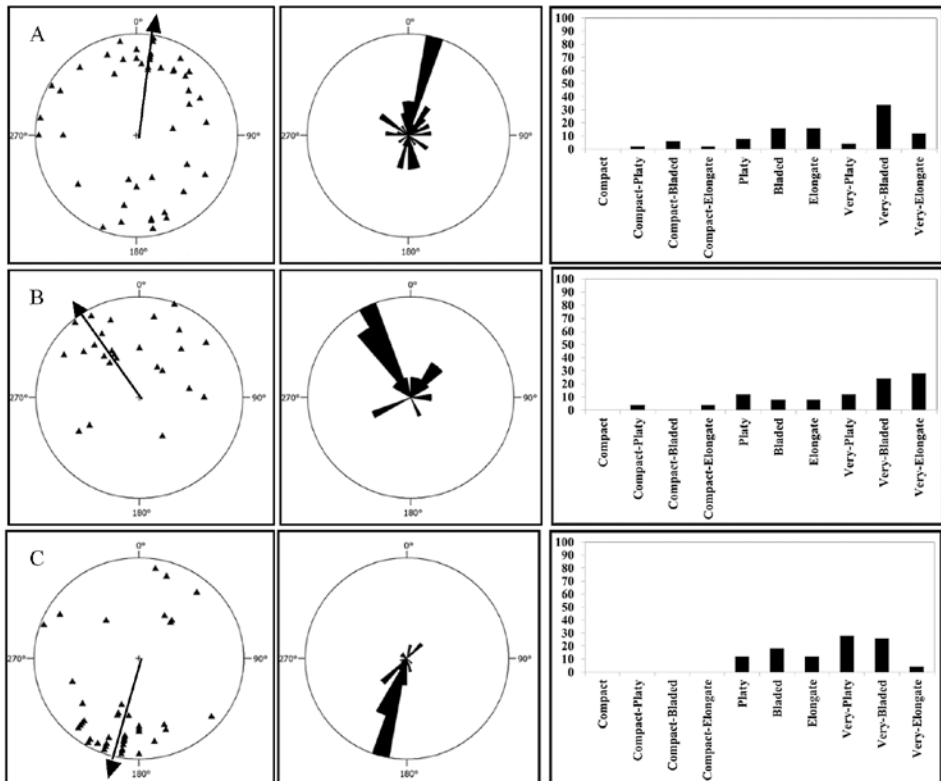


Fig. 3 – Fabric analysis: direction, dip and shape (the arrow represents slope aspect).

can also be observed. Clast shape is dominated by very-bladed and bladed, with a significant number of elongated to very elongated clasts.

The fabric analysis from the Souto do Concelho deposit (Fig. 3-B) demonstrates a moderate dip angle (between ca. 10° and 35°) and a clear modal class towards NNW and NW, which corresponds with the slope aspect. There exists a less, but significant, modal class towards NE. Clast shape is dominated by very-bladed and very-elongated, with a significant number of very-platy and platy.

The Penhas da Saúde slope deposit fabrics (Fig. 3-C) shows low to moderate dip angle (ca. 10° to 30°) and a clear modal class towards a SSW and SW, similar to slope aspect. Clasts are mostly very-platy and very-bladed, with bladed and platy classes also showing significant numbers.

### 3.2. Micromorphology

The thin section from São Gabriel slope (Fig. 4-A) shows a mineralogical assembly of randomly scattered quartz, feldspars and very few micas. Voids are simple packing, the related distribution is Chitonic –gefuric (fine fraction forming coatings and bridges between grains) and the structure is massive and banded. In terms of microfeatures, it can be observed a normal graded bedding typical of stream-laid sediments on the upper part of the thin-section (a) and silty matrix forming bridges and irregular coatings between and around grains.

The microfacies from Souto do Concelho (Fig. 4-B) shows a mineralogical assembly of randomly scattered quartz, feldspars and very few micas. The voids are complex packing, the structure is granular and massive and the related distribution is chitonic

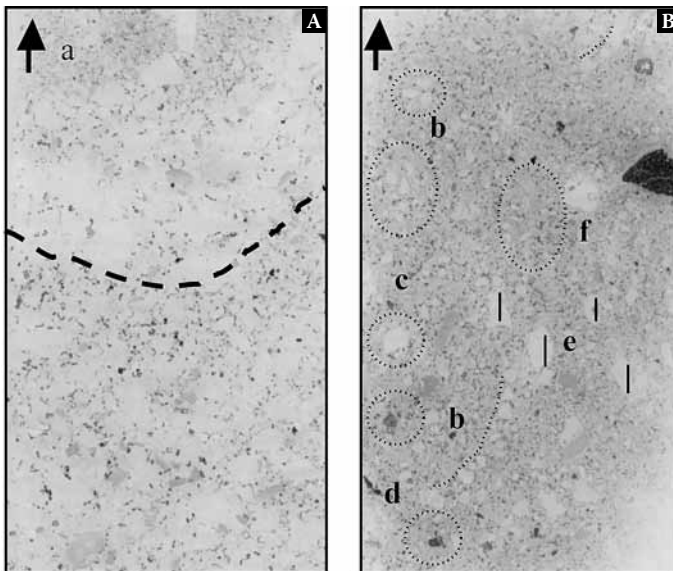


Fig. 4 – Vertical digital scan views of the 2 selected thin sections. A – São Gabriel, B – Souto do Concelho.

to porphyric (matrix-supported). The observed microfeatures are moderately to well-developed: circular arrangement of grains (b) and rounded vesicles (c), a core redox nodule (d), vertical grains, grain infilling (f) and coatings.

#### 4. CONCLUSIONS

Fabric analysis reveals some common characteristics of the slope deposits, mainly in what concerns to the clear modal class coinciding with slope aspect. At São Gabriel Unit b (Fig. 3-A) a small number of clasts shows a random dip direction, suggesting that the genesis can be not only associated to run-off but also to creep and sliding of the debris (Bertran *et al.* 1997). The fabric at Souto do Concelho (Fig. 3-B) lower unit suggests solifluction, typical of lobe fronts. Fabrics of Unit 2 at Penhas da Saúde (Fig. 3-C) shows characteristics frequently found in solifluction deposits, but also detected on occasional debris flows deposits.

Micromorphology showed to be a useful technique in the analysis of these sediments, through a systematic description of the characteristics of the microfeatures. The analysis of the microscopic structures suggests a good diagnosis at the two studied slopes. The São Gabriel thin section (Fig. 4-A) illustrate a normal graded bedding of stream-laid sediments and a silty matrix forming bridges and irregular coatings between and around grains, suggesting that runoff processes are responsible for the formation of this unit (Texier & Meireles 2003). The thin section from Souto do Concelho (Fig. 4-B) shows: rounded vesicles which are associated mechanical stress and internal deformation (Todisco & Bhiry 2008); a core redox nodule indicating disturbance and transport; and vertical grains related to frost heave (Van Vliet-Lanoë 2010). These characteristics are strongly related to solifluction.

#### REFERENCES

- Bertran P., Héту B., Texier J.P. & Van Steijn, H.** 1997. Fabric characteristics of subaerial slope deposits. *Sedimentology* 44 : 1-16.
- Dewolf. Y. & Bourrié G.** 2008. *Les Formations Superficielles. Genèse-Typologie-Classification. Paysages et Environnements. Ressources et Risques.* Paris: Ellipses, 798 pp.
- Hubbard B. & Glasser L.** 2005. *Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology.* Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 414 pp.
- Millar S.** 2005. Fabric variability associated with periglacial mass-wasting at Eagle Summit, Alaska. *Geomorphology* 72: 222-237.
- Schaefer C., Simas F., Gilkes R., Mathison C., Costa L. & Albuquerque M.** 2008. Micromorphology and microchemistry of selected Cryosols from maritime Antarctica. *Geoderma* 144: 104-115.
- Stoops G., Marcelino V. & Mees F.** 2010. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths.* Amsterdam: Elsevier, 753 pp.
- Texier J.P. & Meireles J.** 2003. Relict mountain slope deposits of northern Portugal: facies, sedimentogenesis and environmental implications. *Journal of Quaternary Science* 18 (2): 133-150.
- Todisco D. & Bhiry N.** 2008. Micromorphology of periglacial sediments from the Tayara site, Qikirtaq Island, Nunavik (Canada). *Catena* 76:1-21.

**Van Steijn H.V., Boelhouwers J., Harris S. & Héту B.** 2002. Recent research on the nature, origin and climatic relations of blocky and stratified slope deposits. *Progress in Physical Geography* 24 (4): 551-575.

**Van Vliet-Lanoë B.** 2010. *Frost Action*. In: G. Stoops, V. Marcelino & F. Mees (eds.) *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Amsterdam: Elsevier, 753 pp.

**Vieira G.** 2004. *Geomorfologia dos Planaltos e altos vales da Serra da Estrela: Ambientes frios do Plis-tocénico superior e dinâmica actual*. Lisboa: Universidade de Lisboa. Dissertação de Doutoramento.

# ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE WESTERNMOST CANTABRIAN RANGE DURING THE POSTGLACIAL PERIOD: THE PENA VELOSA (MUNIELLOS, ASTURIAS) POLLEN RECORD

C. Muñoz Sobrino<sup>1</sup>, F. J. Suárez Pérez<sup>2</sup>, H. S. Nava Fernández<sup>2</sup>, M. A. Fernández Casado<sup>2</sup>, L. Gómez-Orellana<sup>3</sup>, M. A. Rodríguez-Gutián<sup>4</sup>,  
J. A. Fernández Prieto<sup>2</sup> & P. Ramil-Rego<sup>3</sup>

**Abstract:** The westernmost corner of the Cantabrian Range (NW Spain) is a territory of good possibilities for palaeoecological reconstructions. Nevertheless, vegetation dynamics in this area is still imprecise, mainly because the available environmental data are scarce, particularly those regarding its northern façade. New pollen and radiocarbon data obtained in the Pena Velosa peatbog, located at 1350 m above sea level (asl), on the northern slope of the Valdebueyes peak (Biosphere Reserve of Muniellos), support the notion that pinewoods had a relevant role in this region during most of the Late-Glacial and Early-Holocene. During this interval, several well-established global climatic events may be recognised (namely, the Oldest Dryas, Younger Dryas, GH11.2-Event, GH8.2-Event), some of them being described for the first time for the seaward slopes of this mountains. Subsequently, the coniferous vegetation retreated, and pinewoods were definitively removed from this area throughout the Holocene. Such regional dynamics of *Pinus* might be attributed to pinewoods persisting in the Cantabrian highlands during the coldest stages of the Late-Glacial, where they could find a suitable combination of temperature and humidity, but being displaced during the warmer stages, when the deciduous forests shifted upslope. Alternatively, a number of hiatuses have been identified along the Mid-Holocene and Recent Holocene in the new record, which might correspond with other intercalated rhexistasic/drought events. Similar episodes have also been identified in other nearby sites, suggesting a regional character. Therefore, they might be, at least in part, climatically induced.

**Key-words:** Palaeoecology; Pollen; Western Cantabrian Range; Holocene.

**Resumo:** O extremo mais ocidental da cordilheira Cantábrica (NW de Espanha) é um território com boas possibilidades para reconstruções paleoecológicas. No entanto, a dinâmica da vegetação nesta área é ainda imprecisa, principalmente porque os dados ambientais fiáveis são escassos, em particular os respeitantes à fachada virada a norte. Novos dados polínicos e de radiocarbono obtidos na turfeira de Pena Velosa, localizada a 1350 m de altitude, na vertente norte do pico de Valdebueyes (Reserva da Bio-

---

<sup>1</sup> Departamento de Bioloxía Vexetal e Ciencias do Solo. Facultade de Bioloxía. Universidade de Vigo. Campus de Marcosende s/n. 36310 Vigo. Galicia, Spain. E-mail: bvcastor@uvigo.es

<sup>2</sup> Departamento de Biología, Organismos y Sistemas. Area de Botánica. Universidad de Oviedo. C/ Cate-drático Rodrigo Uría s/n. 33071 Oviedo. Asturias, Spain.

<sup>3</sup> GI-1934-TB. Laboratorio de Botánica & Bioxeografía. IBADER. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo. Galicia, Spain.

<sup>4</sup> Departamento de Producción Vexetal. Escola Politécnica Superior. Universidade de Santiago de Compos-tela. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo. Galicia, Spain.



sfera de Muniellos) sugerem que os pinhais desempenharam um importante papel nesta região durante a maior parte do final do Glacial e início do Holocénico. Durante este intervalo, foram reconhecidos vários eventos climáticos globais bem determinados (nomeadamente, Dryas Antigo, Dryas Recente, evento GH11.2, evento GH8.2), sendo alguns deles descritos pela primeira vez nas vertentes expostas ao mar destas montanhas. Em seguida, a vegetação de coníferas recuou e os pinhais foram definitivamente removidos da região ao longo do Holocénico. Esta dinâmica regional de *Pinus* devia ser atribuída a pinhais persistindo nas terras altas cantábricas durante os episódios mais frios do Glacial final, onde podiam encontrar uma combinação favorável de temperatura e humidade, sendo todavia deslocados durante os episódios mais quentes, quando as florestas caducifólias subiam as encostas. Em alternância, foram identificados, no novo registo, numerosos hiatos ao longo do Holocénico Médio e Holocénico Recente, que devem corresponder a outros eventos rexistásicos/secos intercalados. Episódios semelhantes têm sido reconhecidos noutros locais próximos, sugerindo carácter regional. Portanto, deviam ser, pelo menos em parte, climaticamente induzidos.

**Palavras-chave:** Paleoecologia; Pólen.; Cordilheira Cantábrica Ocidental; Holocénico.

## 1. INTRODUCTION

NW Iberia (Fig. 1) is a transition area between territories where the climate may be typically Atlantic or Mediterranean, with continental tendencies appearing in the inner slopes and depressions. This climatic diversity is a consequence of the main environmental parameters (i.e., precipitation, temperature and distance from the sea, the oceanic or continental character) showing a notable gradualness in the area, with the rainfall and the oceanic influence generally decreasing from NW to SE, but mean temperature rising in this course. Moreover, the abrupt orography also introduces a number of local variants (Rodríguez Gutiérrez & Ramil Rego 2008).

This intrinsic complexity may be taken into account for palaeoenvironmental reconstructions in the area, even more so if it is assumed that some territories have still been poorly studied, and that some regional/local conclusions cannot be extrapolated to other different zones (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a). Particularly, the westernmost extreme of the Cantabrian Range is an area of excellent possibilities where the postglacial dynamics is still not well known. Major lack stem from most of the available sequences were obtained at the southern slopes or nearby potential sources of limestone or Stephanian dead carbon (e.g., Allen *et al.* 1996, Jalut *et al.* 2010). Therefore, a number of key points remain unclear, particularly those related to environmental dynamics in the northern façade.

The systematic recognition of a series of events supported by helpful independent proxies (e.g., isotopic data, marine records, etc.) may be a functional way to correlate pollen sequences in a large and dissimilar area such as this. Furthermore, this method allows that intra-regional migrations or un-coupled vegetation changes occurring during the postglacial period were detected (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a). The existence of this spatial component might assist in better explaining the palaeoenvironmental characteristics of each territory and the unequal human influence on the landscape occurring during the Holocene. In this regard, to be able to precise/extent the interval of palaeobotanical and chronological data available in the Cantabrian highlands (see

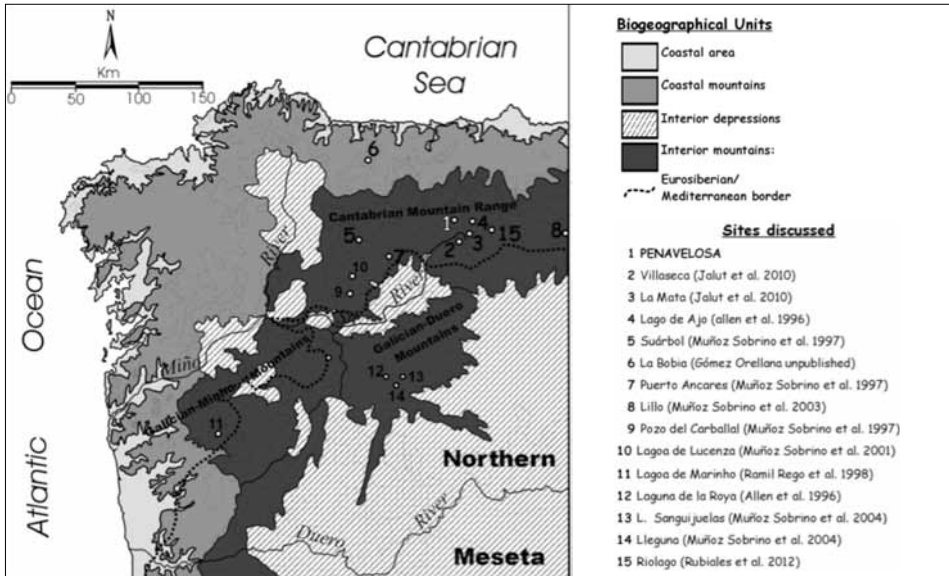


Fig. 1 – Main biogeographical units in NW Iberia and localization of the sites discussed.

Ramil Rego *et al.* 1998; Muñoz Sobrino *et al.* 2003, 2005, 2007a; Rubiales *et al.* 2012) will enhance its comparison with other regional sites (see Fig.1). Thus, it may contribute to deciphering the main environmental changes affecting the whole NW Iberia during the postglacial period and, particularly, their incidence in the westernmost extreme of the Cantabrian Range.

## 2. STUDY AREA

The new pollen site discussed here is located in the western part of the Cantabrian Range, the most important mountain chain in north-western Iberia, which straddles the boundary between the current Eurosiberian and Mediterranean biogeographical regions. The range extends over *ca.* 350 km in a prevailing east-west direction, parallel to the sea, but becomes more complex to the west. There, it divides towards the W and SW into two different mountain extensions surrounding the Bierzo depression: the Galician-Duero Mountains to the south and east; and the Ancares and Courel Mountains to the north and west (Fig. 1).

Geology, topography and climate make this area ecologically diverse. Palaeozoic siliceous bedrock predominates (slate, sandstone, schist and quartzite), although limestone is also present (and even dominates locally), with a physiography ranging from undulating hilly lands to deep valleys and sharp relief that are widely found. Peña Ubiña (2417 m asl) is the highest peak in the western half of the Cantabrian range, with a few other summits peaking over 2000 m. Abundant glacial landforms are over 1000 m in altitude, due to the influence of oceanic winds that have resulted in greater snowfall rates during colder stages of the Pleistocene (e.g., Alonso 1998).

Climatic differences between northern and southern slopes of the Cantabrian Mountains have had a great impact on the local paleoecology (Ramil-Rego *et al.* 1998). The summit determines a sharp divide in the amount and distribution of precipitation, mostly due to a rain shadow effect. These differences cause dramatic contrasts between north and south slopes: i.e., over 1650 mm in the Atlantic façade and ca. 560 mm in the León area. The variability in precipitation also corresponds to strong variations in the duration of the frost season and in the water availability during the summer. Furthermore, there is little or no water stress in the northern slopes, while summer drought is generally severe in the southern side. Furthermore, the differences of insolation between the two slopes intensify this dissimilarity. In the western Cantabrian Range, the current tree line is consistently lower in the northern façade (Muñoz Sobrino *et al.* 2009), where it is stated below 1450/1650 m asl, and higher in the southern slopes (1700/1850 m asl).

At a regional scale, modern vegetation clearly responds to the climatic gradient of oceanicity-continentality. Today, a mild, humid climate favours the development of deciduous forests, dominated by *Quercus robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. x rosacea* Bechst., *Fagus sylvatica* L. (which are scarce in the western part of the region) and *Betula pubescens* Erhr. on the upper slopes. Fluvial gorges, slope scree deposits and deep soils are covered by diverse mixed forests (including *Fraxinus excelsior* L., *Corylus avellana* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Ulmus glabra* Huds., *Tilia platyphyllos* Scop. and others). By contrast, on the inner and southern slopes, other types of woodlands are found, mostly dominated by *Quercus pyrenaica* Willd., patches of *Q. faginea* Lam., *Juniperus thurifera* L. and, on both slopes, shrub communities including Ericaceae and Fabaceae (*Genista*, *Cytisus* and others) within a well-developed Poaceae herbaceous communities under nival-periglacial conditions near the summits. Pine forests are almost absent from the natural vegetation of the Cantabrian Mountains. Small, natural-looking stands of *Pinus sylvestris* L. only exist in the headwaters of the Porma and Carrión Rivers, of which the Lillo populations have the largest and best specimens (García Antón *et al.* 1997; Muñoz Sobrino *et al.* 2003).

### 3. THE SITE

The site of Pena Velosa (Muniellos, Asturias), forming part of the Biosphere Reserve of Muniellos, is located in the western corner of the Cantabrian Range. This is a small lake (0.13 ha) created in a basin of glacial origin, at 1350 m asl, on the northern slope of the Valdebueyes peak (1507 m). The current vegetation around the site consists of birch forests with rowan (*Sorbus aucuparia* L.), characteristic of the supratemperate (altimontane) belt (Fernández Prieto & Bueno 1996), shrublands (*Erica*, Fabaceae), peatbog vegetation, and herbaceous *Nardus stricta* L. grasslands. Furthermore, vegetation appears associated with the abundant periglacial screes surrounding the site, and also with the rocky outcrops.

#### 4. MATERIAL AND METHODS

The core (195 cm depth) was obtained using a Russian corer (Moore *et al.* 1991), the sampling point being in the *Sphagnum* peatbog formed at the eastern margin of the pool. 39 subsamples of 3 cm<sup>3</sup> were taken at regular 5 cm intervals for pollen analysis. They were processed and prepared using standard methods, which included an initial sieving through a 150 µm mesh sieve and potassium hydroxide (10%) treatment (Moore *et al.* 1991).

The chronology of the core was primarily supported by three AMS radiocarbon dates determined on bulk sediment (Tab. 1). The <sup>14</sup>C dates were obtained in the Angstrom Laboratory (University of Uppsala, Sweden), and calibrated using the CALIB 6.0 software (Stuiver *et al.* 1986-2010) and the INTCAL09 calibration curve (Reimer *et al.* 2009). The chronology of the most recent horizons (Fig. 2) is based on the same combination of pollen markers and historical information (Tab.1) previously used by Muñoz Sobrino *et al.* (2007b).

**Tab. 1** – Chronological benchmarks using pollen criteria for to establish the relative chronology upper levels, and radiocarbon dates for the deepest 120 cm

Depth (cm)	Age 14C BP	Age cal. yr BP	Pollen event	Probability distribution 95.4 (2 Sigma)
10	1650	200	<i>Pinus</i> cultivation since 17th century	---
55	1100	850	<i>Castanea</i> cultivation since 12th century	---
60	2960±55	2955 – 3266	---	0.973
125	9470±100	10495-11139	---	0.997
180	12055±115	13601-14219	---	1.000

More than 250 pollen grains were counted at each of the 39 levels, with percentages calculated on the basis of a terrestrial pollen sum. Percentages of aquatic taxa and percentages of ferns and mosses spores were calculated on the basis of the total identified pollen and spores sum. Percentages of other non-pollen palynomorphs (NPP), mainly the colonies of the green algae *Pediastrum* that were very abundant at different levels, were represented on the basis of the total identified remains sum. The TILIA 1.7.14 programme (Grimm 1990-2011) was used for processing the data and preparing diagram. The pollen record was divided into 9 local pollen assemblages zones (LPAZ) using a Constrained Incremental Sum of Squares (CONISS) cluster analysis (Fig. 3).

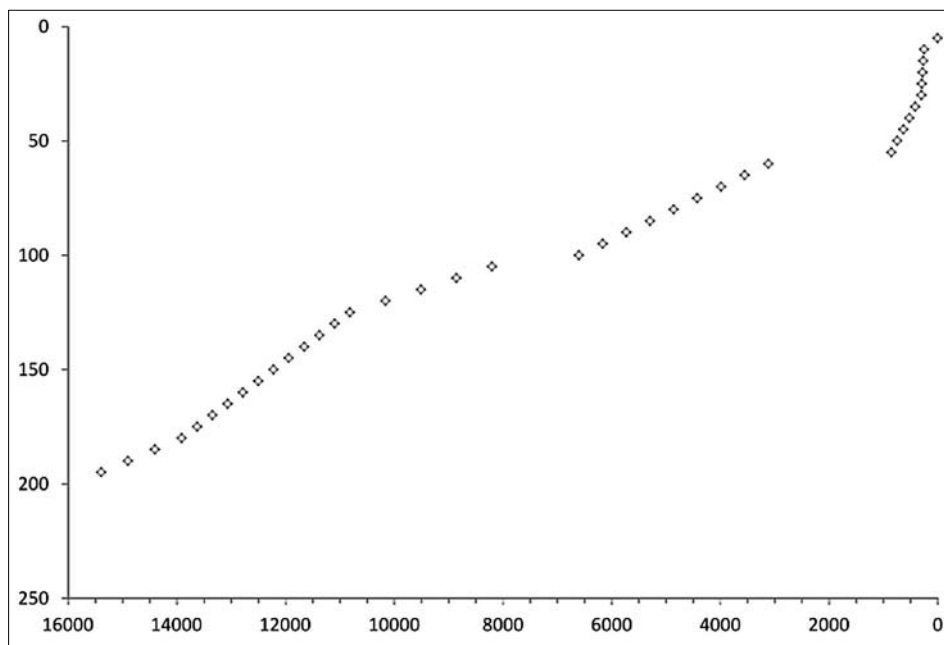


Fig. 2 – Depth/Age curve for all the samples analysed in Pena Velosa, following the criteria showed in Tab. 1. Depth represented in cm; Age in cal. yr BP.

## 5. RESULTS

### 5.1. Lithology

From the top to the base, the first 15 cm of the core corresponds with living or unhumified *Sphagnum* remains. Below, a level of 90 cm of humified peat exists, which is overlying a second layer (40 cm) of well-humified peat, also characterized by the abundance of wood macro-remains. In this second cycle of peat, a thin level richer in detrital materials appeared at 132 cm depth. The deepest 50 cm mainly corresponds with fine humified gyttja, but eventually they are intercalated some layers richer in sand and mid-size gravels (Fig. 3).

### 5.2. Chronology

Radiocarbon dating (Tab.1) indicates that the sediments from the Pena Velosa peatbog may range in age from *ca.* 15,000 cal. yr BP at 195 cm depth to *ca.* 8500 cal yr BP at 110 cm (Fig.3). At this point, several facts strongly suggest the existence of a hiatus: i.e., the resulting anomalous rates of sedimentation (Fig. 3), the abrupt changes observed in the lithology, and the sudden variations in the composition of the pollen assemblages (see below). Also, according to the radiocarbon dates, the section corresponding to the upper 60 cm may be younger than 3100 cal. yr BP. Additionally some pollen events have been correlated with contrasted historical data in order to enhance

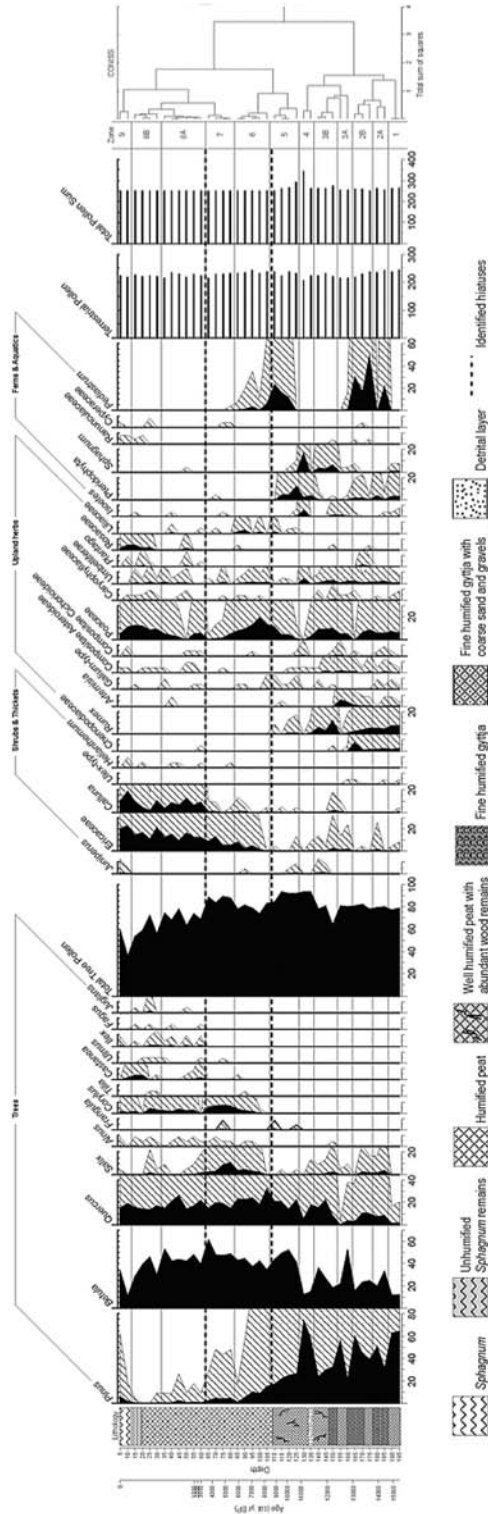


Fig. 3 – Lithology and percentage pollen diagram (selected taxa only) from the Pena Velosa (Muniellos, Asturias, 1350 m asl). Hatching denotes 10 x magnification of the percentage values. Dash lines represent the two sedimentary gaps described in the text.

the chronology of the most modern assemblages (Tab.1). In view of the fact that the sedimentation rates deduced using these chronological benchmarks become erratic, it is proposed here that another gap may exist over the last three millennia (Fig. 3).

### 5.3. Pollen analysis

The 9 LPAZs that were identified are described below, from base to top, some of them divided into subzones (Tab. 2, Fig. 3).

**Tab. 2** – Main vegetation changes during the last 15000 cal. yr BP in the surroundings of Penavelosa

Age cal. yr BP	Event	Pollen zone	Main vegetation changes
200		9	Tree minima. Modern repopulations with pines
350	Late Holocene	8B	AP retreat. Modern repopulations with chestnut
<850		8A	Expansion of <i>Calluna</i> . Mediaeval repopulations with <i>Castanea</i>
<8200-3000	Mid-Holocene	7	Maximum development of <i>Betula</i> , <i>Salix</i> and <i>Corylus</i> . <i>Erica</i> increases
		6	Most of the regional pinewoods decay. Mixed deciduous forest prevailing
10,900-8200	Early Holocene	5	Pinewoods retreating. Hygrophilous and mesophilous forests expand
11,200-10,900	GH11.2 Event	4	Regional pinewoods overrepresented
11,700-11,200	Early Holocene	3B	Mixed deciduous forests begin to expand
12,600-11,700	Younger Dryas	3A	Local heliophilous/hygrophilous birch overrepresented. <i>Artemisia</i> increases
14,800-12,600	LG Interstadial	2	Increase of deciduous trees and local vegetation
>14,800	Oldest Dryas	1	Local vegetation scarce. Pinewoods overrepresented

**LPAZ-1 (185-195 cm):** this first zone is characterized by the domain of *Pinus* (60%) and the low presence of deciduous trees (*Betula*, *Quercus*). Furthermore, noticeable percentages of heliophilous/cryophilous herbs (*Rumex*, Compositae, Poaceae) and ferns (Pteridophyta) may be appreciated, with a lower evidence of cryoxerics (Chenopodiaceae, *Artemisia*) and the scant presence of local hygrophilous/aquatic vegetation.

**LPAZ-2 (160-185 cm):** deciduous trees increase throughout this second zone, mainly *Betula* (30%), but also *Quercus* (10%) and *Salix* (2%). Meanwhile, *Pinus* percentages retreat. Besides, Ericaceae and the green algae *Pediastrum* notably increase in the first subzone LPAZ-2a (185-175 cm). Subsequently, *Pediastrum* reaches its maximum in the subzone LPAZ-2b (175-160 cm), where other new hygrophilous/aquatic taxa (Ranunculaceae, Cyperaceae) appear for the first time, although Poaceae retreat.

**LPAZ-3 (135-160 cm):** this entire zone is characterized by the highest recorded percentages of typically cryoxerophilous taxa and a moderate fall in the total tree pollen percentages. In the first subzone LPAZ-3a (160-150 cm), noticeable retreats of

*Pinus* (<30%) and the mesophilous broadleaved trees (*Quercus*, *Salix*) are recorded. Nevertheless, *Betula* peaks over 50%, a species that may be considered heliophilous and cold tolerant (Rubiales *et al.* 2012). Furthermore, the retreat of the previously developed hygrophilous and aquatic forms (*Pediastrum*, Ranunculaceae, Cyperaceae) and the highest continuous presence of a number of cryoxeric taxa (namely, *Artemisia* and other Compositae, Chenopodiaceae, *Plantago*, Caryophyllaceae, or Monolete-type spores) are also recorded in this subzone, all of them including plants able to colonize barren screes and rocky habitats. Deciduous forest (*Quercus*, *Salix*, *Alnus*) recovers in the subsequent subzone LPAZ-3b (135-150 cm); meanwhile, other heliophilous trees (*Pinus*, *Betula*) retreat, and new increases are recorded of upland herbs (*Rumex*, Poaceae), ferns and mosses (Trileta-type).

**LPAZ-4 (125-135 cm):** this pollen zone, which corresponds with the layer of detrital materials described above, represents the maxima values of *Pinus* (70%) recorded in the profile; and therefore, also the highest values of total tree pollen (90%) are found in the Pena Velosa pollen record. Nevertheless, most of the broadleaved trees (*Betula*, *Quercus*, *Salix*), shrubs (*Juniperus*, Ericaceae), and herbs (*Galium*-type, *Rumex*, Poaceae) retreat (or even disappear) at this point. Alternatively, only minor increases of Asteroideae and Umbelliferae, occur, but the highest representation of ferns and mosses (Monolete-type, Pteridophyta, Trilete-type) is also found.

**LPAZ-5 (105-125 cm):** *Pinus* values fall below 30% in this zone. Nevertheless, total tree pollen percentages remain very high (90%), in view of the fact that *Betula* expands (50%) and also that other tree taxa characteristics of mesophilous forest (*Quercus*, *Frangula*) increase. Certain shrubs (*Calluna*), herbs (Poaceae, *Galium*-type, Liliaceae), ferns (Pteridophyta) and green algae (*Pediastrum*) also increase. These pollen assemblages suggest the surroundings of the site being colonized by birch forest, with the local pollen productivity increasing, and the mesophilous forest expanding upslope from the lowlands.

**LPAZ-6 (80-105 cm):** pollen spectra reveal a clear change at this point. As regards the tree taxa, this zone begins with a peak of *Quercus* (30%) that subsequently holds about 20%. Meanwhile, *Betula* oscillated between 30-40% throughout this zone, with *Pinus* gradually decreasing to below 20%. Furthermore, they are some other remarkable facts, i.e., the notable increase of *Salix*, the sudden irruption in the pollen profile of other deciduous trees (*Corylus*, *Alnus*), and the appearance of the first pollen evidences of other mesothermophilous trees such as *Castanea* and *Tilia*. Nevertheless, total tree pollen percentages are relatively low in this zone (about 70%). In this connection, the expansion of Ericaceae may be highlighted, which also begins at the base of this zone, and the maximum development of Poaceae (20%) recorded throughout the profile. Furthermore, the percentages of the green algae *Pediastrum* notably decrease in this zone, which suggests that a reduction of the water table occurred, perhaps due to the partial silting of the lake basin.

**LPAZ-7 (60-80 cm):** this zone represents a new peak of total tree pollen in the profile. *Salix* (10%) and *Corylus* (>5%) reach their maximum development in the



earlier assemblages, but *Betula* (60%) peaks at the top of this zone. Meanwhile, main herbaceous taxa (Poaceae, Umbelliferae, Caryophyllaceae, Liliaceae) and aquatics (*Pediastrum*) retreat.

**LPAZ-8 (10-60 cm):** this reflects the course of deforestation in the area. Total tree pollen drops below 60% in subzone LPAZ-8a (30-60 cm), mainly due to the falls of *Betula* (30%) and *Salix*. Furthermore, several major changes in pollen spectra may be described from the base of this zone: namely, the apparent increase of *Castanea*, which seems to be linked to the appearance of other broadleaved mesothermophilous trees (*Ilex*, *Fagus*, *Juglans*), the abrupt expansion of *Calluna*, or the new increase of Poaceae. In the subsequent subzone LPAZ-8b the maximum development of *Ulmus*, *Tilia*, *Juglans* and *Castanea* is recorded, but the total tree pollen drops below 50%. Parallel to this, Poaceae reach a new relative maximum (20%), and likewise Rosaceae and several hygrophilous taxa (*Salix*, Ranunculaceae, Cyperaceae) increase.

**LPAZ-9 (0-10 cm):** this latter zone reflects the total tree pollen minimum (<40%) recorded in the diagram, which coincides with the maximum values recorded for *Calluna* (20%), and the pollen evidence of the recent afforestation activities with both chestnuts and pines (Rubiales *et al.* 2012).

## 6. DISCUSSION

### 6.1. The Late-Glacial Period in the western Cantabrian Range highlands

#### Upper Würm and Oldest Dryas (LPAZ-1: > 14, 800 cal. yr BP)

Evidence from the Greenland ice cores suggests that global cooling conditions prevailed over the eastern North Atlantic between 16,700–15,000 cal. yr BP (Vinther *et al.* 2006; Rasmussen *et al.* 2006); and also that the period 15,400–14,600 cal. yr BP, also known as the *Oldest Dryas*, was particularly arid (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a). In this scenario, the main environmental limitations for the persistence of woodlands in the Cantabrian Range may be low temperatures and dryness. Even so, significant differences between both slopes are expected, due to the barrier effect resulting from the east-west disposition of the Cantabrian Range: i.e., mean temperatures might be particularly low in the northern highlands, and the aridness more severe in the southern lowlands. Accordingly, at the end of the last glacial cycle, it is expected that most of the demanding tree species had persisted in this region on the seaward faces, where temperature and precipitation were sufficient at lower altitudes (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a).

In the case of coniferous trees, in the Courel Mountains (Lagoa de Lucenza, Fig. 1), it has been proposed that pines keep on mid-slope positions between 16,600–15,200 cal. yr BP, but that they retreat during the subsequent drier period, dated at 15,400 cal BP; and, finally, they almost disappear from this region at the beginning of the Holocene (Muñoz Sobrino *et al.* 2001, 2007a). Contrarily, some other higher and more interior mountains could have acted as refuges for *Pinus* during the Late-Glacial and Early Holocene (e.g. the Galician Duero Mountains in Fig. 1, see Allen *et al.* 1996;

Muñoz Sobrino *et al.* 2004, 2007a). In this line, the pollen assemblages that may be chronologically attributable to the cold/dry *Oldest Dryas* event in Pena Velosa (LPAZ-1) also reveal very high percentages of pine. However, other herbaceous taxa and ferns are also consistently recorded at the same levels, all of them corresponding with cryophilous vegetation living in altimontane/subalpine rocky habitats. This composition of the pollen assemblages may indicate that the local pollen input was very low at this moment; and therefore, that the regional pinewoods contribution becomes overrepresented. In this connection, a number of pine macrofossils have been recently found and dated in the southern highlands of the Western Cantabrian Range, rising to a height of 1750 m, which supports that pinewoods were persisting in this region at the end of the Late-Glacial period (Rubiales *et al.* 2012).

### **Late-Glacial Interstadial (LPAZ-2: 14,800-12,600 cal. yr BP)**

After the *Oldest Dryas*, the isotopic records of Greenland reflect a succession of relatively warmer stages that might be dated as a whole between 14,800–12,600 cal. yr BP (Vinther *et al.* 2006; Rasmussen *et al.* 2006). In northwest Iberia, the same period may be globally understood as an interval of tree succession (interstadial), but data suggesting climatic improvement in its first half (14,800–13,400 cal. yr BP); and after 13,400 cal. yr BP, a progressive deterioration that was to conclude in the hardest stages of the *Younger Dryas* (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a).

In the Galician-Minho Mountains (Fig. 1), an initial increase in deciduous *Quercus* is dated around 14,300 cal. yr BP in Lagoa de Marinho (Ramil Rego *et al.* 1998). No other pollen sequence from northwest Iberia shows, such an early spread of deciduous woods during the Late-glacial Interstadial, and this has been interpreted as evidence that climatically demanding deciduous vegetation survived at the end of the last glacial cycle at the seaward side of the main mountain barriers (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a). Oak percentages retreat in Lagoa de Marinho after 13,000 cal. yr BP, but a strong expansion of *Pinus* is recorded at this site between 13,000–12,400 cal. yr BP (Ramil Rego *et al.* 1998). Furthermore, the slight oscillation seen in Greenland around 14,200–13,800 cal. yr BP (the *Older Dryas*, see Hoek 1997) is well synchronised with minor retreats of *Pinus* detected, at different mountain sites from NW Iberia (see Muñoz Sobrino *et al.* 2007a). Even so, this event does not seem to have caused noticeable changes in the regional landscapes, and even then only in the more sensitive localities, in sites close to the tree limit and with markedly oceanic influence where slight pollen oscillations may be recognised (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a). Accordingly, pollen data from Pena Velosa (Fig. 3) confirm a progressive improvement between 14,500–13,400 cal. yr BP affecting the highlands of the western Cantabrian Range, with a number of deciduous trees shifting upslope during the warmer stage of the Late-glacial interstadial, and with the local vegetation in the pool also increasing. Nevertheless, and even where this locality may be potentially sensitive to minor climatic reversals, the local occurrence of the *Older Dryas* is not clearly identified, perhaps because a higher resolution in the pollen analysis would be required.

### **Younger Dryas (LPAZ-3: 12,600–11,700 cal. yr BP)**

The progressive climatic deterioration observed in Greenland between 13,400–11,700 cal. yr BP (Vinther *et al.* 2006; Rasmussen *et al.* 2006), strongly affected most of the northwest Iberian mountains, where landscapes underwent noticeable changes, which can be seen as perceptible variations in the distribution of the vegetation. These modifications were especially intense during the cold and drier interval 12,600–11,700 cal. yr BP, which could be associated with the classical *Younger Dryas*. Noticeable increases in Poaceae are recorded at the more oceanic sites between 13,400–11,700 cal. yr BP. Furthermore, minor increases in *Artemisia* and other xerophilous are also detected at the westernmost upland sites from NW Iberia, between 12,600–11,700 cal. yr BP; but usually, peaks are lower than those recorded in the same sites before the Late-glacial Interstadial (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a).

In the particular case of Pena Velosa (Fig. 3), it might be considered that evidences of cryophilous vegetation contradict this trend, in view of the fact that during the *Younger Dryas* they are higher than they were in LPAZ-1, interpreted above as the *Oldest Dryas*. Nevertheless, a notable peak of *Betula* (50%) is also recorded in Pena Velosa during this period (Fig. 3), probably as hygrophilous local vegetation. During the same period, other moderate increases to <20% in *Betula* are recorded in Serra do Gerês (Ramil Rego *et al.* 1998) and also at the waterlogged lowlands from Segundera Mountains (Muñoz Sobrino 2004, 2007a). This recalls the known pattern of a cold event associated with drought episodes, less severe than those recorded before the interstadial, affecting all of northwest Iberia. The incidence of these changes in temperature might be more intense in seaward uplands but, in contrast, drought was especially evident in the more continental territories, which could explain the noticeable peaks of *Artemisia* in the southern slopes and the inner lowlands (Muñoz Sobrino *et al.* 2004, 2007a). Therefore, during this period the pollen assemblages from Pena Velosa may reflect a combination of the different biocoenosis contributing: the open cryophilous vegetation being dominant in the northern Cantabrian highlands and the local presence (wood remains) of hygrophilous birch; but also the regional pinewoods retreating in terms of the previous interstadial phase and, hence, the greater development of more xeric grasslands in the southern expositions.

## **6.2. The Holocene in the western Cantabrian Range highlands**

### **Early Holocene (LPAZ-3b, LPAZ-4, LPAZ-5: 11,700–8200 cal. yr BP)**

The general climatic improvement and the elevation of the dew-point during the postglacial warming would contribute to reduce the rain-shadow effect over the landward slopes and the inland basins; and this new configuration could support the colonization by trees of any previously open landward landscapes. Evidence shows that the first recovery of *Quercus* started about 12,000–11,800 cal. yr BP in most of the mountains from NW Iberia (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a); and the same pattern is observed in our new site (Fig. 3). Nevertheless, many sites show minor *Quercus* declines during the

interval 11,400–11,200 cal. yr BP (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a), a regional dynamics that may be connected with the short cold GH11.2 event described in the Greenland proxy records (Vinther *et al.* 2006; Rasmussen *et al.* 2007).

The major influence of this period of relative instability in NW Iberia were some oscillations in the tree line, which eventually stunted the development of deciduous woods in certain mountain areas (Muñoz Sobrino *et al.* 2007a). This may be the case of the northern Cantabrian highlands where, at this time, higher proportions of detrital material exist in the sediment of Pena Velosa (Fig. 3) and pollen evidence suggests the lack of local vegetation, with the deciduous forest retreating downslope, and the regional pinewoods being overrepresented. The subsequent LPAZ-5 in Pena Velosa (Fig. 5) denotes a new ascension of the tree-line, and also higher local pollen productivity at the beginning of the Holocene Climatic Optimum (Muñoz Sobrino *et al.* 2005). Very similar pollen evidence may be found at this moment in other nearby sites (Fig. 1): e.g., Suárbor, in the Ancares Mountains (Muñoz Sobrino *et al.* 1997); and Lago de Ajo, at the southern side of the Cantabrian Range (Allen *et al.* 1996). Furthermore, all these three pollen sequences have in common the existence of notable hiatuses in the sedimentation at the end of this period, which might be related to the incidence in NW Iberia (Muñoz Sobrino *et al.* 2005, 2007a) of other short and cold event (GH8.2-Event) described in the Greenland Ice cores (Vinther *et al.* 2006; Rasmussen *et al.* 2007).

#### **Mid-Holocene (LPAZ-6, LPAZ-7: <8200-3000 ca. yr BP)**

At some time during the Mid-Holocene, the sedimentation starts again, both in the Pena Velosa peatbog (Fig. 3), and in Lago de Ajo (Allen *et al.* 1996). Furthermore, evidence from pollen assemblages reveals a quite similar dynamics in both sites: a first stage showing the highest peaks of *Quercus*, following a moderate retreat of the total tree pollen and the local aquatic vegetation becoming very abundant; and finally, a new total tree pollen maximum, where *Betula* peaks again, dated in both sites (and also in the nearby Ancares Mountains, see Muñoz Sobrino *et al.* 1997) about 3000 cal. yr BP. In Sierra da Bobia, a relief about 1000 m high and very close to the Cantabrian Sea (Fig. 1), a stage of waterlogging has been consistently dated about 5800 cal. yr BP. There, the sedimentation forming at this time buried a number of pre-existing *Quercus* woods, dated at 6600 cal. yr BP (Ramil Rego *et al.* 2000).

#### **Late Holocene (LPAZ-8, LPAZ-9, LPAZ-10: <1500 cal. yr BP)**

During the Recent Holocene, the deciduous forest retreated in most of the regions of NW Iberia (Ramil Rego *et al.* 1998) and also the last regional pinewoods declined (García-Antón *et al.* 1997; Muñoz Sobrino *et al.* 2003, 2004). Furthermore, sedimentary gaps are very commonly found in many peat bogs and lakes in the NW Cantabrian Mountains (e.g., Allen *et al.* 1996; Ramil Rego *et al.* 1998; Muñoz Sobrino *et al.* 1997, 2001, 2004); a number of them are most probably related to the regional incidence of the 2.8 Event cold period, but also anthropogenic causes may be involved (Muñoz Sobrino *et al.* 2009). In Sierra da

Bobia (Fig. 1), a gap existing between the two upper cycles of peat is dated at *ca.* 3000-1500 cal. yr BP (Ramil Rego *et al.* 2000). Subsequently, the pollen sequence starts again showing evidence of afforestation with chestnuts since mediaeval times (Manuel Valdés & Gil Sánchez 2002). Using these pollen criteria linked to the historical data and also the available radiocarbon dated in this region, a rather similar gap may be deduced between LPAZ-7 and LPAZ-8 in Pena Velosa (Fig. 3).

## 7. CONCLUSIONS

The new pollen and radiocarbon data obtained in the Pena Velosa peatbog may substantially enhance our present-day knowledge about the postglacial dynamics in the northern façade of the Cantabrian Range (Tab. 2). In fact, this may be considered to be the most complete pollen sequence recording the Late-Glacial period at the northern side of the Western Cantabrian Range.

In this context, several well-established global climatic events may be recognised (namely, the *Oldest Dryas*, *Younger Dryas*, GH11.2-Event), all of them being described here for the first time for the seaward slopes of this mountains. The fact that the major peaks of *Pinus* appear in the Pena Velosa diagram when pollen evidence of cryophilous vegetation is also more apparent (LPAZ-1, LPAZ-3a and LPAZ-4 in Fig. 3) may indicate the regional pinewoods being predominantly overrepresented when the local vegetation becomes scarcer, i.e., during the colder/drier periods of the Late-Glacial. Subsequently, the coniferous vegetation retreated, and pinewoods were definitively removed from this area throughout the Holocene. Such regional dynamics of *Pinus* might be attributed to pinewoods persisting in the Cantabrian highlands during the coldest stages of the Late-Glacial, where they could find a suitable combination of temperature and humidity, but being displaced during the warmer stages, when the deciduous forests shifted upslope. Alternatively, a number of hiatuses have been identified over the Mid-Holocene and Recent Holocene in the new record, which might correspond with other intercalated rhexistasic/drought events. These hiatuses have been dated from between *ca.* 8200->6600 cal. yr BP and *ca.* 3000-<850 cal. yr BP. Similar episodes have also been identified in other nearby sites, which suggests that they might have a regional (climatic) character. Respectively, we attribute them to the cold GH8.2 Event and the 2.8 Event (or Iron Age Cold Period).

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work is part of the project “Inventario y bases de datos sobre Biodiversidad de la RNI de Muniellos” that was supported during the years 2000 (SV-PA-00-01), 2001 (SV-PA-01-14) and 2002 (SV-PA-02-06) by the Consejería de Medio Ambiente, Principality of Asturias Government. Part of the data used in this work was obtained in projects funded by the Spanish Ministry of Education and Science Plan Nacional de I + D + I (2008–2011) CTM2009–13926-C02-01 and CTM2009-08158-E, and Xunta de Galicia 10MDS310020PR and 10MDS276025PR.

## REFERENCES

- Alonso M.V.** 1998. El glaciario en la comarca de Laciana y alrededores. Zona occidental de la Cordillera Cantábrica. In: A. Gómez Ortiz & A. Pérez Alberti (eds.) *El glaciario en las montañas españolas*. Servicio de Publicacións, Universidade de Santiago de Compostela: 139-160.
- Allen J.R.M., Huntley B. & Watts W.A.** 1996. The vegetation and climate of northwest Iberia over the last 1400 yr. *Journal of Quaternary Science* 11: 125-147.
- Fernández Prieto, J.A. & Bueno Sánchez, A.** 1996. *La Reserva Integral de Muniellos: flora y vegetación*. Cuadernos de Medio Ambiente. Naturaleza 1. Oviedo: Consejería de Agricultura, Principado de Asturias.
- García Antón M., Franco F., Maldonado J., Morla C. & Sainz H.** 1997. New data concerning the evolution of the vegetation in the Lillo pinewood (León, Spain). *Journal of Biogeography*, 24: 929-934.
- Grimm E.** 1990-2011. TILIA and TILIA.GRAPH: PC spreadsheets and graphics software for pollen data. *INQUA Commission for the Study of the Holocene Work Group Data-handling Methods. Newsletter* 4: 5-7.
- Hoek W.Z.** 1997. Late-glacial and early Holocene climatic events and chronology of vegetation development in the Netherlands. *Vegetation History and Archaeobotany* 6: 197-213.
- Jalut G., Turu I., Michel V., Dedoubat J.J., Otto T., Ezquerro J., Fontugne M., Belet J.M., Bonnet L., García de Celis A., Redondo-Vega J.M., Vidal-Romaní, J.R. & Santos L.** 2010. Palaeoenvironmental studies in NW Iberia (Cantabrian range): Vegetation history and synthetic approach of the last deglaciation phases in the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297: 330-350.
- Manuel Valdés C.M. & Gil Sánchez L.** 2002. *La transformación histórica del paisaje forestal de Galicia*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Moore, P.D., Webb, J.A. & Collinson Me.** 1991. *Pollen analysis*, 2nd edn. London: Blackwell
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P. & Rodríguez-Guitián M.,** 1997. Upland vegetation in the north-west Iberian Peninsula after the last glaciation: forest history and deforestation dynamics. *Vegetation History and Archaeobotany*, 6: 215-233.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P. & Gómez-Orellana L.** 2003. La vegetación postglacial en la vertiente meridional del Macizo del Mampodre (Sector Central de la Cordillera Cantábrica). *Polen* 13: 31-44.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P. & Rodríguez Guitián M.A.** 2001. Vegetation in the mountains of northwest Iberia during the last glacial-interglacial transition. *Vegetation History and Archaeobotany* 10: 7-21.
- Muñoz Sobrino C., Ramil Rego P. & Gómez Orellana L.** 2004. Vegetation of the Lago de Sanabria area (NW Iberia) since the end of the Pleistocene: a palaeoecological reconstruction on the basis of two new pollen sequences. *Vegetation History and Archaeobotany* 13: 1-22.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L. & Díaz Varela R.A.** 2005. Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas* 34: 381-400.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego, P. & Gómez-Orellana, L.** 2007a. Late Würm and early Holocene in the mountains of northwest Iberia: biostratigraphy, chronology and tree colonization. *Vegetation History and Archaeobotany* 16: 223-240.
- Muñoz Sobrino C., García-Gil S., Díez, J.B. & Iglesias, J.** 2007b. Palynological characterization of gassy sediments in the inner part of Ría de Vigo (NW Spain). New chronological and environmental data. *Geo-Marine Letters* 27: 289-302.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P., Gómez-Orellana L., Ferreiro da Costa J. & Díaz Varela R.A.** 2009. Climatic and human effects on the post-glacial dynamics of *Fagus sylvatica* L. in NW Iberia. *Plant Ecology* 203: 317-340.

- Ramil-Rego P., Muñoz Sobrino C., Rodríguez-Gutián M. & Gómez-Orellana, L.** 1998. Differences in the vegetation of the North Iberian Peninsula during the last 16,000 years. *Plant Ecology* 138: 41-62.
- Ramil-Rego P., Rodríguez Gutián M.A., Muñoz Sobrino C. & Gómez-Orellana L.** 2000. Some considerations about the postglacial history and recent distribution of *Fagus sylvatica* L. in the NW Iberian Peninsula. *Folia Geobotanica* 35: 241-271.
- Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M., Steffensen J.P., Vinther B.M., Clausen H.B., Siggaard-Andersen M.L., Johnsen S.J., Larsen L.B., Dahl-Jensen D., Bigler M., Röthlisberger R., Fischer H., Goto-Azuma K., Hansson M.E. & Ruth, U.** 2006. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research* 111:D06102. doi:10.1029/2005JD006079.
- Rasmussen S.O., Vinther B.M., Clausen H.B. & Andersen K.K.,** 2007. Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews* 26: 1907-1914
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac F.G., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., Van Der Plicht J. & Weyhenmeyer, C.E.** 2009. INTCAL 09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years Cal BP. *Radiocarbon* 51: 1111-1150.
- Rodríguez-Gutián M.A. & Ramil Rego P.** 2008. Fitogeografía de Galicia (NW Ibérico): análisis histórico y nueva propuesta corológica. *Recursos Rurais* 4: 19-50.
- Rubiales J.M., Ezquerra J., Muñoz Sobrino C., Génova M.M., Gil L., Ramil-Rego P. & Gómez Manzanque, F.** 2012. Holocene distribution of woody taxa at the westernmost limit of the Circumboreal/Mediterranean boundary: Evidence from wood remains. *Quaternary Science Reviews* 33: 74-86.
- Stuiver M., Reimer P.J. & Reimer, R.W.** 1986-2010: CALIB 6.0. <http://www.calib.qub.ac.uk/calib/>
- Vinther B.M., Clausen H.B., Johnsen S.J., Rasmussen S.O., Andersen K.K., Buchardt S.L., Dahl-Jensen D., Seierstad I.K., Siggaard-Andersen M.L., Steffensen J.P., Svensson A.M., Olsen J. & Heinemeier J.** 2006 A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. *Journal of Geophysical Research* 111: D13102. doi:10.1029/2005JD006921.

# REFÚGIOS PARA ÁRVORES TEMPERADAS CADUCIFÓLIAS NA ÁREA LITORAL DO NOROESTE IBÉRICO DURANTE O ÚLTIMO PERÍODO GLACIAR

Gómez-Orellana, L.<sup>1</sup>; Ramil-Rego, P.<sup>1</sup> & Muñoz Sobrino, C.<sup>2</sup>

**Resumo:** Analisa-se a existência de refúgios da flora arbórea no NO ibérico a partir dos dados paleobotânicos disponíveis para o último período glacial. A sequência disponível é comparada com outras obtidas em territórios do sudoeste europeu, considerados áreas de refúgio. Os dados, juntamente com a dinâmica arbórea durante o Holocénico, permitem afirmar que a maior parte da flora arbórea do território permaneceu refugiada, durante a glaciação de Würm, em pequenas zonas situadas em áreas de baixa altitude, próximas da costa, a partir das quais se expandiram durante o Tardiglacial e o Holocénico.

**Palavras-chave:** Pólen; Paleovegetação; Plistocénico final; Holocénico; Refúgios; NO Ibérico.

**Abstract:** *Refuges for temperate deciduous trees in the littoral area from NW Iberia during the last glacial period*

The palaeobotanical data about tree taxa in NW Iberia during the last glacial cycle are considered to discuss the possible existence of refugia in these territories. The sequences available are compared with those others existing in several areas from Southwestern Europe, commonly accepted as refugia for mesothermophilous flora. This comparison, together with the postglacial tree dynamics inferred for NW Iberia using palaeobotanical data, allow to affirming that most of the trees currently existing in NW Iberia have persisted here during the Würm, probably sheltered in relatively small areas from which they expanded along the postglacial period.

**Key-words:** Pollen; Palaeovegetation; Upper Pleistocene; Holocene; Refugia; Northwest Iberia.

## 1. INTRODUÇÃO

A atual distribuição da flora e das formações vegetais na Europa não se encontra determinada unicamente pelas atuais condições bióticas e abióticas. Pelo contrário, existe uma intensa influência dos factores históricos, tanto antrópicos como naturais, que tiveram um papel decisivo na configuração paisagística. Durante largos períodos, grande parte do continente esteve diretamente sob a influência de, ou inclusivamente coberto por, extensas massas de gelo. A presença destas condições climáticas drásticas determinou o desaparecimento regional de alguns dos taxa dominantes, durante os períodos não temperados, e impediu o desenvolvimento de grande parte das espécies que hoje em dia constituem as florestas zonais destes territórios.

---

<sup>1</sup> GI-1934-TB. Laboratorio de Botánica & Bioxeografía. IBADER. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n. 27002 Lugo.Galicia, Spain.

<sup>2</sup> Dept. Bioloxía Vexetal e Ciencias do Solo, Facultade de Ciencias, Universidade de Vigo, Campus de Marcosende s/n. E-36200 Vigo, Spain. email: luis.gomez-orellana@usc.es



Onde permaneceram as espécies arbóreas que hoje habitam as florestas temperadas da Europa Central e do Norte? Alguns autores sustentam ser errado pensar nas áreas de refúgio como territórios cobertos por extensas áreas arbóreas sendo que, na verdade, constituiriam pequenas áreas arbóreas instaladas em situações privilegiadas que favoreciam a sua sobrevivência ao longo de amplos períodos climaticamente adversos (Williset *al.* 2000).

A existência de áreas onde pudessem persistir pequenos bosquetes, independentemente da sua magnitude ou da densidade das populações presentes, seria crucial na hora de assegurar a sua continuidade ao longo dos interglaciares do Plistocénico e na atualidade, evitando assim a sua extinção no continente.

Tradicionalmente apontava-se a localização das áreas de refúgio dos elementos arbóreos mesófilos e termófilos para territórios montanhosos do sudoeste da Europa (Huntley & Birks 1983). Esta teoria apoia-se na existência de abundantes sequências polínicas, disponíveis no Sul da Europa, que provam que certas áreas meridionais, como os Balcãs, Grécia ou Itália, haviam sido importantes áreas de refúgio no passado. Não obstante, nos estudos clássicos o NO ibérico não foi considerado uma área de refúgio, principalmente devido à escassez de dados paleobotânicos. Na atualidade, a área de estudo apresenta uma importante riqueza de flora e fauna e maior biodiversidade que outros territórios atlânticos mais setentrionais. Nesta área localiza-se um importante conjunto de populações de fetos reliquiaes terciários (Salvo 1990; Quintanilla *et al.* 2002) e a população mais setentrional do taxon termófilo *Quercus lusitanica* (Castroviejo *et al.* 1990). Durante várias décadas, o principal problema na resolução das dúvidas sobre a persistência de taxa termófilos no NO ibérico foi a ausência de amplas sequências polínicas nos territórios de média e baixa altitude.

Ultimamente multiplicou-se o número de sequências polínicas que registam os últimos 18.000 anos tendo os dados obtidos permitido avaliar a dinâmica arbórea no NO ibérico durante o degelo e o Holocénico (Muñoz Sobrino 2001; Muñoz Sobrino *et al.* 2001, 2005, 2007, 2009; Ramil-Rego 1992; Ramil-Rego *et al.* 1998a, 1998b) e constatou-se que o aparecimento rápido de grande parte dos elementos arbóreos não se explica com a sua expansão a partir de territórios longínquos (Ramil-Rego *et al.* 1998b, 2000; Muñoz Sobrino 2001; Muñoz Sobrino *et al.* 2001, 2005, 2009). Recentemente, foram recuperados vários níveis orgânicos fossilizados que representam antigas zonas húmidas desenvolvidas no litoral do NO ibérico (Gómez-Orellana 2002; Gómez-Orellana *et al.* 2007). Estes sedimentos representam diversos períodos do último ciclo Glaciar-Interglaciar (120.000-10.000 BP), pelo que as análises polínicas aí realizadas constituem importante fonte de dados para avaliar a situação dos territórios de baixa altitude, próximos do litoral, durante o último ciclo glacial.

Esta grande diversidade de estudos paleoambientais permitiu constatar a existência de diferentes evoluções paleoambientais nas distintas áreas do território norte-ocidental da Península Ibérica. Na base destas dissimilaridades, registadas no conjunto das sequências, estabeleceu-se para o NO ibérico uma série de áreas paleobiogeográficas: territórios litorais; montanhas sublitorais; depressões interiores e áreas de

montanha (Ramil-Rego *et al.* 1996). Entre estas áreas, os territórios litorais definem-se como as zonas de baixa altitude próximas do oceano e constituem uma franja que se estende ao longo do mar, penetrando mais ou menos até ao interior em função da proximidade, face ao mar, das montanhas sublitorais. Caracterizam-se, também, pela sua maior termicidade e pela presença de uma elevada humidade ambiental.

## 2. DETECÇÃO DE ÁREAS DE REFÚGIO A PARTIR DE DADOS PALEOBOTÂNICOS

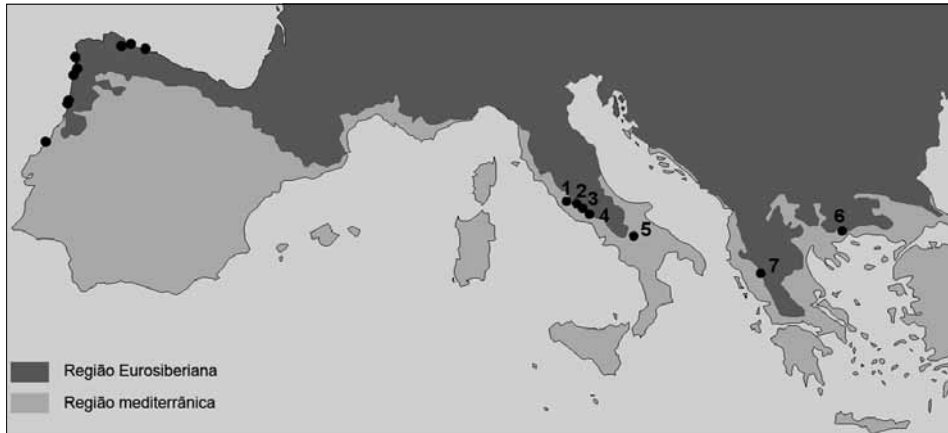
Os estudos relativos às dinâmicas polínicas sugerem que os taxa que não sobrevivem às condições glaciares se extinguem no território, descartando-se a hipótese de terem chegado populações vegetais aos refúgios, através da migração (Bennett *et al.* 1991; Birks & Line 1993; Willis 1994, 1996). Por isso, para que um território possa ser considerado área de refúgio para um taxon, deverá ter evidências da sua existência, no período interglacial precedente.

A avaliação, a partir das análises polínicas, da existência dessas áreas de refúgio, num espaço que cumpra ambas as condições, pode ser mais ou menos simples, em função das condições biogeográficas da região, da dinâmica climática, da densidade das populações nos refúgios ou dos fenómenos de competição entre espécies. A combinação destas variáveis determinará se a presença de um determinado elemento no território se traduz em incrementos significativos no seu espectro polínico ao longo de um período de melhoria climática.

Por outro lado, os registos isolados ou as baixas percentagens de um taxon podem ser problemáticos. Por vezes, registos isolados de um tipo polínico num diagrama são interpretados como transportes de longa distância. No entanto, esta explicação deve ser descartada para elementos arbóreos como *Ulmus*, *Acer*, *Carpinus*, *Tilia*, *Fraxinus* ou *Juglans* devido às suas escassas produções polínicas e à sua pequena capacidade de dispersão (Bradshaw 1981; Bennett *et al.* 1991; Willis *et al.* 2000).

Durante os períodos glaciares, a prevalência de vegetação de carácter aberto favorecia a deteção de pólenes de transporte a longa distância que, no entanto, era limitada pela escassa produção polínica dos elementos arbóreos mesófilos e termófilos, dificilmente detetáveis, inclusive, nas regiões nas quais se supõe a existência de refúgios (Willis 1994; Willis *et al.* 2000). Por outro lado, a intensa produção polínica nos interglaciares, que favorecia o transporte a longa distância, seria mascarada pela importância da chuva polínica local e regional das zonas de chegada, o que dificulta de forma marcante a deteção de contributos remotos, salvo em territórios com uma exígua cobertura vegetal.

As fases de melhoria climática marcariam a expansão da vegetação mesófila e termófila acantonada em áreas de refúgio. Deste modo, uma rápida resposta da vegetação, com incrementos significativos da presença arbórea, indicaria a provável presença de áreas de refúgio nas proximidades. Não obstante, a existência de vários taxa que entrariam em competição, uma vez iniciada a melhoria climática, levaria a que taxa



**Centro de Itália**

- 1. – Stracciaccappa (Follieri *et al.* 1984).
- 2. – Lago di Vico (Magrí & Sadori 1999).
- 3. – Lacaccione (Follieri *et al.* 1998).
- 4. – Valle di Castiglione (Follieri *et al.* 1998).

**Sul de Itália**

- 5. – Lago Grande di Monticchio (Watts *et al.* 1996).

**Balcãs**

- 6. – Tenaghi Phillipon (Wijmstra 1969).
- 7. – Ioannina (Tzedakis 1993).

**Fig. 1** – Localização das seqüências würmianas do NO ibérico e das seqüências polínicas analisadas na tab. 2. [NE ibérico: 1 – Pla de l’Estany (Burjacs & Casas 1990); SE ibérico: 2 – Padul (Pons & Reille 1988); Centro Itália: 3 – Valle di Castiglione (Follieri *et al.* 1998); 4 – Lacaccione (Follieri *et al.* 1998); 5 – Lago di Vico (Magrí & Sadori 1999); 6 – Stracciaccappa (Follieri *et al.* 1998); Sul Itália: 7 – Lago Grande di Monticchio (Watts *et al.* 1996); Balcãs: 8 – Tenaghi Phillipon (Wijmstra 1969); 9 – Ioannina (Tzedakis 1993)].

**Fig. 1** – Location of NW iberian peninsula würmian sequences and pollen sequences analyzed in Table 2. [NE Iberian Peninsula: 1- Pla de l’Estany (Burjacs i Casas 1990); SE Iberian Peninsula: 2 – Padul (Pons y Reille, 1988); Central Italy: 3 – Valle di Castiglione (Follieri *et al.* 1998); 4- Lacaccione (Follieri *et al.* 1998); 5- Lago di Vico (Magrí & Sadori 1999); 6 – Stracciaccappa (Follieri *et al.* 1998); Southern Italy: 7- Lago Grande di Monticchio (Watts *et al.* 1996); Balkans: 8 – Tenaghi Phillipon (Wijmstra 1969); 9 – Ioannina (Tzedakis 1993).

estabelecidos num território durante o período glacial pudessem não passar a dominar a vegetação arbórea nas fases em que o clima se tornava mais temperado, podendo inclusive permanecer como elementos minoritários, ficando a sua representação mascarada entre a chuva polínica dominante (Bennett 1985; Bennett *et al.* 1991; Willis 1994; Magri 1998; etc.).

### 3. O ÚLTIMO CICLO GLACIAR-INTERGLACIAR NO NO IBÉRICO

A seqüência paleoambiental obtida (Gómez-Orellana 2002; Gómez-Orellana *et al.* 2007) inicia-se durante os períodos interestaduais OIS 5 (Prewürm) que marcam a transição entre o último interglaciário (Eemiano OIS 5d) e a glaciação de Würm. Na figura 2 mostra-se, de forma esquemática, a periodização e cronologia do último ciclo glaciário, juntamente com a amplitude temporal dos diferentes registos polínicos analisados e as características da vegetação, deduzidas a partir destes dados, para os territórios litorais do NO da Península Ibérica.

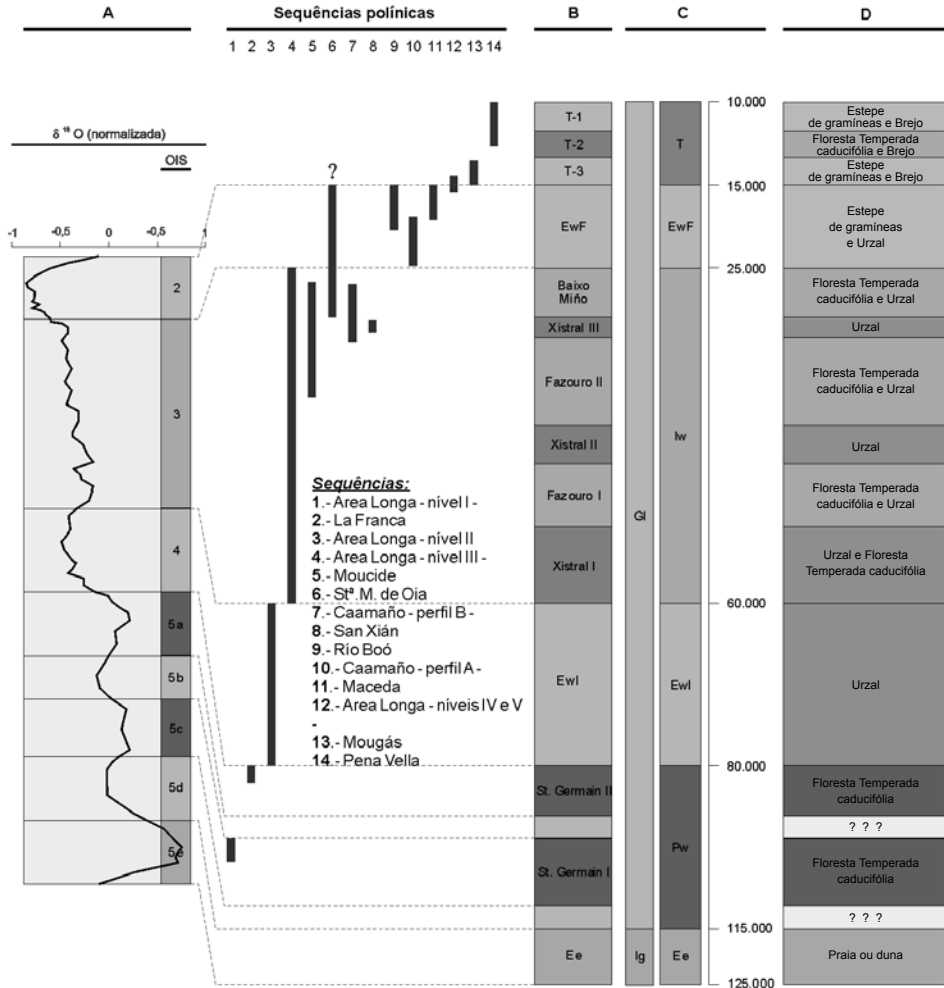
Os interglaciares do Prévürm caracterizam-se, no continente europeu, pelo predomínio das florestas e pelo registo de uma importante diversidade arbórea, mantendo-se na maior parte dos territórios o elenco arbóreo registado durante o Eemiano. De igual modo, no NO ibérico, os dados mostram uma paisagem dominada pelas formações arbóreas, com importante presença de elementos mesófilos e termófilos, chegando a 20 elementos diferentes (Tab. 1).

Depois do Prévürm, sucedem-se duas fases de incremento das massas glaciares (OIS 4 e 2), os denominados Estadiais würmianos inicial e final (Fig. 2), que aparecem separados por um período durante o qual prevalecem condições intermédias e no qual se registam várias oscilações climáticas (Interstadial würmiano).

**Tab. 1** – Evolução dos valores polínicos dos diferentes taxa arbóreos registados no NO ibérico durante o Würm (Pw: Prévürm; EWl: Estadial würmiano inicial; IW: Interstadial würmiano; EwF: Estadial würmiano final).

*Tab 1* – Evolution of pollen values of tree taxa recorded during Würm in NW Iberian Peninsula. (Pw: Prewürm; EwI: Lower Würm; Iw: Würm interstadial; EwF: Upper Würm)

Taxa arbóreos	OIS 5c	OIS 4	OIS 3	OIS 2
<i>Picea</i>	+++	+++		
<i>Abies</i>	+++	+++		
<i>P. sylvestris</i> tp	•••	•••	•••	•••
<i>P. pinaster</i> tp	•••	•••	•••	•••
<i>Betula</i>	###	•••	###	•••
<i>Quercus robur</i> tp	###	•••	###	•••
<i>Corylus</i>	###	•••	###	•••
<i>Fagus</i>	###	+++	###	+++
<i>Carpinus</i>	+++	+++	+++	+++
<i>Fraxinus</i>	•••	•••	•••	•••
<i>Ulmus</i>	+++	+++	•••	+++
<i>Acer</i>	+++		+++	
<i>Juglans</i>	+++			
<i>Tilia</i>	+++		+++	+++
<i>Castanea</i>	+++			
<i>Frangula</i>		+++	+++	
<i>Ilex</i>	+++	+++	+++	•••
<i>Arbutus</i>	+++		+++	
<i>Quercus ilex</i> tp	+++			+++
<i>Salix</i>	###	+++	•••	+++
<i>Alnus</i>	###	+++	###	+++
<b>Total taxa</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>14</b>
Presença descontínua	+++	Curva > 15%		###
Curva contínua	•••	Ausência		



**Fig. 2** – Quadro sintético da periodização e caracterização bioestratigráfica do último ciclo glacial-interglacial no Litoral-Sublitoral do NO ibérico. (A: Curva isotópica; B: Cronostratigrafia do litoral do NO ibérico; C: Cronostratigrafia do SO da Europa; D: Biozonas do Litoral-Sublitoral do NO ibérico). A curva isotópica foi tomada de Martinson *et al.* 1987. Ee: Eemiano; Ig: Interglacial; Gl: Glacial; Pw: Prévürm; EwI: Estadal würmiano inicial; Iw: Interestadal würmiano; EwF: Estadal würmiano final; T: Tardiglacial; T-1: Dryas antigo; T-2: Interestádio Tardiglacial; T-3: Dryas recente. OIS: Estádio isotópico.

**Fig. 2** – Summary table of periodization and biostratigraphic characterization of the last glacial-interglacial cycle in coastal area of NW Iberian Peninsula. (A: Isotopic curve; B: chronostratigraphy for coastal area of NW Iberian Peninsula; C: chronostratigraphy for SO Europe; D: Biozones of littoral area of NW Iberian Peninsula). A Isotopic curve from Martinson *et al.* 1987. Ee: Eemian; Ig: Interglacial; Gl: Glacial; Pw: Prewürm; EwI: Lower Würm; Iw: Würm interestadial; EwF: Upper Würm; T: Lateglacial; T-1: Older Dryas; T-2: Lateglacial interestadial; T-3: Younger Dryas. OIS: Isotopic stage.

Os períodos de avanço glacial determinam um forte detrimento da floresta que é substituída por formações herbáceas e arbustivas. Na maior parte dos territórios desaparece ou reduz-se a representação arbórea. Na sequência obtida destaca-se o predomínio dos urzais, formações minoritárias ou ausentes em grande parte do território. Durante o primeiro avanço glacial, regista-se a presença de 15 taxa arbóreas diferentes enquanto, no segundo, 14 (Tab. 1).

O Interstadial würmiano (OIS 3) caracteriza-se por um clima mais moderado e pela existência de várias fases de melhoria climática, marcadas pela sua menor incidência e pela rapidez com que se desenvolvem. No NO ibérico, detectam-se três etapas de predomínio da floresta caducifólia (Fig. 2) e a presença de 16 taxa arbóreas diferentes (Tab. 1).

#### 4. AVALIAÇÃO DOS TERRITÓRIOS LITORAIS DO NO IBÉRICO COMO ÁREA DE REFÚGIO

A sequência paleoecológica elaborada para os territórios sublitorais do NO ibérico constitui a primeira informação paleobotânica para o último período glacial do Plistocénico no contexto do NO da península e, por isso, é uma ferramenta crucial para esclarecer a dinâmica das formações arbóreas do território durante o Würm. Estes dados, em conjunto com os disponíveis para os períodos Tardiglacial e Holocénico, permitem esclarecer a existência de refúgios da flora arbórea que, atualmente, se distribuem pelo território.

Os trabalhos que referem as prováveis áreas de refúgio no continente europeu apontam para a presença de 3 taxa no NO da Península Ibérica, utilizando como referência um escasso número de sequências de cronologia holocénica (Huntley & Birks 1983).

Na Tabela 1 representa-se a evolução dos diferentes taxa arbóreas registados durante diferentes episódios do último período glacial nos territórios litorais do NO ibérico. A presença de 20 tipos polínicos arbóreas diferentes, durante o Prévürm (Tab. 1), confirma que antes do último avanço glacial, as florestas do território integravam a maior parte dos elementos arbóreas que atualmente formam as massas arbóreas do NO ibérico e, inclusive, taxa ausentes na atualidade, tais como *Abies*, *Picea* ou *Carpinus*. Estes elementos puderam sobreviver refugiados na área porque o território não esteve diretamente afetado pela presença de massas de gelo.

Durante os estadiais subsequentes (Fig. 2), a diversidade arbórea reduziu-se ligeiramente, mantendo-se o registo de um importante grupo de taxa (Tab. 1). As curvas de pólen arbóreo apresentam valores contínuos em torno dos 20%, indicando uma certa importância paisagística, pelo menos local, das formações arbóreas. Os valores refletem a presença de pequenos bosquetes integrados numa paisagem dominada por urzais.

Em ambos os estadiais (Fig. 2), os valores de diversidade registados no NO ibérico mantiveram-se, inclusive, acima dos observados em outras amplas sequências recolhidas em territórios considerados áreas de refúgio (Fig. 1, Tab. 2).

**Tab. 2** – Evolução das percentagens dos elementos arbóreos registados no NO ibérico em relação com territórios considerados áreas de refúgio na Europa, para os dois períodos estaduais do Würm (OIS 4 e 2) e o Interestadial würmiano (OIS 3)

**Tab. 2** – *Evolution of the percentages of arboreal elements recorded in NW Iberian Peninsula in relation to considered areas of refuge in Europe, for the two periods estadual periods of the Würm (OIS 4 and 2) and the Würm interestadial (OIS 3)*

Taxa arbóreos	NO Península Ibérica			Centro Itália			Sul Itália			Balcãs			
	EWI	IW	EWf	EWI	IW	EWf	EWI	IW	EWf	EWI	IW	EWf	
<b>Registados no NO ibérico</b>													
<i>Picea</i>	+++			+++	+++	+++					+++		
<i>Abies</i>	+++			+++	+++	+++		###	###	###	###	###	###
<i>Pinus</i>	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
<i>Betula</i>	###	###	###	+++	+++	+++	###	###	###	###	###	###	###
<i>Quercus robur</i> tp	###	###	###	+++	###	###	###	###	###	###	###	###	###
<i>Corylus</i>	+++	###	###	+++	###	###	###	###	+++	###	###	###	###
<i>Fagus</i>	+++	###	+++	+++	###	###	###	###	###	###	###	###	###
<i>Carpinus</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	###	###	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Fraxinus</i>	###	###	###	+++	+++	###	###	###	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Ulmus</i>	+++	###	+++	+++	+++	+++	###	###	+++	+++	###	###	###
<i>Acer</i>		+++	+++		+++		###	###	+++				
<i>Tilia</i>		+++	+++		+++		+++	###			+++		+++
<i>Frangula</i>	+++	+++											
<i>Ilex</i>	+++	+++	+++		+++								
<i>Arbutus</i>	+++	+++	+++		+++								
<i>Quercus ilex</i> tp			+++	+++	###	+++	?	?	?	?	?	?	?
<i>Salix</i>	+++	###	+++	+++	###	+++				+++	###	###	+++
<i>Alnus</i>	+++	###	+++	+++	+++	+++	###	###	###	###	###	###	###
<b>Total taxa</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

Taxa arbóreas	NO Península Ibérica			Centro Itália			Sul Itália			Balcãs		
	EWI	IW	EWf	EWI	IW	EWf	EWI	IW	EWf	EWI	IW	EWf
Não registados no NO ibérico												
<i>Zelkova</i> **				+++	+++							
<i>Ostrya</i> **					+++			+++	+++		+++	+++
<i>Cedrus</i> **					+++	+++						
<i>Buxus</i> *					+++							
<i>Populus</i> *					+++							
<i>Viburnum</i> *					+++							
<i>Pistacia</i> *										+++		
<i>Olea</i> *					+++							
<i>Phillyrea</i> *					+++					+++		+++
<i>Castanea</i> *					+++							
<b>Total taxa</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>12</b>

+++; Presença;\*\*\*\* : Curva contínua;## : Curva > 15% ; Período sem registo para o taxa; \*; Taxa registado no NO Ibérico durante o Tardiglacial e/ou Holocénico; \*\*; Taxa não registado no NO Ibérico desde o Terciário. EWI; Estadal würrmiano inicial; IW; Interstadial würrmiano; EWf; Estadal würrmiano final.



A melhoria climática marcada pelo Interestadial würmiano (Fig. 2) determina a sucessão de uma série de alterações paisagísticas no continente. Estas modificações do coberto vegetal traduzem-se, unicamente, em fases de predomínio das florestas temperadas caducifólias num número limitado de territórios. Na zona central e sul de Itália e sul dos Balcãs, definiram-se para este período várias fases de rápida expansão e posterior regressão do bosque. A rapidez das alterações climáticas indicaria a presença, nas proximidades, dos elementos arbóreos cuja presença se vê incrementada.

No NO ibérico, detecta-se durante esta etapa, um incremento da presença arbórea e o registo de, pelo menos, três fases de rápida expansão e diminuição das formações arbóreas caducifólias. Como tal, nas proximidades dos depósitos mantinham-se formações arbóreas que responderiam às flutuações climáticas, aumentando ou diminuindo a sua relevância paisagística. Os valores de diversidade arbórea são similares aos de territórios considerados áreas de refúgio (Tab. 2). A única região que supera amplamente os valores do NO ibérico é a área central de Itália, onde se detecta a presença de um conjunto de taxa extintos no NO ibérico, desde o Terciário, ou minoritários no território e não registados até ao degelo (Tab. 2).

## 5. CONCLUSÕES

Os dados paleobotânicos disponíveis indicam que, na maior parte dos territórios litorais e sublitorais do NO ibérico, se mantinha um clima mais ou menos temperado e húmido, durante amplos períodos, ao longo dos quais a paisagem estaria dominada por urzais e pequenos bosquetes caducifólios que aumentariam ou diminuiriam a sua importância em função das flutuações climáticas globais.

A informação exposta revela que algumas coníferas, como *Pinus pinaster*-type, *Pinus sylvestris*-type, *Juniperus*, *Abies*, *Picea*; taxa caducifólios mesófilos como *Betula*, *Quercus robur*-type, *Corylus*, *Alnus*, *Fagus*, *Fraxinus*, *Ulmus*, *Acer*, *Carpinus*, *Juglans*, *Frangula*, *Salix*, *Tilia* e taxa perenifólios como *Quercus ilex*-type, *Arbutus*, *Ilex*, estiveram presentes nos territórios litorais do NO ibérico durante o período compreendido entre 110.000 e 18.000 BP. Outros taxa não registados devem ter persistido na área, tendo em conta o seu rápido aparecimento, durante o pós-glaciar, nos registos do território: *Buxus*, *Olea*, *Phillyrea*, *Populus*, *Castanea*, *Viburnum*, etc.

A distribuição regional destes taxa sofreu importantes modificações durante o último período glacial. Um caso evidente é o da modificação na distribuição dos faias. No Prévürm, estas formações apresentavam-se muito desenvolvidas nas proximidades da atual costa cantábrica, persistindo ali durante o início do Würm. Contudo, não se registam nas sequências cantábricas durante o Interestadial würmiano ou o Estadial würmiano final, aparecendo, pelo contrário, bem representadas e datadas de 34.250 BP, em registos recolhidos no litoral atlântico da Península Ibérica.

Um importante grupo destes taxa mesófilos ou termófilos aparecem em grande parte das sequências polínicas recolhidas em áreas de montanha do NO ibérico, durante o degelo ou o início do Holocénico, pelo que seria coerente pensar que os

territórios litorais do NO ibérico funcionaram como áreas de proveniência de muitas dessas árvores, durante as fases de colonização arbórea pós-glaciares.

Taxa como *Picea*, *Abies* ou *Carpinus* desapareceram dos registos polínicos litorais durante o Würm, sendo, assim, possível propor uma data para o seu desaparecimento regional. *Abies* e *Picea* registam-se pela última vez durante o primeiro stadial do Würm, enquanto o registo de *Carpinus* mantém-se ao longo de todo o Würm e apresenta-se de forma ocasional em escassas sequências de cronologia pós-glacial.

Comparando a riqueza de taxa arbóreas temperadas, presentes neste território, com os disponíveis para outros territórios meridionais da Europa, durante os mesmos períodos, parece provável que o NO da Península Ibérica tenha funcionado como área de refúgio durante a última glaciação. A presença de refúgios no território terá tido um papel determinante na atual distribuição da flora arbórea no Norte da Península Ibérica e territórios adjacentes. Ainda assim, à escala continental, apresenta menor importância do que as penínsulas balcânica e itálica, que terão tido um papel crucial como local de origem de diversidade arbórea para a colonização dos territórios do Centro e Norte da Europa.

**AGRADECIMENTOS:** A J.P. Tereso por traduzir o texto para Português. Este trabalho foi realizado no âmbito dos projetos Xunta de Galicia 10MDS276025PR e Xunta de Galicia 10MDS310020PR.

## BIBLIOGRAFIA

- Bennett K.D.** 1985. The spread of *Fagus grandifolia* across eastern America during the last 18.000 years. *Journal of Biogeography* 12: 147-164.
- Bennett K.D., Tzedakis P.C. & Willis K.J.** 1991. Quaternary refugia of north European trees. *Journal of Biogeography* 18: 103-115.
- Birks H.J.B. & Line J.M.** 1993. Glacial Refugia of European Trees – A Matter of Chance? *Dissertationes Botanicae* 196: 283-291.
- Bradshaw R.H.W.** 1981. Modern pollen-representation factors for woods in southeast England. *Journal of Ecology* 69: 45-70.
- Burjachs i Casas F.** 1990. Evolució de la vegetació i paleoclimatologia de fa més de 85.000 anys a la regió d'Olot. Anàlisi polínica del Pla de l'Estany. *Vitrina* 5:40-46.
- Castroviejo S., Laínz M., López González G., Montserrat P., Muñoz Garmendia F., Paiva J. & Villar L.** (eds.) 1990. *Flora Ibérica. Vol. II: Platanaceae-Plumbaginaceae*. Real Jardín Botánico, Madrid:C.S.I.C.
- Follieri M., Giardini M., Magri D. & Sadori L.** 1998. Palynostratigraphy of the last glacial period in the volcanic region of Central Italy. *Quaternary International* 47/48: 3-20.
- Gómez-Orellana L.** 2002. *El último Ciclo Glacial-Interglacial en el litoral del NW Ibérico: Dinámica climática y paisajística*. Tese de doutoramento. Universidade de Santiago de Compostela. Lugo. Espanha.
- Gómez-Orellana L., Ramil-Rego P. & Muñoz Sobrino C.** 2007. The Würm in NW Iberia, a pollen record from Area Longa (Galicia). *Quaternary Research* 67: 438-452.
- Huntley B. & Birks H.J.B.** 1983. *An Atlas of past and present pollen maps for Europe: 0-13.000 years ago*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Magri D.** 1998. Quaternary history of *Fagus* in the Italian Peninsula. *Annali di Botanica* 56 (1): 147-154.
- Magri D. & Sadori L.** 1999. Late Pleistocene and Holocene pollen stratigraphy at Lago di Vico, central Italy. *Vegetation History and Archaeobotany* 8: 247-260.

- Martinsson D.G., Nicklas G.P., Hays J.D., Imbrie J., Moore T.C. & Shackleton N.J. 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0-300,000 years chronostratigraphy. *Quaternary Research* 27(1): 1-29.
- Muñoz Sobrino, C. 2001. *Cambio climático y dinámica del paisaje en las montañas del noroeste de la Península Ibérica*. Tese de doutoramento. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P. & Gómez-Orellana L. 2007. Late Würm and Early Holocene in the mountains of northwest Iberia: biostratigraphy, chronology and tree colonization. *Vegetation History and Archaeobotany* 16: 223-240.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P., Gómez-Orellana L. & Díaz Varela R.A. 2005. Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas* 34: 381-400.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P., Gómez-Orellana L., Ferreiro da Costa J. & Díaz Varela R.A. 2009. Climatic and human effects on the post-glacial dynamics of *Fagus sylvatica* L. in NW Iberia. *Plant Ecology* 203: 317-340.
- Muñoz Sobrino C., Ramil-Rego P. & Rodríguez Guitián M.A. 2001. Vegetation in the mountains of northwest Iberia during the last glacial-interglacial transition. *Vegetation History and Archaeobotany* 10: 7-21.
- Pons A. & Reille M. 1988. The Holocene- and Upper Pleistocene pollen record from Padul (Granada, Spain): a new study». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 66: 243-263.
- Quintanilla L.G., Amigo J., Pangua E. & Pajarón S. 2002. Análisis biogeográfico de la pteridoflora de la sierra de la Capelada (La Coruña, España). *Lazaroa* 23: 17-24.
- Ramil-Rego P. 1992. *La vegetación cuaternaria de las Sierras Septentrionales de Lugo a través del análisis polínico*. Tese de doutoramento. Facultad de Biología. Universidad de Santiago.
- Ramil-Rego P., Gómez-Orellana L., Muñoz Sobrino C. & Rodríguez Guitián M. 1996. Valoración de las secuencias polínicas del noroccidente Ibérico para el último ciclo glacial-interglacial. In: P. Ramil-Rego & C. Fernández Rodríguez. *Arqueometría y Paleoecología del Norte de la Península Ibérica. Cambios naturales y perturbaciones antrópicas*. Fervedes 3: 33-116.
- Ramil-Rego P., Muñoz Sobrino C., Rodríguez Guitián M. & Gómez-Orellana L. 1998a. Differences in the vegetation dynamics in the North Iberian peninsula during the last 16,000 years. *Plant Ecology* 138: 41-62.
- Ramil-Rego P., Rodríguez Guitián M.A., Muñoz Sobrino C. & Gómez-Orellana L. 2000. Some considerations about the postglacial history and recent distribution of *Fagus sylvatica* in the NW Iberian Peninsula. *Folia Geobotanica* 35: 241-271.
- Ramil-Rego P., Rodríguez Guitián M. & Muñoz Sobrino C. 1998b. Sclerophyllous vegetation dynamics in the north of the Iberian peninsula during the last 16,000 years. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7: 335-371.
- Salvo A.E. 1990. *Guía de helechos de la Península Ibérica y Baleares*. Madrid: Pirámide.
- Tzedakis P.C. 1993. Long-term tree populations in northwest Greece through multiple Quaternary climatic cycles. *Nature* 364: 437-440.
- Watts W.A., Allen J.R.M. & Huntley B. 1996. Vegetation history and palaeoclimate of the last glacial period at Lago Grande di Monticchio, Southern Italy. *Quaternary Science Reviews* 15: 133-153.
- Willis K.J. 1994. The vegetation history of the Balkans. *Quaternary Science Reviews* 13: 769-788.
- Willis K.J. 1996. Where did all the flowers go? The fate of temperate European flora during glacial periods. *Endeavour New Series* 20(3): 110-114.
- Willis K.J., Runder E. & Sümegi P. 2000. The Full-Glacial Forest of Central and Southeastern Europe. *Quaternary Research* 53: 203-213.
- Wijmstra T.A. 1969. Palynology of the first 30 metres of a 120 m deep section in Northern Greece. *Acta Bot. Neerl.* 25 (4): 297-312.

# HISTÓRIA DO FOGO DURANTE O HOLOCÊNICO NA SERRA DA ESTRELA, PORTUGAL: RESULTADOS PRELIMINARES

João Araújo<sup>1</sup>, Simon E. Connor<sup>1</sup>, Jacqueline F.N. van Leeuwen<sup>2</sup>  
& Willem O. van der Knaap<sup>2</sup>

**Resumo:** Uma nova análise a partículas microscópicas de carvão em amostras do registo polínico do Charco da Candieira, lagoa glacial paludificada localizada na serra da Estrela, indica uma forte ligação entre a história da vegetação e a ocorrência de fogos nos últimos 14.800 anos. Esta análise revelou uma reduzida concentração de carvões durante o Tardiglaciário, período em que a cobertura vegetal era escassa. Verificou-se também o aumento da ocorrência de fogos no período Holocénico, quando as florestas de carvalho se desenvolveram nas montanhas. O período no qual se registou maiores concentrações de carvão corresponde a uma fase de desflorestação, em grande escala, da serra da Estrela (últimos 3500 anos). Nesta região montanhosa, os fogos foram sempre uma constante durante o Holocénico, tendo assumido um papel importante na manutenção dos ecossistemas. Assim, a recorrência de fogos na serra da Estrela deverá ser integrada no plano de gestão do Parque Natural da serra da Estrela.

**Palavras-chave:** História do fogo; História da vegetação; Holocénico; Palinologia; Portugal; Tardiglaciário.

## **Abstract: Holocene fire history of the Serra da Estrela, Portugal – preliminary results**

A new analysis of microscopic charred particles in pollen samples from Charco da Candieira, an infilled glacial lake in the serra da Estrela, demonstrates a strong link between vegetation history and fire events during the last 14,800 years. The results show low charcoal concentrations during the Late-Glacial, when vegetation cover was sparse. Fires became more frequent during the Holocene, as oak forests established in the mountains. The highest charcoal concentrations correspond to a phase of large-scale deforestation during the last 3500 years. Fires have been a regular occurrence in the serra da Estrela for the entire Holocene and appear to play an important role in ecosystem function. As such, fire recurrence should be incorporated into the management plan of the serra da Estrela Natural Park.

**Keywords:** Fire history; Holocene; Late-Glacial; Palynology; Portugal; Vegetation history.

Nas últimas décadas a paleoecologia tem-se focado cada vez mais na história dos fogos, com especial interesse na influência na alteração da cobertura vegetal no passado e presente (Power *et al.* 2008). A história do fogo pode fornecer informações valiosas sobre o papel dos incêndios na manutenção da biodiversidade dos ecossistemas, sobre

---

<sup>1</sup> Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Edifício 7, Campus de Gambelas, Universidade do Algarve, Faro 8005-139, Portugal.

<sup>2</sup> Institute for Plant Sciences and Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern, Bern CH-3013, Switzerland (Suíça).

o ciclo do carbono, alterações climáticas, e impactes antrópicos na paisagem natural (Whitlock & Larsen 2001; Power *et al.* 2008; Vannière *et al.* 2011).

Fundamentalmente existem três métodos para a reconstrução da história do fogo a partir de registos sedimentares (Whitlock & Larsen 2001): análise de partículas de carvão fossilizado, evidências polínicas de perturbação da vegetação e evidências litológicas de erosão ou alteração mineralógica devido ao fogo. As partículas de carvão preservadas no sedimento foram, pela primeira vez, reconhecidas como indicador de fogo na década de quarenta do século passado, através do trabalho de Iversen (1941). Neste momento, é possível a consulta de dados sobre a história do fogo, numa escala global, através do site da “Global Paleofire Database” ([www.gpwg.org](http://www.gpwg.org)), dados estes obtidos através da análise de partículas de carvão.

Existem vários métodos para extração e quantificação de carvão fossilizado em sedimentos provenientes de lagos e zonas húmidas. Os mais comuns são a análise de carvões microscópicos existentes em preparações para análise polínica e a observação de partículas macroscópicas, cuja extração poderá ser realizada utilizando variados métodos descritos por Tolonen (1986) e Whitlock & Larsen (2001). O conhecimento da origem do fogo é de grande importância e pode ser determinado através do tamanho das partículas de carvão existentes em preparações para análise sedimentar. As micro-partículas (5–200 µm) representam geralmente fogos de escala regional, pois são facilmente transportadas pelo vento. Por sua vez, as partículas macroscópicas são associadas a fogos locais, pois dificilmente são transportadas por via aérea (Clark & Royall 1995). Factores específicos ao local amostrado são também de grande importância na forma como a história do fogo é expressa nos registos de carvão, dificultando assim a análise interpretativa destes sedimentos (Whitlock & Larsen 2001).

Tendo em conta que pólenes e partículas microscópicas de carvão apresentam a mesma gama de tamanho, assume-se que podem representar a vegetação e eventos de fogo com ocorrência na mesma área. Por essa razão, a análise de carvões microscópicos representa uma ferramenta útil para ajudar na reconstrução da vegetação baseada em estudos polínicos.

Os eventos de fogo são comuns e característicos de muitas paisagens mediterrâneas, sendo essenciais na maioria dos ecossistemas mediterrâneos (Grove & Rackham 2001). As plantas mediterrâneas apresentam diversas adaptações a fogos frequentes, tais como a produção de súber espesso e isolante (exemplo *Quercus suber*), a capacidade de rebrotar após fogo (exemplo *Quercus coccifera*, *Arbutus unedo*) e ainda a germinação despoletada pelo fogo (exemplo *Cistus* spp. e alguns *Pinus*).

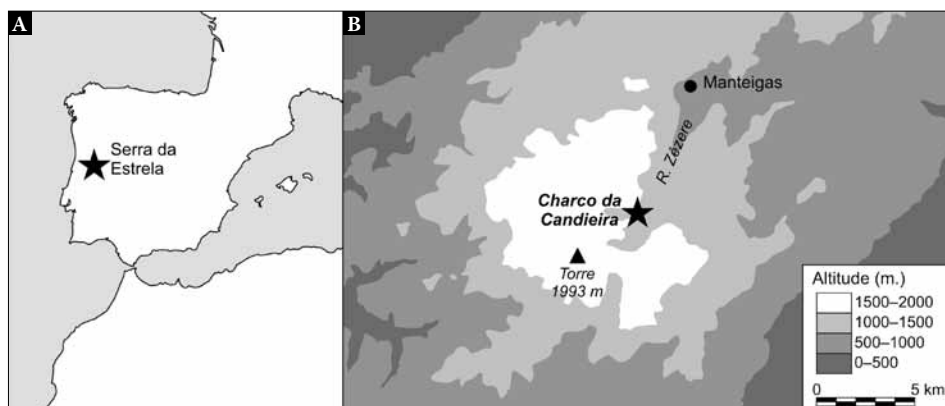
Recentemente Vannière *et al.* (2011) estudaram a história do fogo na região do Mediterrâneo durante o Holocénico e a sua relação com as alterações climáticas durante o passado. Apesar da importância da Península Ibérica como região mediterrânea, susceptível a eventos de fogo (Carrión & van Geel 1999; Carrión *et al.* 2007), o único estudo de longa escala temporal sobre história do fogo em Portugal foi realizada através da sondagem marítima MD95-2042 (Daniau *et al.* 2007). Assim sendo, não

existem registos continentais contínuos que possam demonstrar a interacção entre o fogo e a vegetação durante o Holocénico em Portugal.

A serra da Estrela é um maciço montanhoso granítico localizado a 70 km a oeste da cidade universitária de Coimbra, e representa o ponto mais elevado de Portugal continental (Fig. 1). Durante pelo menos parte do Plistocénico esta região montanhosa esteve coberta por glaciares, apresentando por isso a maior concentração de lagos glaciares no território português. Esta característica, aliada ao facto do Parque Natural da Serra da Estrela ser a região natural portuguesa mais afectada por incêndios (ICN 2006), torna esta área ideal para o estudo da história do fogo em Portugal. Se pudermos entender melhor a relação entre os incêndios, a vegetação e as mudanças climáticas, estaremos provavelmente numa melhor posição para a gestão local de fogos.

O Charco da Candieira (40°20'37"N, 7°34'41"W) é uma lagoa glacial paludificada, localizada num vale suspenso a oeste do vale glacial do rio Zêzere (Fig. 1), a 4 km da Torre (1993 m). Elevando-se a 1400 m acima do nível do mar, este é o lago glacial menos elevado da serra da Estrela. A lagoa tem, aproximadamente, 100 metros de diâmetro e encontra-se cercado de pastos. As encostas rochosas adjacentes estão cobertas por *Erica arborea*, *E. australis*, *E. umbellata*, *Calluna vulgaris*, *Juniperus communis* e variadas espécies de *Genista* e *Cytisus*.

Em 1985, um grupo de investigadores da Universidade de Utrecht (Holanda) realizou uma sondagem na parte central deste charco e obteve um registo sedimentar de 12,32 m. A cronologia baseada em 30 datações por radiocarbono permitiu definir, para este registo, uma data inicial de 14800 cal. anos AP, tendo sido verificada uma sedimentação contínua durante o Tardiglaciário e o Holocénico. Van der Knaap & Van Leeuwen (1995, 1997) publicaram os resultados de análise polínica realizada a 301 amostras, tornando-se o registo do Charco da Candieira, o estudo mais detalhado e completo da alteração da vegetação durante o Tardiglaciário e o Holocénico em



**Fig.1** – Mapa da Península Ibérica indicando a localização da serra da Estrela (A) e o local de estudo, Charco da Candieira (B).

**Fig. 1** – Map of the Iberian Peninsula showing the location of the Serra da Estrela (A) and the study site of Charco da Candieira (B).

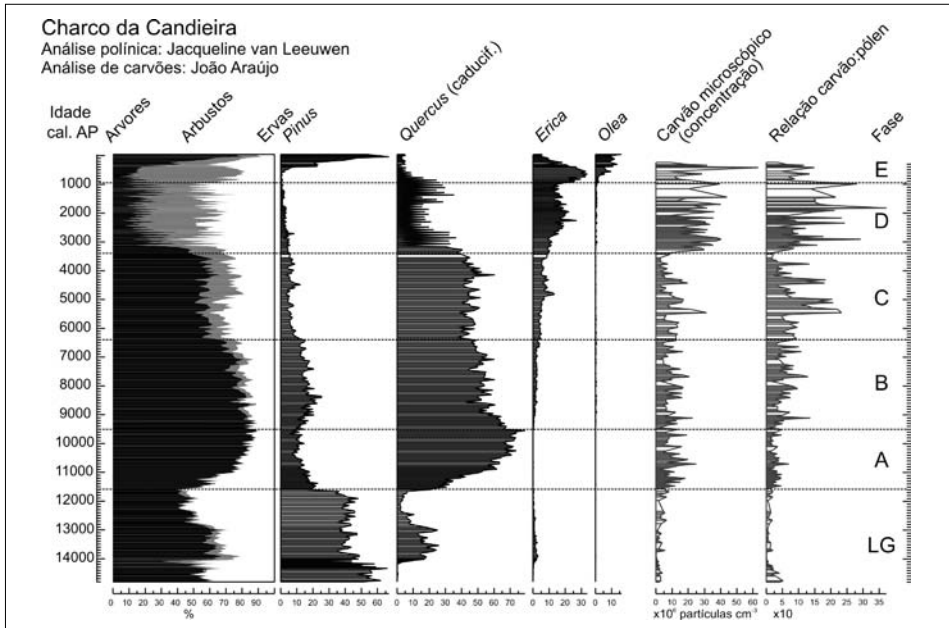
Portugal. A análise do registo do Charco da Candieira (Van der Knaap & Van Leeuwen 1995, 1997) permitiu caracterizar seis fases principais na história da alteração da vegetação (Fig. 2): 1) LG (14800-11600 cal. anos AP): vegetação escassa e floresta aberta durante o Tardiglaciário; 2) A (11600-9500 cal. anos AP): desenvolvimento de florestas xerotérmicas sem influência humana; 3) B (9500-6400 cal. anos AP): desenvolvimento de florestas mesotérmicas sob um clima húmido; 4) C (6400-3400 cal. anos AP): início do impacte humano na dinâmica florestal; 5) D (3400-970 cal. anos AP): desflorestação em grande escala seguida de recuperação parcial da floresta; 6) E (970-40 cal. anos AP): desflorestação total devida à grande pressão antrópica.

Embora o fogo tenha sido já considerado uma das principais causas das alterações da vegetação, tendo sido mesmo verificadas relações pontuais evidentes entre picos de abundância de carvão macroscópico e episódios de alteração da vegetação na serra da Estrela (Van den Brink & Janssen 1985; Van der Knaap & Van Leeuwen 1995), não foi ainda realizada nenhuma análise integral da história do fogo em Portugal através de sedimentos lagunares.

No presente estudo foi realizada uma contagem das partículas de carvão nas preparações para análise polínica do Charco da Candieira. Nesse sentido foi utilizado o método de quantificação descrito por Tinner & Hu (2003), onde são comparadas as contagens de partículas microscópicas de carvão com as de marcadores exóticos, cuja quantidade adicionada no início da preparação em laboratório é conhecida. Neste trabalho foram adicionados  $11329 \pm 349$  esporos de *Lycopodium* a cada amostra preparada em laboratório. Para a análise foram contabilizados um mínimo de 200 *itens* (carvões e *Lycopodium*) (Finsinger & Tinner 2005). Os resultados foram representados graficamente lado a lado com as percentagens de pólen utilizando o programa Psim-poll (Bennett 2002). A relação entre a abundância de carvões e de pólenes foi analisada através de correlação estatística ( $r$  de Pearson).

Verificou-se uma concentração de carvões relativamente baixa durante o Tardiglaciário (14800-11600 cal. anos AP), quando a cobertura vegetal era relativamente reduzida (Fig. 2). Os fogos tornaram-se mais frequentes durante o Holocénico (fase de paleovegetação A, B e C), intervalo no qual as florestas de carvalhos cresciam abundantemente nas montanhas. As médias de concentração de carvões foram mais elevadas durante a fase de desflorestação em grande escala, entre 3400 e 970 cal. anos AP (fase D). Em séculos mais recentes, verificou-se ligeira redução na quantidade de carvões no sedimento, o que leva a equacionar diminuição de incêndios devido ao decréscimo da biomassa. Apesar desta aparente redução de fogos, foram também notórios alguns picos correspondentes a eventos de fogo de grandes dimensões.

Note-se que os registos de carvão terminam cerca de 300 cal. anos AP, não sendo por isso possível comparar a concentração de carvão vegetal para incêndios historicamente registados. A relação entre pólenes e carvão mostra padrões semelhantes com a concentração de carvão, apenas com valores elevados na fase C da análise da paleovegetação. Ambas as concentrações e ratios indicam um período de relativa baixa



**Fig. 2** – Diagrama polínico e de microcarvão do Charco da Candieira, serra da Estrela, sectionado por fases de paleovegetação.

**Fig. 2** – *Pollen and microcharcoal diagram from the Pond Candieira, Serra da Estrela sectioned by palaeovegetation phases.*

actividade de incêndios na zona de transição entre as fases C e D, que poderá estar relacionada com o uso da terra por parte do Homem.

Correlações entre a percentagem de pólenes e a concentração de carvão demonstram que o fogo teve tanto consequências positivas em algumas espécies vegetais como negativas noutras. As correlações positivas mais elevadas verificaram-se em *Erica* ( $r$ : 0.67), Poaceae ( $r$ : 0.62), *Plantago lanceolata* ( $r$ : 0.61), *Ranunculus* ( $r$ : 0.57) e *Genista/Cytisus* ( $r$ : 0.48). São todas plantas de pequeno porte, ervas ou arbustos, associadas a paisagens de campo aberto ou a ambientes perturbados. As correlações negativas mais elevadas verificaram-se em *Pinus* ( $r$ : -0.46), *Salix* ( $r$ : -0.35), *Quercus* caducifólios ( $r$ : -0.33) e *Betula* ( $r$ : -0.29). Neste caso, todos os *taxa* enumerados prevaleceram nas florestas da serra da Estrela no início do Holocénico Médio.

Os resultados preliminares mostram forte ligação entre fogo e desflorestação na história da vegetação da serra da Estrela. Verificou-se grande abundância de partículas de carvão no sedimento do Charco da Candieira, sendo por isso necessário novas e mais aprofundadas contagens para reduzir erros estatísticos e preencher lacunas de dados existentes neste registo. Será também necessário proceder a análise temporal para melhor entendimento dos efeitos de sucessão ecológica após incêndios individuais, durante períodos relativamente curtos de tempo como décadas ou séculos. O registo deverá também ser estendido até à actualidade, a fim de estudar a relação entre incêndios registados historicamente e os registos sedimentares de carvão. Ape-



sar das limitações atrás referidas, o registo de carvões obtido no Charco da Candieira representa o primeiro registo contínuo da história do fogo em Portugal continental e é, certamente, um dos mais detalhados e completos do Tardiglaciário–Holocénico na região mediterrânea.

A ocorrência de incêndios foi sempre uma constante na região da serra da Estrela, tendo sido especialmente frequentes durante os últimos 3500 anos. A actual política de gestão de incêndios no Parque Natural da Serra da Estrela inclui a exclusão total de eventos de fogo (ICNB 2009). A União Europeia, através do projecto FireParadox, tem apresentado novas estratégias centradas na aplicação de fogos controlados, baseadas na visão actualizada do conceito tradicional do uso do fogo (Fernandes & Loureiro 2010; Rego *et al.* 2010), no entanto a aplicação de uma gestão de fogos deverá implicar a integração de conhecimentos ecológicos e uma monitorização dos efeitos do fogo na biodiversidade local (Allen 2008).

A vegetação actual e dominante da serra da Estrela está adaptada ao fogo, havendo prevalência de espécies vegetais com folhagem altamente inflamável. Deste modo, a política de exclusão total de fogos pode conduzir a situações de incêndio de grande proporções e difícil controlo. Perante a improbabilidade de uma reflorestação de carvalho, espécie outrora dominante nesta região montanhosa, torna-se conveniente uma gestão de fogo que reconheça a inflamabilidade própria da vegetação e que admita um regime de fogos planeado especificamente para a preservação da biodiversidade dos ecossistemas da serra da Estrela.

**AGRADECIMENTOS:** Um grande agradecimento a Roel Janssen (Utrecht) pela cedência das amostras do Charco da Candieira para a reanálise, a Florencia Oberli (Berna) pelo acesso ao seu laboratório e ainda a João País (Lisboa), Petr Kuneš (Praga), Ana Gomes (Algarve) e José Peixoto (Coimbra) pelo apoio na preparação desta contribuição. Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto SWIRL (PTDC/AAC-CLI/108518/2008).

## BIBLIOGRAFIA

- Allen H.D. 2008. Fire: plant functional types and patch mosaic burning in fire-prone ecosystems. *Progress in Physical Geography* 32: 421-437.
- Bennett K.D. 2002. *Psimpoll 4.10*. Department of Earth Sciences, Uppsala Universitet.
- Carrión J.S., Fuentes N., González-Samperiz P., Sánchez Quirante L., Finlayson J.C., Fernández S. & Andrade A. 2007. Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews* 26: 1455-1475.
- Carrión J.S. & Van Geel B. 1999. Fine-resolution Upper Weichselian and Holocene palynological record from Navarrés (Valencia, Spain) and a discussion about factors of Mediterranean forest succession. *Review of Palaeobotany and Palynology* 106: 209-236.
- Clark J.S. & Royall P.D. 1995. Particle-size evidence for source areas of charcoal accumulation in late Holocene sediments of eastern North American lakes. *Quaternary Research* 43: 80-89.
- Daniau A.-L., Sánchez-Goni M.F., Beaufort L., Laggoun-Défarge F., Loutre M.-F. & Duprat J. 2007. Dansgaard–Oeschger climatic variability revealed by fire emissions in southwestern Iberia. *Quaternary Science Reviews* 26: 1369-1383.

- Fernandes P.M. & Loureiro C.** 2010. *Handbook to Plan and Use Prescribed Burning in Europe*. Fire Paradox Project, European Commission. Vila Real, 37 pp.
- Finsinger W. & Tinner W.** 2005. Minimum count sums for charcoal concentration estimates in pollen slides: accuracy and potential errors. *The Holocene* 15: 293-297.
- Grove A.T. & Rackham O.** 2001. *The nature of Mediterranean Europe: an ecological history*. New Haven: Yale University Press, 384 pp.
- Instituto da Conservação da Natureza (ICN).** 2006. *Relatório sobre incêndios rurais na Rede Nacional de Áreas Protegidas e na Rede Natura 2000*. Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 38 pp.
- Instituto da Conservação da Natureza e Biodiversidade (ICNB).** 2009. *Plano Prévio de Intervenção em Incêndios Rurais 2009, Parque Natural da Serra da Estrela*. Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 39 pp.
- Iversen J.** 1941. Landnam i Danmarks stenalder (Land occupation in Denmark's Stone Age). *Danmarks Geologiske Undersøgelse* II (66): 1-68.
- Power M.J., Marlon J., Ortiz N., Bartlein P.J., Harrison S.P., Mayle F.E., Ballouche A., Bradshaw R.H.W., Carcaillet C., Cordova C., Mooney S., Moreno P.I., Prentice I.C., Thonicke K., Tinner W., Whitlock C., Zhang Y., Zhao Y., Ali A.A., Anderson R.S., Beer R., Behling H., Briles C., Brown K.J., Brunelle A., Bush M., Camill P., Chu G.Q., Clark J., Colombaroli D., Connor S., Daniau A.-L., Daniels M., Dodson J., Doughty E., Edwards M.E., Finsinger W., Foster D., Frechette J., Gaillard M.-J., Gavin D.G., Gobet E., Haberle S., Hallett D.J., Higuera P., Hope G., Horn S., Inoue J., Kaltenrieder P., Kennedy L., Kong Z.C., Larsen C., Long C.J., Lynch J., Lynch E.A., McGlone M., Meeks S., Mensing S., Meyer G., Minckley T., Mohr J., Nelson D.M., New J., Newnham R., Noti R., Oswald W., Pierce J., Richard P.J.H., Rowe C., Sanchez Goñi M.F., Shuman B.N., Takahara H., Toney J., Turney C., Urrego-Sanchez D.H., Umbanhowar C., Vandergoes M., Vannièrè B., Vescovi E., Walsh M., Wang X., Williams N., Wilmshurst J. & Zhang J.H.** 2008. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Climate Dynamics* 30: 887-907.
- Tinner W. & Hu F.S.** 2003. Size parameters, size-class distribution and area-number relationship of microscopic charcoal: relevance for fire reconstruction. *The Holocene* 13: 291-296.
- Tolonen K.** 1986. Charred particle analysis. In: Berglund, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palynology*. John Wiley & Sons, Chichester: 485-496.
- Rego F., Rigolot E., Fernandes P., Montiel C. & Silva J.S.** 2010. *Para uma Gestão Integrada do Fogo. EFI Policy Brief 4*. European Forest Institute. Acedido em Janeiro 2012, em: [http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi\\_policy\\_brief\\_4\\_por\\_net.pdf](http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_policy_brief_4_por_net.pdf)
- Van den Brink L.M. & Janssen C.R.** 1985. The effect of human activities during cultural phases on the development of montane vegetation in the serra da Estrela, Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology* 44: 193-215.
- Van der Knaap W.O. & van Leeuwen J.F.N.** 1995. Holocene vegetation succession and degradation as responses to climatic change and human activity in the serra da Estrela, Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology* 89: 153-211.
- Van der Knaap W.O. & Van Leeuwen J.F.N.** 1997. Late Glacial and early Holocene vegetation succession, altitudinal vegetation zonation, and climatic change in the serra da Estrela, Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology* 97: 239-285.
- Vannièrè B., Power M.J., Roberts N., Tinner W., Carrió J., Magny M., Bartlein P., Colombaroli D., Daniau A.L., Finsinger W., Gil-Romera G., Kaltenrieder P., Pini P., Sadori L., Turner R., Valsecchi V. & Vescovi E.** 2011. Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500–2500 cal. BP). *The Holocene* 21: 53-73.
- Whitlock C. & Larsen C.** 2001. Charcoal as a fire proxy. In: J.P. Smol, H.J.B. Birks, W.M. Last (eds.) *Tracking Environmental Changes using Lake Sediments – Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers: 1-23.



# FIREWOOD AND TIMBER EXPLOITATION DURING THE THIRD AND SECOND MILLENNIA BC IN NORTHWESTERN IBERIA: WOOD RESOURCES, TERRITORIES AND CHAÎNE OPÉRATOIRE

María Martín-Seijo<sup>1</sup>, Ana M.S. Bettencourt<sup>2</sup>, Emilio Abad-Vidal<sup>3</sup>  
& Juan C. López García<sup>4</sup>

**Abstract:** Human societies established productive strategies in order to obtain the material resources needed for their day-to-day life, including firewood and timber. These strategies were determined by the environmental supply, and also by the cultural characteristics and technical capacities of these communities.

This paper presents charcoal analysis data from four Chalcolithic and Bronze Age open-air settlements located in the northwest of the Iberian Peninsula and occupied during the third and second millennia BC. These results contribute to the knowledge of the exploitation of wooden resources, of the territories where these resources were collected, and of the firewood and timber production process. The identified wood taxa point to a diversified exploitation of the territory, where firewood and timber were collected and/or felled in the deciduous woodland, the river banks and scrubland areas. The characteristics of the wood elements used, the degree of growth ring curvature, the minimum diameter of twigs or logs, etc., as well as other data from archaeological contexts, such as the length of the postholes, were all taken into account to establish hypotheses related to the operative chain of forest resources. The wooden resources consumed in each site allowed us to hypothesize about the territory of each community.

**Key-words:** Charcoal Analysis; Dendrology; Northwest of the Iberian Peninsula; Third and second millennia BC; Forest resources; “*Chaîne opératoire*”; Territories.

**Resumo:** As sociedades humanas estabelecem toda uma série de estratégias produtivas destinadas a obter os meios materiais necessários para a sua existência, entre elas, o aprovisionamento de lenha e de madeira. Estas estratégias, além de estarem condicionadas pela oferta ambiental, são igualmente resultantes das características culturais e das capacidades técnicas das comunidades.

Os dados arqueobotânicos que se apresentam procedem de vários lugares de habitação do Calcolítico e da Idade do Bronze da fachada ocidental do Noroeste peninsular com cronologias que abarcam o 3º e parte do 2º milénios AC. Os resultados obtidos permitiram identificar uma exploração diversificada dos recursos lenhosos que combinava a recolha de lenha e de madeira da floresta climácica com a proveniente das áreas de mato. As formações arbóreas situadas nas margens dos cursos de água também constituíram fonte de aprovisionamento de combustíveis e, provavelmente, de madeira. A análise dendrológica das amostras registando o grau de curvatura dos anéis de crescimento

---

<sup>1</sup> Dep. de Historia I. Univ. de Santiago de Compostela, Praza da Universidade s/n 15782 Santiago de Compostela, Espanha, GEPN/USC.E-mail: maria.martin.seijo@gmail.com

<sup>2</sup> Dep. de História da Univ. do Minho. Campus de Gualtar 4710-057, Braga, Portugal. Centro de Investigação Transdisciplinar Cultura, Espaço e Memória das Universidades do Porto e Minho – CITCEM, financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projecto Pest OE/HIS/UI4059/2011.E-mail: anabett@uaum.uminho.pt

<sup>3</sup> Fundación Centro de Supercomputación de Galicia. Santiago de Compostela, Espanha. E-mail:eav@cesga.es

<sup>4</sup> DOA Arqueoloxía, Rúa Sollans, 16 – 2º, 15866 Teo A Coruña, Espanha.E-mail: jc.doa@telefonica.net

anual, o diâmetro mínimo dos ramos ou troncos consumidos, entre outras características, em inter-relação com determinados contextos arqueológicos (dimensões dos buracos de poste, por exemplo), proporcionaram hipóteses relacionadas com a cadeia técnica-operativa dos recursos florestais. A caracterização dos recursos usados em cada um dos casos de estudo permitiu, igualmente, colocar hipóteses sobre o território de vivência, de circulação e de exploração de cada comunidade.

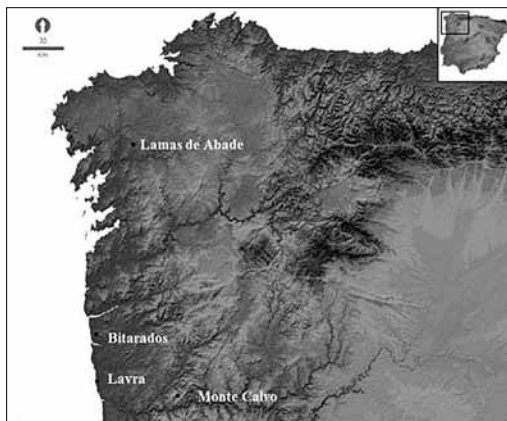
**Palavras-chave:** Antracologia; Dendrologia; Noroeste da Península Ibérica; Terceiro e Segundo milénios AC; Recursos florestais; Cadeia técnico-operatória; Territórios explorados.

## 1. INTRODUCTION

The exploitation of wood resources in the past was determined by the relationship established between communities and their environment, which is reflected in the archaeobotanical record. This activity was conditioned by such issues as availability and proximity, but also by social and economic factors (settlement type, duration of occupation, group size, technological development, etc.) (Piqué 1999).

This article examines evidence related to wood resource (firewood and timber) exploitation and the associated production processes in Northwest Iberia during the third and second millennia BC, drawing on the concept of *chaîne opératoire*. It also aims to estimate the territories in terms of distance covered and time invested. For this purpose four case studies were used: Lamas de Abade; Bitarados; Monte Calvo, and Lavra.

Archaeobotanical and archaeological information from Lamas de Abade (Santiago de Compostela, Galicia), an open-air settlement that was probably occupied repeatedly from the third to second millennia BC, was compared with three other sites (Fig. 1). The significance of the results presented in this article resides in the long occupation of this site during a period of time when archaeobotanical samples from Northwest Iberia are quantitatively few (Bettencourt *et al.* 2007b). The third millennium BC data were compared with Bitarados (Esposende, Portugal), a site whose qualitative data has been previously published (Bettencourt *et al.* 2007b: 156-157), with the



**Fig. 1** – Location of the archaeological sites presented in this paper.

quantitative results analyzed in this paper. The second millennium data were compared with two recently studied sites: Monte Calvo (Baião, Portugal) and Lavra (Matosinhos, Portugal) (Martín-Seijo 2010, 2011; Martín-Seijo *et al.* 2011).

Three of the sites (Lamas de Abade, Bitarados and Lavra) are located in the Atlantic area under an oceanic influence, characterized by a climate with moderate temperatures and abundant winter rain, although Bitarados and Lavra are situated

in coastal areas characterized by short dry summer seasons with rare and irregular rain. Monte Calvo is located near the Douro valley in the Mediterranean climatic area, characterized by very dry summers.

Past environmental conditions in this area were determined around 3000 cal. BC by a cold, relatively dry and windy episode (Martínez Cortizas *et al.* 2009). Geochemical proxies in peat bogs suggest that during this period temperatures decreased, and were up to 2-2.5° C colder than present (Martínez Cortizas *et al.* 2009). Paleotemperature reconstruction indicates a continuous cooling until 2500 cal. BC, at which point temperatures rose by about 1°C, and remained stable until a further cooling trend in the second half of the 2nd millennium (1600-1400 to 1200 cal. BC) (Fábregas *et al.* 2003; Martínez Cortizas *et al.* 2009). Rainfall increased from 2600-2300 to 2200 cal. BC, and then decreased until 1400-1300 cal. BC (Fábregas *et al.* 2003; Martínez Cortizas *et al.* 2009).

## 2. ARCHAEOLOGICAL CONTEXT

Lamas de Abade is a complex site located at 220 m.a.s.l. in the base of a valley near a river course. The environs of the site are characterized by deep soils suitable for agriculture practices and slopes for grazing and animal husbandry. This site was partially excavated (0.55ha) in 2010, and radiocarbon dates showed that it was occupied repeatedly over a long period of time (Tab. 1). Thirty features were documented, including ten hut structures, six postholes, one hearth, one pit and twelve features of undetermined function. During the third millennium BC the site probably consisted of an open-air settlement comprised of several huts of similar morphology, which suggests that they were built over a short period of time. Pottery which could be predominantly attributable to Penha-type style was recovered from one of the huts which yielded two radiocarbon dates (Beta-289830 and Beta-289831). Later occupations of the site date to the beginning and the end of the second millennium BC.

In contrast, Bitarados is located on the coast and seems to have been a sedentary settlement with a long sequence of episodes of occupation during the first half of the third millennium BC (Tab. 1). It is situated in a granitic alveolus, sheltered from wind and cold, providing excellent conditions for agriculture and grazing. Features found during excavation included several hearths, a pit, and clay floors associated with various postholes, many of which had stone packing and some wooden posts preserved *in situ* by carbonization; cereal and animal bone remains were also recovered (Bettencourt *et al.* 2003, 2007a, 2007b; Cardoso & Bettencourt 2008). Both Monte Calvo and Lavra seem to have been large settlements, the former situated inland in a mountainous area, and the latter located less than 1 km from the current coastline, on a residual hill within the littoral platform. Both settlements contained hearths, pits and structures made of perishable materials, but no carpological remains were recovered from either site (Gonçalves & Bettencourt 2010; Bettencourt & Fonseca 2011).

**Tab.1** – Chronology of sites: <sup>14</sup>C dates calibrated using OxCal 4.1. (curve IntCal09) (Reimer *et al.* 2009)

Site	Conventional radiocarbon age (BP)	2 Sigma calibrated result (BC)	Laboratory reference
Bitarados	4125±51	2878-2753	AA63067
	4122±43	2873-2577	AA63066
Lamas de Abade	4090±40	2866-2493	Beta-289830
Bitarados	4046±42	2850-2471	AA63065
Lamas de Abade	3980±40	2580-2450	Beta-289831
	3880±40	2471-2209	Beta-289825
	3530±40	1963-1745	Beta-289832
Monte Calvo	3444±38	1883-1666	AA89562
	3333±74	1870-1444	AA89563
Lavra	3230±40	1609-1428	Beta-258086
	3220±40	1608-1417	Beta-258087
Lamas de Abade	2910±40	1261-996	Beta-289824

During the first half of the third millennium BC communities were probably less mobile than in the Neolithic. This increased lack of mobility was linked to the development of cereal agriculture and animal husbandry, resulting in greater territorialization by these communities (Jorge 1999; Bettencourt 2009). During the second millennium BC (from 3500 BP on) there is evidence of sedentary populations occupying the valley lowlands. These communities probably developed an agricultural subsistence strategy based on the rotation of cereals and legumes, as well as animal husbandry (Jorge 1999; Bettencourt 1999, 2003; Figueiral & Bettencourt 2007). Palynological analysis reveals a consequent impact on forest cover (Ramil 1993).

### 3. MATERIAL AND METHODS

All the analyzed charcoal samples were preserved by carbonization. In Lamas de Abade the charcoal assemblages were recovered by flotation in the lab using 2mm, 1mm and 0.5 mm meshes, and in Bitarados, Lavra and Monte Calvo by flotation and dry sieving. The fragments ( $n=1931$ ) were first identified using a compound microscope, and the anatomical features of the wood were observed on the three sections (cross, tangential and radial). The dendrological and taphonomic characteristics were observed and registered on a total of 675 fragments from 3 sites (Lamas de Abade, Monte Calvo and Lavra). The following aspects were considered: part of the plant, presence of tyloses, minimum diameter, season of cutting, and also different types of alterations related to the combustion process (radial cracks, vitrification, cellular collapse, etc.), to growth conditions (scars, compartmentalization, reaction wood etc.) and to taphonomic processes (fragmentation, erosion, biological action, etc.) (Théry-Parisot 2001; Thiébault 2005; Marguerie & Hunot 2007; Macparland *et al.* 2010). Indirect archaeobotanical

evidence, such as clay impressions or postholes, was also analyzed to recover different data on timber or wattle manufacture (Cubero 1997; Nava & Fernández 2001; Gómez 2008; Martín-Seijo & Carballo 2010).

The *chaîne-opératoire* alludes to the sequence of actions involved in the production processes of firewood and timber, and emphasizes every stage of wood resource production, particularly supply and the properties of raw materials (Martinón-Torres 2002). The present research focuses not only on the archaeobotanical remains, but also on the sequence of actions, techniques and gestures that they represent. To reconstruct the main stages of the *chaîne-opératoire* direct evidence (archaeological and archaeobotanical data) was used, along with indirect evidence derived from the compilation of the historical and ethnographic data of this geographical area (Piqué 1999; Dufraisse 2011).

Territorial spatial distribution of resources was estimated by the presence of riverine forest species, which would have been associated with water courses due to their ecological requirements. To calculate the models of distance costs from the settlement to the resources (in this case to the nearest water course), surfaces of anisotropic costs were used. The digital terrain model ASTER [1] was the base mapping used to calculate the speed of movement, using Tobler's [2] procedures. The GIS used in the calculations was the ArcInfo version of ArcGIS 9.2 and the commands applied were slope, aspect, and path distance. The isochrones for 15, 30, 60 and 120 minutes and for distances of 1 and 2 km from the settlement were calculated.

#### 4. WOOD RESOURCES AND PRODUCTION PROCESS (*CHAÎNE OPÉRATOIRE*)

Lemonier (1986:149) used Creswell's (1976: 6) definition of *chaîne opératoire* or operational sequence "as a series of operations which brings primary material from its natural state to a fabricated state". The technical choices involved in the wood resource production and use processes were woven into a social, economic and ideological tapestry that is, in many ways, unique to a particular place and time (Skibo & Schiffer 2008: 1-2). In order to study the firewood and timber production process in these contexts, the concept of *chaîne opératoire* was used to organize the archaeological and archaeobotanical record (Gosselain 2010-2011). Four main stages in this process were distinguished: i) raw material procurement (supply); ii) preparation (transport, support configuration: to cut off branches or bark, to rough-hew and split the trunk, etc.); iii) product preparation (storage, drying and shaping); iv) final product (energy or structures/objects). This concept also allows the integration of interrelated elements which underlie the manufacturing process, such as the individual, environment, raw material, tools, skills, knowledge, social and economic relations, etc.



#### 4.1. Raw material procurement

The main data relating to the raw material supply consisted firstly of the identification of the species and plant part collected, and secondly, the plant communities exploited (Tables 2 to 6). The wood resources were obtained primarily from trees and bushes, such as *Quercus* sp. deciduous, Rosaceae/Maloideae, *Salix* sp./*Populus* sp. and *Alnus* sp. Scrubs, such as Fabaceae, *Erica* sp., *Erica arborea* or Cistaceae were identified in the samples dating to the third millennium BC from Bitarados, and in all of the sites occupied during the second millennium. Wasteland vegetation such as Fabaceae was predominant since the Chalcolithic, as has been previously shown by I. Figueiral and A.M.S. Bettencourt (2004, 2007). Although in two structures (a hut and hearth) related to the earliest occupations of Lamas de Abade no scrub species were documented, with only woodland taxa identified.

**Tab. 2** – Absolute and relative frequencies of the samples analyzed (concentrated charcoal) from Lamas de Abade.

Site	LAMAS DE ABADE					
	3rd Millennium		2nd Millennium			
Chronology	29th-23th cal. BC		20-18th cal. BC		13th-11th cal. BC	
Archaeological contexts	Hut		Fireplace		Hut	
Communities/Taxa	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%
<b>Temperate mixed woodland</b>						
<i>Quercus</i> sp. deciduous	85	81,73	96	96	38	38
Rosaceae/Maloideae	3	2,88			8	8
<i>Corylus avellana</i>					29	29
<i>Quercus</i> sp.	1	0,96			1	1
<i>Prunus</i> sp.			3	3		
<i>Quercus/Castanea</i>	1	0,96				
<b>Riverine woodland</b>						
<i>Salix</i> sp./ <i>Populus</i> sp.	2	1,92			6	6
<i>Alnus</i> sp.	12	11,54				
<i>Betula</i> sp.					1	1
<b>Scrubland</b>						
Fabaceae					14	14
<b>Others</b>						
<i>Pteridium aquilinum</i>					1	1
Non-identified					1	1
Non-identifiable			1	1		
Number of taxa	6	–	2	–	8	–
Number of fragments	104	100	100	100	100	100

The *Quercus/Castanea* fragment of Lamas de Abade was too small to determine which of these species it belongs to. *Castanea sativa* is difficult to differentiate from *Quercus* sp. deciduous as both species have similar anatomical features, the absence of multiseriate rays is the most significant in identifying *Castanea*. Chestnut dating to the Middle Bronze Age was identified in the charcoal samples (Figueiral 2000a) and the pollen assemblages (Aira Rodríguez & Ramil Rego 1995; Bettencourt 2000) from the settlement site of Sola, and also from the Late Bronze Age at the sites of S. Julião (Figueiral & Bettencourt 2004) and Carballeira do Espírito Santo (Blanco & Prieto 2009).

**Tab.3** – Absolute and relative frequencies of the samples analyzed at Monte Calvo and Lavra (concentrated and dispersed charcoal) (Martín-Seijo 2010, 2011; Martín-Seijo *et al.* 2011)

Site	MONTE CALVO		LAVRA	
Chronology	2nd Millennium			
	19th-17th cal. BC		17th-15th cal. BC	
Communities/Taxa	Nb.	%	Nb.	%
<b>Temperate mixed woodland</b>				
<i>Quercus</i> sp. deciduous	212	70,67	15	21,13
Rosaceae/Maloideae	10	3,34	4	5,63
<i>Corylus avellana</i>	3	1	1	1,41
<i>Ilex aquifolium</i>	1	0,34	1	1,41
<b>Riverine woodland</b>				
<i>Salix</i> sp./ <i>Populus</i> sp.	1	0,34	6	8,45
<i>Alnus</i> sp.	4	1,34		
<i>Betula</i> sp.			2	2,82
<i>Frangula alnus</i>			1	1,41
<i>Fraxinus</i> sp.			6	8,45
<b>Scrubland</b>				
Fabaceae	65	21,67	30	42,25
<i>Cistus</i> sp.			1	1,41
<b>Others</b>				
<i>Pinus</i> tp. <i>pinia</i> / <i>pinaster</i>			4	5,63
Non-identifiable	3	1		
Number of taxa	7	–	11	–
Number of fragments	300	100	71	100

The presence of *Ilex aquifolium* in charcoal samples from Northwest Iberia is very infrequent, although this evergreen tree grows in association with temperate

**Tab. 4** – Absolute and relative frequencies of the concentrated charcoal of Bitarados 1 and 2 (level 3), this analysis was done by Isabel Figueiral and was partially published in Bettencourt *et al.* (2007)

Site		BITARADOS													
Chronology		3rd Millennium 29th-28th cal. BC													
Communities/Taxa	Persihable construction-Burning event		Huts-Abandonment levels		Pavement		Pavement		Pit		Post hole		Fireplace		
	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	Nb.	%	
<b>Mixed deciduous forest</b>															
<i>Quercus</i> sp. deciduous	59	45,4	328	58,9	133	66,8	52	49,5	78	57,8	63	–	44	–	
<i>Corylus avellana</i>	31	23,8	24	4,3	13	6,5	3	2,9	8	5,9	1	–	–	–	
Rosaceae/Maloideae	7	5,4	19	3,4	1	0,5	3	2,9	1	0,7	–	–	–	–	
<i>Quercus</i> sp.	3	2,3	10	1,8	8	4,02	2	1,9	3	2,2	3	–	6	–	
<i>Quercus</i> sp. evergreen	2	1,5	3	0,5	13	6,5	1	0,9	1	0,7	2	–	–	–	
<i>Quercus suber</i>	–	–	8	1,4	–	–	–	–	–	–	2	–	–	–	
<b>Riverine woodland</b>															
<i>Fraxinus</i> sp.	–	–	45	8,1	–	–	18	17,1	–	–	–	–	–	–	
<i>Salix</i> sp./ <i>Populus</i> sp.	1	0,8	9	1,6	1	0,5	1	0,9	5	3,7	–	–	–	–	
<i>Sambucus</i> cf. <i>nigra</i>	1	0,8	5	0,9	2	0,01	–	–	2	1,5	–	–	–	–	
<i>Alnus</i> sp.	–	–	–	–	4	2,01	2	1,9	1	0,7	–	–	–	–	
<i>Frangula alnus</i>	–	–	1	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
<b>Scrubland</b>															
Fabaceae	20	15,4	87	15,6	21	10,6	17	16,2	31	23,0	5	–	–	–	
<i>Erica</i> sp.	2	1,5	1	0,2	–	–	–	–	2	1,5	–	–	–	–	
Compositae	–	–	2	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Cistaceae	1	0,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Erica arborea</i>	–	–	1	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
<b>Others</b>															
<i>Pinus</i> sp. <i>pinia</i> / <i>pinaster</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	
<i>Clematis vitalba</i>	–	–	1	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
<i>Quercus</i> / <i>Clematis</i> (root)	–	–	1	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Cork	–	–	–	–	–	–	1	0,9	–	–	–	–	–	–	
Non-identifiable	3	2,3	12	2,2	3	1,5	5	4,8	3	2,2	3	–	–	–	
Number of taxa	10	–	15	–	9	–	9	–	10	–	7	–	2	–	
Number of fragments	130	100	557	100	199	100	105	100	135	100	80	–	50	–	

mixed woodlands. The presence of holly was identified in anthracological samples from several Bronze Age sites: Monte Calvo (Baião, Portugal) (Martín-Seijo 2010); Lavra (Matosinhos, Portugal) (Martín-Seijo 2011); Lavra (Baião, Portugal) (Figueiral 1995) and São Julião (Vilaverde, Portugal) (Figueiral 2000b). *Prunus* sp. another rare genera in this area during the Chalcolithic, and Early and Middle Bronze Age, was documented at Lamas de Abade in the 3<sup>rd</sup> to the 2<sup>nd</sup> millennium BC transition (Early Bronze Age), at Castelo Velho (Freixo de Numão, Portugal) from the 20<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> centuries BC (Figueiral 1999), and from the 19<sup>th</sup> to 13<sup>th</sup> centuries BC at Pala da Vella (Biobra, Ourense) (Carrión 2005). While the presence of *Pteridium aquilinum* in the charcoal assemblages of this area is infrequent, this taxa was documented at Lamas de Abade during the 13<sup>th</sup> to 11<sup>th</sup> centuries BC and could be related to forest clearance. These ferns could be used as raw material for roofing or even as firewood when dry.

Charcoal fragments of *Pinus* sp. *pinaster* were identified sporadically in Bitarados and Lavra. The presence of this pine during Late Prehistory in Northwest Iberia was sporadic and limited to coastal areas, while it had a significant presence in northeast and central-east Portugal (Figueiral 1995; Figueiral & Bettencourt 2004). Data from these two sites indicate its presence in coastal areas since the Chalcolithic (first half of the third millennium BC) in Bitarados, and continuing into the Middle Bronze Age (first half of the second millennium BC); until now, sites where this taxon was identified include Sola (Braga, Portugal) during the Middle Bronze Age (Figueiral 2000a) and in several sites dated in the Late Bronze Age (Figueiral & Bettencourt 2004). These pine communities in coastal areas could be associated with another undergrowth species as *Erica* sp., *Cistus* sp. and Cistaceae.

The identified taxa formed part of different plant communities, coming predominantly from mixed deciduous forest (*Quercus* sp. deciduous, Rosaceae/Maloideae and *Corylus avellana*) and riverine woodland (*Salix* sp./*Populus* sp. and *Alnus* sp.). The exploitation of scrubland formations was identified in a representative percentage from Bitarados during the third millennium, and during the second millennium at Monte Calvo and Lavra. Forest clearance by human populations may have favored the establishment of early colonizing species such as legumes followed by heathers (Figueiral 1995).

Identification of the plant part and the growth ring curvatures (Fig. 2) indicate that twigs and branches were the preferred firewood, probably the result of coppicing or pruning of lower and small branches of some trees and shrubs or the harvesting of dead wood (Tab. 7). Cross-sections of several fragments of deciduous oak showed an area of narrow tree rings comparable to those found today on pollarded trees (Schweingruber 1996; Thiébaud 2006). Scars were also identified on *Quercus* sp. deciduous and *Salix* sp./*Populus* sp. The evidences of biological action (xylophagus or hyphae) in several samples could be related to the harvesting of dead wood, to the storage of firewood or to taphonomic processes (Théry-Parisot 2001; Moskal del Hoyo *et al.* 2010). The presence of alterations such as cellular collapse could be related to the burning of high humidity or green firewood (Théry-Parisot 2001).

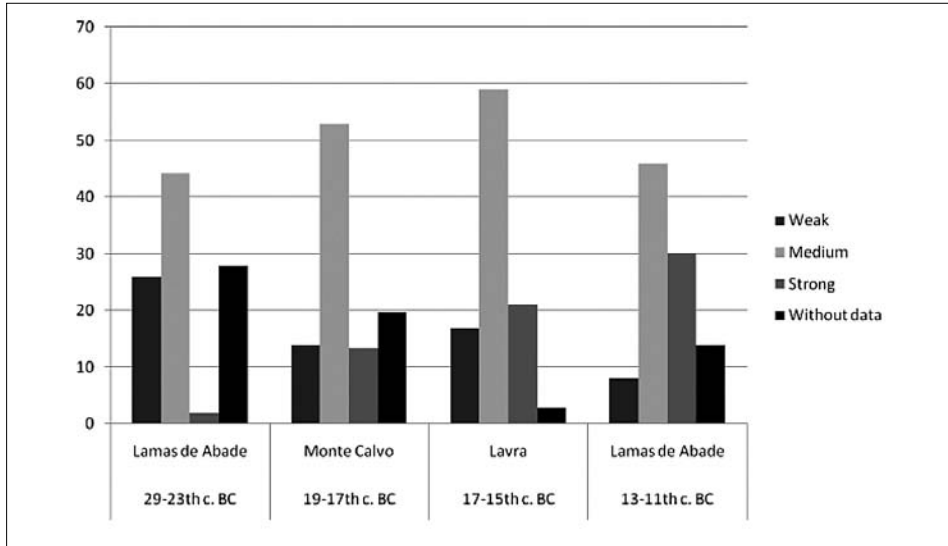


Fig. 2 – Growth rings curvature observed in the fragments of charcoal.

Tab. 5 – Absolute and relative frequencies of the dispersed charcoal from Bitarados 1 and 2 (level 3b), this analysis was done by Isabel Figueiral and was partially published in Bettencourt *et al.* (2007)

Site	BITARADOS	
Chronology	3rd Millennium 29th-28th cal. BC	
Communities/Taxa	Nb.	%
<b>Mixed deciduous forest</b>		
<i>Quercus</i> sp. deciduous	64	56,1
<i>Corylus avellana</i>	7	6,1
<i>Quercus suber</i>	4	3,5
<i>Quercus</i> sp.	4	3,5
<b>Riverine woodland</b>		
<i>Fraxinus</i> sp.	13	11,4
<i>Alnus</i> sp.	1	0,9
<i>Frangula alnus</i>	1	0,9
<i>Sambucus</i> cf. <i>nigra</i>	3	2,6
<i>Salix</i> sp./ <i>Populus</i> sp.	1	0,9
<b>Scrubland</b>		
Fabaceae	14	12,3
Non-identifiable	2	1,8
Number of taxa	10	–
Number of fragments	114	100

**Tab. 6** – Absolute and relative frequencies of the dispersed and concentrated charcoal of Bitarados 3 (level 2), this analysis was done by Isabel Figueiral and was partially published in Bettencourt et al. (2007)

Site	BITARADOS			
Chronology	3rd Millennium			
	29th-25th cal. BC			
Communities/Taxa	Dispersed		Fireplace	
	Nb.	%	Nb.	%
<b>Mixed deciduous forest</b>				
<i>Quercus</i> sp. deciduous	236	58,7	84	67,2
<i>Corylus avellana</i>	28	7,0	5	4
Rosaceae/Maloideae	17	4,2	4	3,2
<i>Quercus</i> sp.	13	3,2	3	2,4
<i>Quercus</i> sp. evergreen	4	1,1	3	2,4
<i>Quercus suber</i>	3	0,7	1	0,8
<i>Rubus</i> sp.	2	0,5		
cf. <i>Castanea</i> sp.	1	0,2		
<i>Castanea/Quercus</i>	1	0,2		
<i>Arbutus unedo</i>	1	0,2		
<b>Riverine woodland</b>				
<i>Fraxinus</i> sp.	5	1,2		
<i>Salix</i> sp./ <i>Populus</i> sp.	2	0,5		
<i>Sambucus</i> cf. <i>nigra</i>	1	0,2	1	0,8
<i>Alnus</i> sp.	1	0,2		
<b>Scrubland</b>				
Fabaceae	77	19,2	23	18,4
<b>Others</b>				
Monocotiledonea	1	0,2		
Root	1	0,2		
Non-identifiable	8	2,1	1	0,8
Number of taxa	15	–	8	–
Number of fragments	402	100	125	100

This kind of gathering required a simple technology: firewood could be collected by hand, using a rope or simple cutting tools. The trees and the forest varied with a seasonal rhythm, as did the energy demands of cooking and heating; consequently, the work invested in gathering firewood probably varied throughout the year and was higher during autumn and winter. These seasons also correspond to a time of year when communities engaging in cereal agriculture had less work to do, in comparison to the labor intensive spring and summer periods, as is indicated by ethnographical data from northwest Portugal and Galicia (Lorenzo 1982; Blanco

**Tab. 7** – Presence of alterations on the analyzed charcoal fragments.

Site	LAMAS DE ABADE		MONTE CALVO	LAVRA	LAMAS DE ABADE
Chronology	3rd Millennium		2nd Millennium		
	29th-23th cal. BC	20-18th cal. BC	19th-17th cal. BC	17th-15th cal. BC	13th-11th cal. BC
<i>Plant conditions of growth</i>					
Growth changes	•		•	•	•
Scars			•	•	•
Reaction wood				•	
<i>Combustion process</i>					
Radial cracks	•	•	•	•	•
Vitrification	•	•	•	•	•
Tangential cracks	•	•	•		
Cellular collapse	•	•			•
<i>Biological action</i>					
Xylophagus	•	•	•		•
Hyphae		•	•	•	•

1996). The season of plant death was registered in a few cases: in Monte Calvo (19<sup>th</sup>-17<sup>th</sup> centuries cal. BC) one fragment of Rosaceae/Maloideae branch was cut during spring or summer, and one fragment of *Quercus* sp. deciduous branch was cut during autumn or winter; and in Lamas de Abade (13<sup>th</sup>-11<sup>th</sup> centuries cal. BC) five fragments of a Rosaceae/Maloideae branch were cut during autumn or winter.

Firewood gathering was probably a daily activity, which contrasts with the sporadic demand for timber and other wood resources for construction. For construction purposes, the distance and time invested in the supply of raw material was probably greater due to the selection of these resources on the basis of physical and mechanical properties and morphological characteristics e.g. high quality trunks (long-lasting wood, straight logs, etc.) for structural elements, flexible branches for frameworks, etc. The trees were felled using axes or sometimes by pulling them down with ropes (Abella 2003).

## 4.2. Preparation

Preparation of the raw material consisted primarily of transportation (using human or animal effort) and support configuration. The images compiled by Ruth Matilda Anderson in Northwest Iberia (Lenaghan & Seixas 2011), and those from the Spanish Forest Photographic Library DGN-INIA (Montero *et al.* 2007), showed that the



**Fig. 3** – Ethnographic examples of firewood (3.1 and 3.2) and timber transport (3.3 and 3.4) using human effort and using animal effort (3.5 and 3.6) [3.1 and 3.3 from Lenaghan & Seixas 2011; 3.2 and 3.4 from Montero *et al.* 2007].

transportation of firewood and timber was achieved essentially using human or animal effort (Fig. 3.1 to 3.4), and even floating, as was done in the Lima river (unpublished data compiled by AMSB in the *Celebração da Cultura Costeira – CCC* project). Ethnographical evidence can be used to inform a greater understanding of the gestures involved in the transport of wood resources. Firewood and timber transport using human effort could cause postural lesions similar to those degenerative lesions described by Balaguer *et al.* 2002 or Barroso *et al.* 2007, as this work involves long walks carrying heavy weights, and repetitive strain.



During this period the transportation of large logs or big firewood bundles could have been accomplished using animal traction. Ethnographic data shows that traditionally mules and oxen were the preferred draught animal in the Iberian Peninsula (Fig. 3.5 and 3.6). The most common types of timber or firewood transportation in the recent past consisted of dragging the material or the use of a cart to carry it. The configuration of the supports was probably essential before large trunks or branches, suitable for hut construction in the open-air settlements, were transported. Although archaeological evidence of these practices have not yet been identified, ethnographic data shows that branches and bark were usually removed from the trunk, or even the support could be rough-hewn and split.

### 4.3. Product preparation

Product preparation in relation to both firewood and timber could include storage, drying and shaping. However, preservation by carbonization and other taphonomical processes made it difficult to identify these activities. While there is no identifiable evidence which indicates the preparation of firewood, there is indirect evidence of product preparation of structural timbers. It seems that the trunks used as posts were probably used whole and without splitting, with minimal shaping limited to the end which would be set into the ground. The fragmentation of the charcoal analyzed prevented the registering of this feature.

### 4.4. Final product

In relation to the wood manufacture processes, the episodes of burning noted in several occupation levels at Bitarados facilitated the preservation of wooden structural elements. Several wooden posts, preserved by carbonization, were associated with postholes and clay floors in layer 3 (Bettencourt *et al.* 2003: fig. 9 and unpublished data). On this site, the posts were predominantly of oak (*Quercus* sp. Deciduous), and the roof covering of *Fabaceae* branches and twigs. The presence of branch impressions in clay at Bitarados (Bettencourt *et al.* 2003) and Lavra (Bettencourt & Fonseca 2011) suggest that wattle and daub walls were used to enclose the structures, probably using long and straight branches of different species.

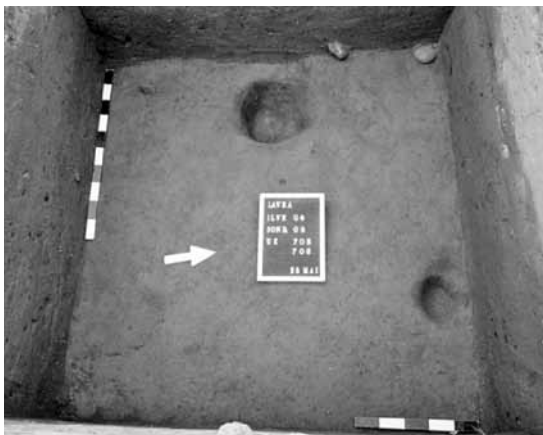


Fig. 4 – Post holes documented during the excavation at Lavra (Bettencourt & Fonseca 2011).

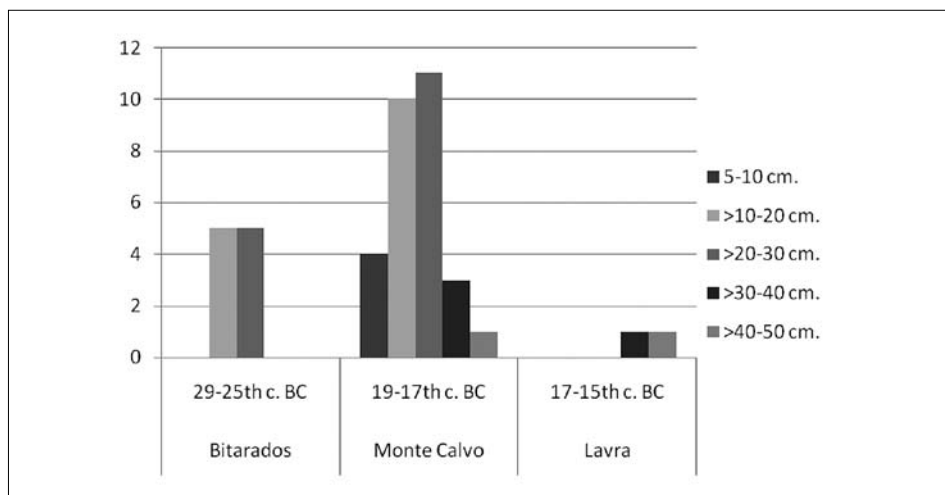


Fig. 5 – Postholes maximum diameter.

Posthole measurements from Bitarados (Bettencourt unpublished data), Monte Calvo (Gonçalves & Bettencourt 2010) and Lavra (Bettencourt & Fonseca 2011) (Fig. 4), show that the posts ranged in diameter from 6 – 50 cm, with the most common size measuring between 10 – 30 cm in diameter (Fig. 5). Several postholes with a diameter greater than 30 cm could have contained a post and a smaller supporting timber. Other postholes of oval shape could have contained a post and stone packing.

## 5. WOOD RESOURCES EXPLOITATION TERRITORIES

The pattern of wood fuel collection and use is related to the nature of the supply sources (availability), their location (accessibility and proximity), and social and economic factors (settlement type, duration of occupation, group size, technological development, etc.). These factors conditioned the distance covered and time invested by these communities in firewood gathering. By estimating path distance the hypothetical exploitation territories of these communities can be approximated. It is difficult to delimitate the wood resources exploitation territories of past communities on the basis of the archaeobotanical record. Plant distribution is determined by abiotic (substrate type and climate) and biotic (derived of the plant species themselves) factors (Spikins 2000) that change through time. In this case, the spatial distribution of resources within the territory was estimated by the presence of different riverine species associated with water courses, which because of their hydric requirements probably did not experience great variations in their past distribution. Only the main water courses were considered in calculations of distance and time, as smaller courses could have suffered alterations in relation to climatic conditions of the 3<sup>rd</sup> and 2<sup>nd</sup> millennia BC, which were drier and colder compared to the present (Martínez Cortizas *et al.* 2009); in reality in certain cases the distances to riverine species could have been even less.

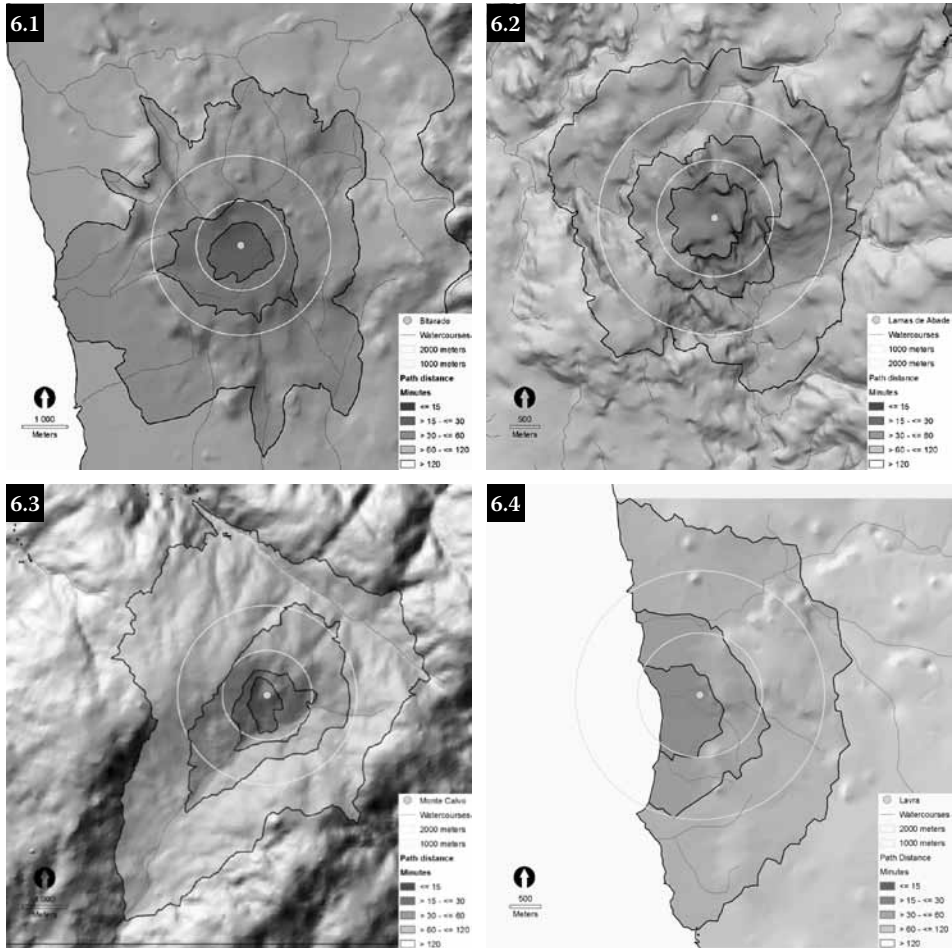


Fig. 6 – Path distances from the sites: minutes and meters. 6.1 – Bitarados; 6.2 – Lamas de Abade; 6.3 – Monte Calvo; 6.4 – Lavra.

Mindful of these constraints, it appears that the Chalcolithic, Early and Middle Bronze Age communities of the northwest of Iberian Peninsula probably collected and transported riverine species within a distance of 1 km (less than 15 minutes). For the sites of Bitarados, Monte Calvo and Lavra these resources were within 15 minutes walking distance (less than 1 km), and for Lamas de Abade the distance was between 1 km to 2 km (between 15 and 30 minutes) (Fig. 6.1, 6.2, 6.3 and 6.4). However, we have to take into account that the main wood resources were deciduous oak or Fabaceae, which in some cases could be harvested in the surroundings of the settlements, within the theoretical territory of 15, 30 and 60 minutes (Fig. 6.1 to 6.4).

## 6. CONCLUSIONS

The variety of taxa identified at the four archaeological sites reflects the exploitation of the following type of plant communities during the third and second millennia BC:

- Temperate mixed woodland characterized by the presence of *Quercus* sp. deciduous, Rosaceae/Maloideae and *Corylus avellana*;
- River banks with *Salix* sp./*Populus* sp., *Alnus* sp., *Betula* sp., *Frangula alnus*, *Fraxinus* sp. and *Sambucus* sp.;
- Scrubland formations including Fabaceae, Cistaceae, *Cistus* sp. and Ericaceae. Although the preliminary anthracological data of Lamas de Abade did not confirm the binomial *Quercus* sp. deciduous and Fabaceae from the Chalcolithic and Early Bronze Age, at Bitarados (Figueiral & Bettencourt 2007), Monte Calvo (Martín-Seijo 2010; Martín Seijo *et al.* 2011) and Lavra (Martín-Seijo 2011) both taxa were identified;
- Plant communities with *Pinus* sp. *pinaster*. Their presence in Bitarados and Lavra established the distribution of these species along the Iberian coastline during the Chalcolithic and Middle Bronze Age in the Northwest.

The identification of the plant part and growth rings curvature showed a preferential use of twigs and branches as firewood. There was some direct evidence for the use of large logs in the construction of huts (structural timbers preserved by carbonization within postholes), primarily oak (*Quercus* sp. deciduous), as well as indirect evidence (morphology and dimensions of the postholes). As the path distances to the river courses were short, it is probable that firewood was carried using human effort, and timber using human or animal effort.

The construction of the huts required a high investment of time and labor over a number of stages: selection of the plant (species, diameter) and the plant part (trunk, branches), felling the tree or pruning the branches, transport to the settlement, shaping, and erection into place. It is probable that there was also a seasonal organization of work, with trees felled during the autumn or winter, branches cut during the spring to favor the formation of scar tissue.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** We would like to thank the directors of the excavations: Jorge Fonseca and António Huet Bacelar Gonçalves, for putting at our disposition both the study material and the archaeological information derived from them. Thanks also to Isabel Figueiral for putting at our disposition the charcoal analysis results of Bitarados, to Clíodhna Ní Lionáin and Pablo Martín-Seijo for reviewing the English version of the text. We also thank Isabel Figueiral for her helpful advice and comments on the manuscript.

This research was developed under the projects: *Forest and scrubland management from Iron Age to roman period in the northwest of the Iberian Peninsula: firewood consumption and wooden manufacture production*; IDEPatri-Design and development of a data model for an archaeological SPI during the Galician Iron Age – 09SEC002CT; *Bronze Age Landscapes in the West of Iberian Peninsula* – SFRH/BSAB/986/10 and *Geoindicators of natural and anthropogenic palaeoenvironmental evolution in the Portuguese NW, during de Holocene* – 2010/CGUP/CCT/UM.

## REFERENCES

- Abella I.** 2003. *El hombre y la madera*. Barcelona: Integral.
- Aira Rodríguez M.J. & Ramil Rego P.** 1995. Datos paleobotánicos del Norte de Portugal (Baixo Minho). Estudio polínico y paleocarpológico. *Lagascalia* 18 (1): 25-38.
- Balaguer P., Fregeiro M.I., Oliart C., Rihuete C. & Sintés E.** 2002. Indicadores de actividad física y cargas laborales en el esqueleto humano. Posibilidades y limitaciones para el estudio del trabajo y su organización social en sociedades extintas. In: I. Clemente, R. Risch & J.F. Gibaja (eds.) *Functional Analysis: Its Application to the Study of Prehistoric Societies*. Oxford: BAR International Series 1073: 97-108.
- Barroso Bermejo R., Bueno Ramírez P., Camino Mayor J. & Balbín Behrmann R.** 2007. Fuentenegro (Asturias), un enterramiento del Bronce Final – Hierro en el marco de las comunidades atlánticas peninsulares. *Pyrenae* 38 (2): 7-32.
- Bettencourt A.M.S.** 1999. *A Paisagem e o Homem na bacia do Cávado durante o II e o I milénios AC*. 5 vols. Braga: Universidade do Minho. PhD dissertation.
- Bettencourt A.M.S.** 2000. *O povoado da Idade do Bronze da Sola, Braga, Norte de Portugal*. Cadernos de Arqueologia Monografias 9. Braga: Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho.
- Bettencourt A.M.S.** 2003. Plant and animal husbandry in the second millennium BC in Northern Portugal. *Journal of Iberian Archaeology* 5: 199-208.
- Bettencourt A.M.S., Dinis A., Cruz C. & Silva I.S.** 2003. O povoamento Calcolítico do alvéolo de Vila Chã, Esposende (Norte de Portugal). Notas a propósito das escavações arqueológicas de Bitarados. *Portugália* 24. Nova Série: 25-44.
- Bettencourt A.M.S., Dinis A., Cruz C. & Silva I.S.** 2007a. A estação arqueológica de Bitarados, Vila Chã (Esposende – Norte de Portugal). *Boletim Municipal de Esposende*. Série 2, 1: 3-16.
- Bettencourt A.M.S., Dinis A., Figueiral I., Rodrigues A., Cruz C., Silva I.S., Azevedo M. & Barbosa R.** 2007b. A ocupação do território e a exploração de recursos durante a Pré-História Recente do Noroeste de Portugal. In: S. Jorge; A.M.S. Bettencourt & I. Figueiral (eds.) *A concepção das paisagens e dos espaços na Arqueologia da Península Ibérica. Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular, Faro 2006*. Faro: Centro de Estudos de Património / Departamento de História, Arqueologia e Património, Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Universidade do Algarve: 149-164.
- Bettencourt A.M.S. & Fonseca J.** 2011. *O povoado da Idade do Bronze de Lavra, Matosinhos. Contributos para o estudo do Bronze Médio do litoral Norte*. Braga: Centro de Investigação Transdisciplinar Cultura, Espaço e Memória – CITCEM, Câmara Municipal da Matosinhos, Junta de Freguesia de Lavra.
- Creswell R.** 1976. Avant-propos. *Techniques et Culture* 1: 5-6.
- Cubero C.** 1997. Impresiones vegetales: su análisis. (El Castellar de Berrueco). *Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia: 79-290.
- Balaguer P., Fregeiro M.I., Oliart C., Rihuete C. & Sintés E.** 2002. Indicadores de actividad física y cargas laborales en el esqueleto humano. Posibilidades y limitaciones para el estudio del trabajo y su organización social en sociedades extintas” In: I. Clemente, R. Risch & J.F. Gibaja (eds.) *Functional analysis: its application to the study of prehistoric societies*. BAR International Series 1073. Oxford: Archaeopress: 97-108.
- Blanco E.** 1996. *El Caurel. Las plantas y sus habitantes. Estudio etnobotánico de la Sierra del Caurel (Lugo). La importancia de las plantas para nuestros antepasados*. A Coruña: Fundación Caixa Galicia.
- Blanco R. & Prieto M.P.** 2009. Carballeira do Espírito Santo: un asentamiento aldeano de carácter familiar del Bronce Final. In: M.P. Prieto & F. Criado (coord.) *Reconstruyendo la historia de la Comarca del Ulla-Deza (Galicia, España). Escenarios arqueológicos del pasado*. Santiago de Compostela: CSIC, Lar-Instituto de Estudos Galegos Padre Sarmiento: 71-83.

- Cardoso J.L. & Bettencourt A.M.S.** 2008. Caça e pastorícia no Calcolítico do Noroeste de Portugal: estudo dos restos ósseos da estação arqueológica de Bitarados. *Estudos do Quaternário* 5: 79-86.
- Carrión Y.** (2005). *La vegetación mediterránea y atlántica de la península Ibérica. Nuevas secuencias antracológicas*. Servicio de Investigación Prehistórica 104. Valencia: Dip. Prov. de Valencia.
- Dufraisse A.** 2011. Interpretation of firewood management as a socio-ecological indicator. In: E. Badal, Y. Carrión, E. Grau, M. Macías & M. Ntinou (eds.) *5<sup>th</sup> International Meeting of Charcoal Analysis. The Charcoal as Cultural and Biological Heritage. Saguntum-PLAV Extra* 11: 179-180
- Fábregas R., Martínez-Cortizas A., Blanco R. & Chesworth, W.** 2003. Environmental change and social dynamics in the second-third millennium BC in NW Iberia. *Journal of Archaeological Science* 30: 859-871.
- Figueiral, I.** 1995. Charcoal analysis and the history of *Pinus pinaster* (cluster pine) in Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology* 89: 441-454.
- Figueiral I.** 1999. Castelo Velho (Freixo de Numão, Portugal). The charcoalified plant remains and their significance. *Journal of Iberian Archaeology* 1: 259-267.
- Figueiral I.** 2000a. O povoado da Sola (Braga): o contributo da antracologia. In: A.M. S. Bettencourt *O povoado da Idade do Bronze da Sola, Braga, Norte de Portugal*. Cadernos de Arqueologia Monografias 9. Braga: Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho: 71-76.
- Figueiral I.** 2000b. O povoado de S. Julião (Vila Verde, Braga): contributos da antracologia. In A.M.S. Bettencourt *O povoado de São Julião, Vila Verde, Norte de Portugal, nos finais da Idade do Bronze e na Transição para a Idade do Ferro*. Cadernos de Arqueologia Monografias 10. Braga: Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho: 149-157.
- Figueiral I.** 2003. *Restos vegetais carbonizados do povoado calcolítico de Bitarados (Esposende)*. Montpellier (unpublished report).
- Figueiral I. & Sanches M.J.** 2003. Eastern Trás-os-Montes (NE Portugal) from the Late Prehistory to the Iron Age: the land and the people. In: E. Fouache (ed.) *The Mediterranean World Environment and History*. Coll. 'Environment'. Amsterdam: Elsevier: 315-329.
- Figueiral I. & Bettencourt A.M.S.** 2007. Estratégias de exploração do espaço no Entre Douro e Minho desde os finais do IV aos meados do I milénios AC. In: S.O. Jorge, A.M.S. Bettencourt & I. Figueiral (eds.) *A concepção das paisagens e dos espaços na Arqueologia da Península Ibérica. Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular*. Faro: Centro de Estudos de Património / Departamento de História, Arqueologia e Património, Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Universidade do Algarve: 177-187.
- Figueiral I. & Jorge S.O.** 2008. Man-made landscapes from the third-second millennia BC: the example of Castelo Velho (Freixo de Numão, north-east Portugal). *Oxford Journal of Archaeology* 27: 119-133.
- García-Amorena I., Gómez Manzaneque F., Rubiales J.M., Granja H.M., Soares de Carvalho G. & Morla C.** 2007. The Late Quaternary coastal forests of western Iberia: A study of their macroremains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 254: 448-461.
- Gosselain O.** 2010-11. *Technologie des vestiges matériels. Notes de cours*. Bruxelles: Université Libre de Bruxelles.
- Gómez M.** 2008. Contribución Al Conocimiento De Los Asentamientos Neolíticos: Análisis De Los elementos de barro. In M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz & J.A. López Padilla (coord.) *IV Congreso de Neolítico Peninsular. Noviembre de 2006*. Vol. II: Alicante: Museo Arqueológico de Alicante – MARQ: 200-209.
- Jorge S.O.** 1999. *Domesticar a terra. As primeiras comunidades agrárias em território português*. Lisboa: Gradiva.
- Lemonier P.** 1986. The study of material culture today. Towards an anthropology of technical systems. *Journal of Anthropological Archaeology* 5: 147-186.

- Lenaghan P. & Seixas M.A.** 2011. *Unha mirada de antano. Fotografías de Ruth Matilda Anderson en Galicia*. A Coruña: Fundación Caixa Galicia.
- Lorenzo X.** 1982. *A terra*. Vigo: Galaxia.
- Mcparland L.C., Collinson M.E., Scott A.C., Campbell G. & Veal R.** 2010. Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science* 37: 2679-2687.
- Marguerie D. & Hunot J.-Y.** 2007. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science* 34: 1417-1433.
- Martín-Seijo M.** 2010. Análise antracolóxica de Monte Calvo, Baião. In: A.H.B. Gonçalves & A.M.S. Bettencourt. *Monte Calvo- Baião, no contexto da Idade do Bronze do Norte de Portugal*. Braga: Câmara Municipal de Baião, Centro de Investigación Transdisciplinar Cultura, Espaço e Memória-CITCEM.
- Martín-Seijo M.** 2011. Análise dos carbóns arqueolóxicos do poboado da Idade do Bronze da Lavra, Matosinhos. In: A.M.S. Bettencourt & J. Fonseca. *O Povoado da Idade do Bronze de Lavra, Matosinhos. Contributos para o estudo do Bronze Médio no litoral Norte*. Braga: Centro de Investigación Transdisciplinar Cultura, Espaço e Memória-CITCEM, Câmara Municipal de Matosinhos e Junta de Freguesia de Lavra: 71-86.
- Martín-Seijo M. & Carballo L.X.** 2010. Le travail du bois et les pratiques d'élagage à l'Âge du Fer: le site de Castrovite (Galice, Espagne). In: C. Delhon, I. Théry-Parisot & S. Thiébaud (dir.) *Des Hommes et des Plantes. Exploitation du milieu et gestion des ressources végétales de la préhistoire à nos jours*. Antibes: APDCA: 253-266.
- Martín-Seijo M., Figueiral I., Bettencourt A.M.S., Gonçalves A.H.B. & Alves M.I.C.** 2011. A floresta e o mato. Exemplos da exploração dos recursos lenhosos pelas comunidades da Idade do Bronze Inicial e Médio do Noroeste de Portugal. In: J. Tereso, J. Honrado, A.T. Pinto & F.C. Rego (eds.) *Florestas do Norte de Portugal. História, ecologia e perspectivas de futuro*. Porto: InBio – Rede de Investigación em Biodiversidade e Biología Evolutiva (e-book): 73-86.
- Martínez Cortizas A., Costa M. & López-Sáez J.A.** 2009. Environmental change in NW Iberia between 7000 and 500 cal BC. *Quaternary International* 200:77-89.
- Martinón-Torres M.** 2002. *Chaîne Opératoire*: the concept and its applications within the study of technology. *Gallaecia* 21: 29-43.
- Montero G., Vallejo R. & Ruiz-Peinado R.** 2007. *Fototeca Forestal Española DGB-INIA*. Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Educación y Ciencia. <http://www.inia.es/fototeca>
- Moskal Del Hoyo M., Wachowiak M. & Blanchette R.A.** 2010. Preservation of fungi in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science* 37: 2106-2116.
- Nava H.S. & Fernández M.A.** 2001. Informe sobre las improntas de la Campa Torres. In J.L. Maya & F. Cuesta (ed.) *El Castro de la Campa Torres. Período prerromano*. Serie Patrimonio 6. Gijón: VTP Editorial: 313-315.
- Piqué R.** 1999. *Producción y uso del combustible vegetal: una evaluación arqueológica*. Treballs d'Etnoarqueologia 3. Madrid: UAB, CSIC.
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck W.J., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac F.G., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., Van der Plicht J. & Weyhenmeyer C.E.** 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51: 1111-1150.
- Ramil P.** 1993. Evolución climática e histórica de la vegetación durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno en las regiones montañosas del Noroeste Ibérico. In: A. Pérez-Alberti; L. Guitián & P. Ramil (eds.) *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los caminos jacobeos*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia: 25-60.

**Schweingruber F.H.** 1996. *Tree rings and environment. Dendroecology*. Berne: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research.

**Skibo J.M. & Schiffer M.B.** 2008. *People and things: a behavioural approach to material culture*. New York: Springer Verlag.

**Spikins P.** 2000. GIS Models of past vegetation: An example from Northern England, 10,000-5,000 BP, *Journal of Archaeological Science* 27: 219-234.

**Théry-Parisot I.** 2001. *Économie des combustibles au Paléolithique. Expérimentation, taphonomie, anthracologie*. DDA n° 20. Paris: CNRS.

**Thiébaud S.** 2006. Wood-anatomical evidence of pollarding in ring porous species: a study to develop? In: A. Dufraisse (ed.) *Charcoal Analysis: New analytical tools and methods for archaeology. Papers from the table-ronde held in Basel 2004*. BAR International Series 1483. Oxford: Archaeopress: 95-102.

[1] <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

[2] <http://www.geodyssey.com/papers/tobler93.html>





### III

**Fauna and Human Activity**

*Fauna e Actividade Humana*



# O POVOAMENTO HUMANO DO PALEO-ESTUÁRIO DO SADO (PORTUGAL): PROBLEMÁTICAS EM TORNO DA OCUPAÇÃO DOS CONCHEIROS MESOLÍTICOS

Mariana Diniz<sup>1</sup> & Pablo Arias<sup>2</sup>

**Resumo:** A partir de finais do 7º milénio cal BC, a instalação de comunidades mesolíticas, ao longo das duas margens do baixo vale do Sado, num troço do rio que se estende, de jusante para montante, entre Arapouco e a Quinta de D. Rodrigo, e a conseqüente formação de concheiros, que integram uma componente de necrópole, parece corresponder à dinâmica de formação do paleo-estuário do Sado que atinge, durante o óptimo climático do Holocénico, a sua máxima expressão.

Num processo idêntico ao detectado no paleo-estuário do Tejo, seria a combinatória de diferentes recursos disponíveis ao longo do ano, num ambiente de ecótono, que justifica a presença continuada de grupos de caçadores-recolectores, cuja dieta integra uma percentagem significativa de recursos aquáticos e que, numa manifestação de “territorialidade qualitativa”, utilizam estes sítios como espaço funerário, desde a primeira fase de exploração destas paisagens, de acordo com as datações absolutas hoje disponíveis. Neste modelo, o Sul de Portugal integra-se numa forma homogénea, durante o Mesolítico final, num horizonte cultural próprio da Europa atlântica.

No entanto, este quadro global tradicionalmente traçado a partir de uma leitura combinada de dados arqueológicos e faunísticos recolhidos nos sítios do Sado, e sobretudo da extrapolação de informação proveniente dos concheiros de Muge, apresenta importantes discordâncias com os resultados específicos obtidos para estes concheiros, a partir de análises espaciais, estratigráficas, faunísticas e isotópicas, o que permite delinear um conjunto de linhas de investigação, a desenvolver no âmbito do Projecto SADO-MESO, da responsabilidade dos signatários, e onde se procura definir o peso específico das questões ambientais em função de/versus as opções culturais das últimas sociedades de caçadores-recolectores, na definição da paisagens mesolíticas no Sul da Europa atlântica.

Neste sentido, assumem particular relevo as seguintes problemáticas: a implantação espacial dos concheiros, no rebordo do planalto terciário, a cerca de 55 m de altitude, parecia tornar secundários os recursos estuarinos face a outros provenientes de ambientes terrestres, atendendo aos custos energéticos do necessário transporte, em particular, de moluscos de baixo valor calórico; as escavações realizadas por J. Arnaud e L. Larsson, nos anos 80 do passado século, e as intervenções realizadas em 2010 e 2011, no quadro do SADO-MESO, demonstram que estes “concheiros” apresentam-se fundamentalmente como depósitos conquíferos discretos, como pequenos montículos de dimensões ainda mal definidas, mas que não se constituem enquanto colinas artificiais, como sucede no Tejo; o resultado das análises isotópicas sobre restos humanos, conduzidas por diferentes equipas da Universidade de Coimbra e da Universidade Autónoma de Barcelona, demonstra que, com excepção do esqueleto proveniente de Arapouco, o concheiro mais a jusante até hoje identificado, todos os outros apresentam dietas onde o peso dos recursos aquáticos ronda os 20%-30%; a dimensão média das conchas de *Cerastoderma edule*, estudadas até ao momento, provenientes do concheiro das

---

<sup>1</sup> Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa (UNIARQ), Faculdade de Letras de Lisboa. E-mail: m.diniz@fl.ul.pt

<sup>2</sup> IIIIPC-Universidad de Cantabria, Santander (Espanha). E-mail: pablo.arias@unican.es

Amoreiras (S. Romão), é cerca de metade da dimensão da medida padrão desta espécie, dimensão que pode estar conectada com fenómenos de sobre-exploração e/ou de condições ambientais menos favoráveis.

Detectar as causas *das diferenças* – evocando o artigo de J. Arnaud de 1987, a propósito destes dois núcleos de povoamento mesolítico – e portanto as modalidades de adaptação específicas às paisagens do óptimo climático do Atlântico que o registo arqueológico do Mesolítico final, no vale do Sado, traduz constitui um dos objectivos nucleares do projecto SADO-MESO.

**Palavras-chave:** Mesolítico; Sado-Portugal; Paleo-estuário; Concheiros.

**Abstract: Human Settlement in the Sado Paleo-Estuary (Portugal): some issues around Mesolithic shell middens**

Since the late seventh millennium cal BC, Mesolithic groups settled along the lower Sado valley banks, between Arapouco and Quinta de D. Rodrigo. This process highly visible in the archaeological record through a web of shell midden settlement (in many cases including cemeteries) is probably related with the development of the Sado palaeoestuary.

As in the twin northern palaeoestuary of the Tagus river, late hunter-gatherers may have developed a permanent or semi-permanent residential system, relying on abundant, year-round and highly predictable resources.

Moreover, cemeteries may also be envisaged as an expression of “qualitative territoriality” behavior, following a characteristic Atlantic Mesolithic trend.

Nevertheless, these global picture of cultural resemblance require some regional specification since Sado shell middens shows an important degree of discrepancy with other Mesolithic shell middens when settlement patterns, stratigraphic observations, faunal and isotopic analysis are concerned.

SADO-MESO a new research project on Mesolithic/Neolithic transition on Sado valley was designed by the authors in order to produce information to explain different questions related to: topographical issues. Most shell middens are located in the top of the river slope, around 55 m high. These particular locations seem to marginalize paleoestuary resources attending to cost-benefits relationship when transport of low value food like mollusks is involved; stratigraphic issues. Different excavations campaigns reveal that these shell middens are in fact the results of juxtaposition of small shells mounds with no more than 60 cm deeper never reaching and artificial hill with several meters high like in Tagus valley; isotopic issues. Isotopic analysis on human bones reveals that with one exception from Arapouco aquatic resources represents only 20% to 30% of the diet, a much lower values those from Atlantic shell middens; malacological issues. *Cerastoderma edule* shells from Amoreiras – the only shell midden where a malacological study has been made so far – are quite small, half the size of the media for that species.

Why Sado shell middens don't look like other Atlantic contexts is here a central question. Whether environmental conditions were the only responsible factor for the difference or cultural options are also an agent behind these particular archaeological data is one of the main topics in SADO-MESO agenda.

**Key-words:** Mesolithic; Sado-Portugal; Paleoestuary; Shell middens.

## **1. OS CONCHEIROS MESOLÍTICOS DO BAIXO VALE DO SADO – PROBLEMÁTICAS NA AGENDA SADO-MESO**

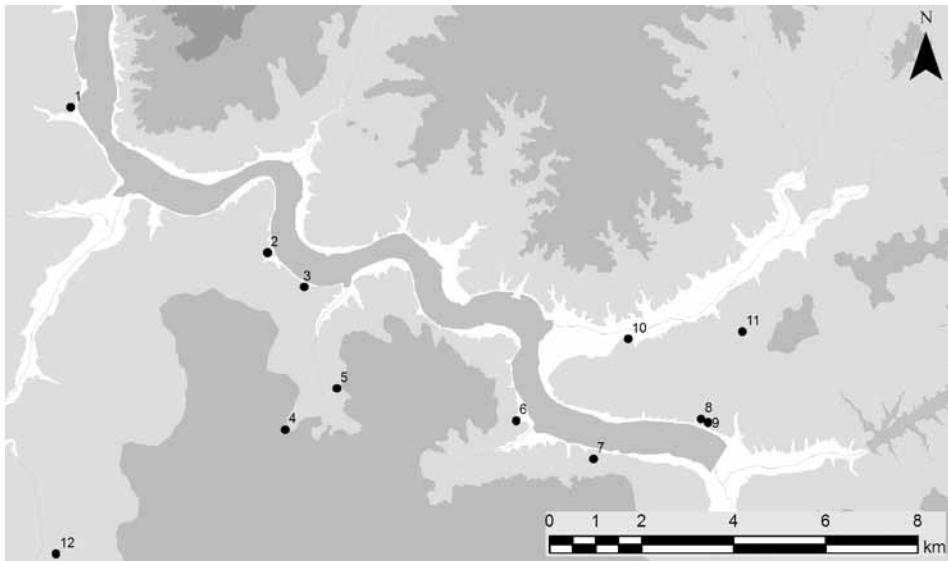
### **1.1. Os dados paleo-ambientais**

Desde finais do 7º milénio cal BC, a instalação de comunidades mesolíticas, ao longo das duas margens do baixo vale do Sado, num troço do rio que se estende, de jusante para montante, entre Arapouco e a Quinta de D. Rodrigo (Fig. 1), e a conse-

quente formação de concheiros, que integram uma componente de necrópole, parece corresponder à dinâmica de formação do paleo-estuário do Sado que atinge a sua máxima expressão, durante o óptimo climático do Holocénico.

O registo arqueológico disponível para os primeiros milénios do período climático Atlântico, no vale do Sado, integra-se numa paisagem cultural e ambiental que apresenta, ao longo da fachada atlântica europeia, uma notável homogeneidade ao nível das respostas dadas pelas comunidades de caçadores-recolectores ao quadro complexo das alterações do pós-glaciar, com o desenvolvimento de economias de amplo espectro marcadas pela presença sistemática de recursos aquáticos, na dieta dos grupos. Este cenário global possui depois concretizações regionais particulares, em função de factores geográficos, ambientais e culturais que subjazem à materialização de dinâmicas históricas singulares.

O paleo-estuário do Sado não foi, no entanto, até ao momento, alvo de análises geomorfológicas e paleoambientais específicas que permitissem caracterizar as dinâmicas estuarinas e as alterações ambientais ocorridas na primeira metade do Holocénico. Utilizam-se, por isso aqui, dados obtidos na região que permitem uma reconstituição, ainda que de baixa resolução, da paisagem e que parecem apontar para uma relativa independência entre os fenómenos ambientais associados ao paleo-estuário do Sado e os processos históricos que estão na origem da formação/uso/abandono dos concheiros.



**Fig. 1** – Localização dos concheiros do vale do Sado: 1 –Arapouco (ARA); 2 – Cabeço do Rebolador (CR); 3 – Barreirões<sup>3</sup> (BAR); 4 – Poças de S. Bento (PSB); 5 – Fonte da Mina (FM); 6 – Barrada das Vieiras (BV); 7 – Cabeço das Amoreiras (AM); 8 – Vale de Romeiras (VR); 9 – Cabeço do Pez (CP); 10 – Várzea da Mó (VM); 11 – Barrada do Grilo (BG); 12 – Barranco da Moura (BM).

**Fig. 1** – Geographic location of the Sado valley shell middens: 1 – Arapouco (ARA); 2 – Cabeço do Rebolador (CR); 3 – Barreirões<sup>3</sup> (BAR); 4 – Poças de S. Bento (PSB); 5 – Fonte da Mina (FM); 6 – Barrada das Vieiras (BV); 7 – Cabeço das Amoreiras (AM); 8 – Vale de Romeiras (VR); 9 – Cabeço do Pez (CP); 10 – Várzea da Mó (VM); 11 – Barrada do Grilo (BG); 12 – Barranco da Moura (BM).

De acordo com a recente síntese produzida por Queiroz e Mateus (2004), para a área litoral entre Lisboa e Sines, poder-se-ia observar, neste território, a partir de meados do 7º milénio cal BC (ca. 7500 BP), uma primeira etapa paleo-ecológica, marcada pelo recuo da linha de costa, que atingiria a sua máxima expressão na segunda metade do 5º cal BC (ca. 5500 BP). Estes dados têm vindo a ser confirmados pelos trabalhos interdisciplinares desenvolvidos nas albufeiras alentejanas de Santo André (Cearreta *et al.* 2003), Melides (Freitas *et al.* 2002, Cearreta *et al.* 2007), e no vale do Mira (Alday *et al.* 2006), onde está documentado o máximo da transgressão flandriana em torno a 5500/5400 BP.

A implantação dos concheiros mesolíticos, no vale do Sado, de que há evidência desde pouco antes de 6000 cal BC (Tab.1), e o seu desenvolvimento durante o 6º milénio, parece estar estreitamente relacionada com a formação do estuário, talvez acelerada durante a segunda metade do 6º milénio cal BC, a julgar pelos indícios de uma acentuada ingressão marinha, entre 6750 BP e 6000 BP, detectados por Queiroz e Mateus, (2004), dos que se podem encontrar também testemunhos na albufeira de Melides, ca. 6300 BP (Cearreta *et al.* 2007) <sup>3</sup>

Ao contrário, o abandono dos concheiros não parece estar correlacionado com qualquer evento paleo-ambiental.

Ainda que seja problemática a definição do momento terminal de uso destes sítios, em particular daqueles como Poças de S. Bento (Arnaud 1989, Larsson 1996), Amoreiras (Diniz 2010), e Cabeço do Pez (Santos *et al.* 1974), onde a presença de cerâmicas atribuíveis ao Neolítico antigo, e algumas datações absolutas apontam para uma permanência mais prolongada no tempo, parece, de uma leitura do conjunto das datações disponíveis, que os sinais de ocupação se tornam muito mais débeis, a partir de 5000 cal BC. A maior parte dos concheiros está abandonada, vários séculos antes do máximo da transgressão marinha, sem que se encontre no registo regional nenhum fenómeno paleo-ambiental que possa justificar este facto.

A fase B – estabilização dos estuários – da proposta de Queiroz e Mateus (2004), datada de entre os meados do 5º milénio e o primeiro quartel do 3º milénio cal BC (ca. 5500-4150 BP), coincide com o momento de desactivação efectiva dos concheiros, e a presença de escassos materiais cerâmicos do Neolítico final, no concheiro das Amoreiras e no concheiro do Cabeço do Pez, sugere curtas passagens na área e não uma efectiva ocupação deste segmento do vale.

A confirmar-se esta dinâmica para o baixo vale do Sado, ter-se-ia verificado o abandono/marginalização destes sítios no momento de expansão máxima do paleo-estuário demonstrando que outros factores, que não o paleo-ecológico, terão conduzido a outros modelos de implantação territorial, que tornam as margens do rio lugares marginais de ocupação.

---

<sup>3</sup> Barreirões é um novo concheiro identificado por Leonor Rocha e Enrique Cerrillo, no âmbito do projecto SADO-MESO.

**Tab. 1** – Datações absolutas disponíveis para os concheiros do vale do Sado

**Tab. 1** – *Absolute dates for the Sado valley shell middens*

Concheiro	Contexto	Amostra	Laboratório	$\delta^{13}C$	BP	$\Delta R$ anos 14C ****	Cal BC $2\sigma$
Arapouco	Esqueleto 2A*	Homo sapiens	Sac-1560	-16.92	7200±130		6400-5800
	Níveis médios**	Conchas	Q-2492	-	7420±65	-153±180	6450-5700
Cabeço do Rebolador	Níveis médios ***	Conchas	ICEN-277	-1,8	7140±70	-153±180	6200-5470
	Níveis médios ***	Conchas	ICEN-278	-3.3	7100±60	-153±180	6170-5450
Poças de São Bento	Níveis médios **	Carvão	Q-2494	-	6780±65		5800-5610
	Níveis médios **	Conchas	Q-2495	-	6470±80	4 ± 103	5640-5180
	Níveis de topo**	Conchas	Q-2493	-	7040±70	4 ± 103	5820-5350
Cabeço das Amoreiras	Esqueleto 5*	Homo sapiens	Beta-125110	-20.8	7230±40		6220-6010
	Camada 2b (estrutura B)***	Conchas	Q-(AM85B2b)	-	5990±80	4 ± 103	5200-4600
	Camada 2a (estrutura B)***	Carvão	Q-(AM85B2a)	-	5990±75		5070-4710
Vale de Romeiras	Níveis médios ***	Ossos	ICEN-144	-17,4	7130±110		6230-5770
	Níveis médios ***	Conchas	ICEN-150	-3,8	7390±80**	-153±180	6430-5670
	Níveis médios ***	Conchas	ICEN-146	-4,3	7350±60	-153±180	6390-5660
Cabeço do Pez	Esqueleto 4*	Homo sapiens	Sac-1558	-19.28	6740±110		5850-5470
	Esqueleto 4*	Homo sapiens	Beta-125109	-22.6	6760±40		5730-5610
	Níveis médios **	Conchas	Q-2497	-	6350±80	4 ± 103	5530-5000
	Níveis médios **	Conchas	Q-2496	-	6050±70	4 ± 103	5260-4690
	Níveis de topo **	Ossos	Q-2499	-	5535±130		4620-4140
	Níveis de base**	Conchas + carvão	Q-2498	-	3565±50		-
Várzea da Mó	Níveis médios ***	Conchas	ICEN-273	-1.7	7110±50	-153±180	6170-5460

\* Cunha e Umbelino (2001); \*\*Arnaud (1989);\*\*\* Arnaud (2000). \*\*\*\* – efeito de reservatório calculado por A. Monge Soares.

A presença de cerâmicas campaniformes na Barrada do Grilo, num contexto onde está atestada *Cerastoderma edule* e *Tapes decussata*, deve estar associada à fase de C, de Mateus e Queiroz (2004), marcada por um episódio de regressão marinha, registado entre 4150 e 3250 BP. A existência de moluscos, em particular de *Tapes decussata*, pode reflectir na Barrada do Grilo, como acontece em outros sítios calcolíticos, o transporte



de bivalves a partir de outros ambientes, mais do que uma exploração dos recursos imediatamente disponíveis.

No entanto, este é um quadro regional global que deve ser precisado através de uma análise detalhada deste intervalo de tempo, no baixo vale do Sado, a partir de novas sondagens a realizar no âmbito do projecto SADO-MESO que permitam uma reconstituição efectiva das condições geomorfológicas e paleo-ecológicas da região, que podem justificar alguns dos aspectos particulares que se detectam nestes concheiros, e que abaixo serão discutidos.

A extensão efectiva do paleo-estuário está plenamente demonstrada pela presença de moluscos estuarinos, nomeadamente de *Scrobicularia plana* e *Cerastoderma edule*, em todos os concheiros do vale do Sado. Estas espécies, no entanto, possuem uma considerável tolerância a níveis baixos de salinidade, da ordem dos 4‰ – 5‰ (Lentacker 1986), e a quase total ausência de outros moluscos dependentes de águas mais salgadas como *Ruditapes decussata*, *Pecten*, *Mitylus* – que apesar de escassos, estão documentados nos contextos contemporâneos da ribeira de Muge (Lentacker 1986) – pode conduzir a uma primeira aproximação às características deste estuário, que aparenta um ambiente menos salino que o registado no vale do Tejo.

Em simultâneo, e apesar de preliminares, as análises publicadas por J. Arnaud (1989), sobre os restos ictiológicos dos diferentes concheiros, destacam Arapouco enquanto o único concheiro no qual a presença de peixe é expressiva, o que contrasta com a sua escassez, ou até ausência, noutros depósitos. Essa diversidade foi explicada, no modelo logístico de Arnaud (1989), como reflexo da diferente funcionalidade dos sítios que, apesar de partilharem aparentemente o mesmo ambiente, estariam especializados na obtenção de diferentes recursos.

**Tab. 2** – Listagem de fauna recuperada em concheiros do vale do Sado e do vale do Tejo, de ambiente marinho/estuarino

**Tab. 2** – *Marine/estuarine faunal remains from the Sado and Tagus Valleys shell middens*

		Sado*			Tejo**
		Arapouco	Cabeço do Rebolador	Outros concheiros	CA; CAM:MS
<b>Moluscos</b>	<i>Scobicularia plana</i>	x	x	x	x
	<i>Cerastoderma sp.</i>	x	x	x	x
	<i>Crassostrea gigas</i>	x	x		x
	<i>Ruditapes decussatus</i>	–	–	x (BG; PSB)	x
	<i>Pecten maximus</i>	–	–	–	x
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	–	–	–	x
	<i>inus brandaris</i>	x	–	–	–
	<i>Ensis siliqua</i>	x	–	x (PSB)	x
	<i>Zonaria pyrum</i>	x	–	–	x
	<i>Antalis sp.</i>	x	–	–	–
	<i>Calyptraea chinensis</i>	x	–	–	–

	<i>Gibbula magus</i>	x	-	-	-
	<i>Ocenebrina edwardsii</i>	x	-	-	-
	<i>Teodoxus fluviatilis</i>	x	-	x	x
	<i>Trivia</i> sp.	x	-	x	
	<i>Nassarius reticulatus</i>	x	x	x	x
	<i>Charonia lampas</i>	-	-	-	x
<b>Crustáceos</b>	<i>Carcinus maenas</i>	x	x	x	-
	<i>Brachyura</i>	-	-	-	x
	<i>Balanus balanoides</i>	-	-	-	x
<b>Peixes</b>	<i>Lamna nasus</i>			-	x
	<i>Isurus oxyrinchus</i>	x	x	x (PSB)	-
	<i>Myliobatis aquila</i>	x	-	-	x
	<i>Aciper sturio</i>	-	-	-	x
	<i>Sparus aurata</i>	x	x	x	x
	<i>Sparus pagrus</i>	x		-	
	<i>Argyrosomus regius</i>	x	-	-	x
<b>Répteis</b>	<i>Emys orbicularis</i>	-	-	-	x
	<i>Emys</i> sp.	-	-	x (CP)	x
	<i>Podiceps ruficollis</i>	-	-	-	x
<b>Aves</b>	<i>Botaurus stellaris</i>	-	-	-	x
	<i>Anser anser</i>	-	-	-	x
	<i>Tadorna tadorna</i>	-	-	-	x
	<i>Anas</i> sp.			x	
	<i>Anas platyrhynchos</i>	-	-	-	x
	<i>Anas creca</i>	-	-	-	x
	<i>Anas penelope</i>	-	-	-	x
	<i>Vanellus vanellus</i>	-	-	-	x
	<i>Numenius arquata</i>	-	-	-	x
	<i>Larus argentarius</i>	-	-	-	x
<b>Mamíferos</b>	<i>Arvicola amphibius</i>	-	-	-	x
	<i>Lutra lutra</i>	-	-	x (CP)	x

\*Arnaud (1989); Detry (2002/2003) inédito; \*\*Lentacker (1986); Detry (2007).

No entanto, nos concheiros do Sado, o pequeno número de restos de peixe pode traduzir uma efectiva escassez deste recurso, se confrontado com o cenário registado no Tejo. A comparação das listagens faunísticas provenientes destes dois núcleos (Tab. 2), parece reflectir, apesar da similitude de implantação dos sítios – no limite interno dos estuários – efectivas diferenças nos paleo-ambientes explorados, no que concerne à componente estuarina, uma vez que a fauna mamalógica é substancialmente idêntica, apontando para uma maior similitude dos ecossistemas terrestres.

A observação da Tab. 2, permite confirmar que apenas Arapouco possui um inventário faunístico que se assemelha ao registado no Tejo, e que corresponde à efectiva exploração de um ambiente estuarino. A presença, neste concheiro, não apenas de moluscos, mas de restos de peixe aponta para a existência de condições nesta área que podem não ter estado presentes mais a montante justificando-se assim a natureza escassamente aquática do inventário faunístico, proveniente nos concheiros localizados no troço mais interior do vale do Sado.

Em simultâneo, a aparente ausência ou escassez, nos contextos do Sado, de algumas espécies, frequentes nos concheiros do Tejo, como é o caso das aves aquáticas, reforça uma imagem, ainda por confirmar, de diferença paleo-ecológica entre estes dois ambientes, com um peso expressivo da presença marinha/estuarina no Tejo.

A valorização, por parte das comunidades mesolíticas do vale do Sado, de outros recursos, que não os estuarinos, deve ser demonstrada e apesar da ausência de diagramas polínicos, para a área em análise, o que impede a reconstituição específica do coberto vegetal e a identificação de eventuais indícios de pressão sobre este, ao longo do 6º milénio cal BC, tem sido executada no âmbito do SADO-MESO, uma estratégia exaustiva de recolha e flutuação de sedimento nas intervenções realizadas no concheiro das Poças de S. Bento, tendo em vista a identificação dos recursos vegetais explorados pelos grupos mesolíticos que podem, numa paisagem mediterrânea, ter constituído uma alternativa aos produtos aquáticos.

## 1.2. A questão topográfica

Já registada por J. Arnaud (1987), a questão topográfica assume nos concheiros do vale do Sado um significado ainda não determinado. Dos 12 concheiros detectados até ao momento, apenas dois – Barrada das Vieiras/Portancho e um núcleo na Várzea da Mó – estão implantados a cotas baixas, entre os 8 e os 25 m. Muito destruídos aquando da sua identificação, estes concheiros reflectem a existência de um padrão de implantação mesolítica de baixa altitude, hoje quase totalmente desaparecido por acção de diferentes processos pós-deposicionais de origem natural – sedimentação, e antrópica – regularização artificial do leito de cheia para criação de arrozais.

No entanto, e ainda que o número destes concheiros possa ter sido efectivamente maior – e estariam por inventariar outras diferenças entre estes núcleos para além das cotas – a ocupação do rebordo do planalto – a cotas que oscilam entre os 47 m, em Arapouco, e os 85 m, nas Poças de S. Bento – com a consequente formação de depósitos conquíferos distantes das áreas abastecedoras, constitui um traço específico da ocupação mesolítica do vale do Sado, em contraste nítido com a implantação topográfica de outros concheiros do actual território português (Tab. 3).

**Tab. 3** – Cotas de implantação de concheiros mesolíticos no litoral atlântico

**Tab. 3** – *Mesolithic shell middens altitude in Portuguese Atlantic coast*

Concheiro	Cota de implantação (metros)	Bibliografia
Arapouco	47	Este artigo
Cabeço do Rebolador (Vale do Sado)	55	Este artigo
Poças de S. Bento (Vale do Sado)	85	Este artigo
Cabeço das Amoreiras (Vale do Sado)	55	Este artigo
Vale de Romeiras (Vale do Sado)	55	Este artigo
Cabeço do Pez (Vale do Sado)	52	Este artigo
Barrada do Grilo (Vale do Sado)	69	Santos <i>et al.</i> 1974
Vale da Fonte da Moça (Vale do Tejo)	5	Detry 2007
Cabeço da Arruda (Vale do Tejo)	8	Roche 1967
Moita do Sebastião (Vale do Tejo)	20	Roche 1972
Cabeço da Amoreira (Vale do Tejo)	15	Roche 1964-1965
Cova da Onça (Vale do Tejo)	2/8	Detry 2007

No Sado, a selecção de áreas com cotas elevadas, de onde se possui um excelente controlo visual sobre o vale, constitui um padrão de implantação dominante que não privilegia o acesso imediato aos recursos aquáticos como critério preferencial, ao contrário do observado em outros concheiros mesolíticos, nos quais a proximidade à costa/linhas de água constituiu um factor de localização decisivo.

A questão topográfica assume particular relevo nos casos do concheiro das Poças de S. Bento, da Fonte da Mina e do Barranco da Moura – estes últimos ainda não re-localizados – uma vez que a distância efectiva aos bancos de moluscos, cerca de 2.5 km em Poças de S. Bento, torna a formação de depósitos conquíferos não rentável, numa perspectiva da economia alimentar. O transporte deste produto, de baixo valor calórico, deve corresponder por isso a outra ordem de motivações assumindo-se enquanto um padrão de comportamento generalizado entre caçadores-recolectores do Atlântico, independentemente do efectivo retorno energético deste alimento face ao custo da sua obtenção.

A questão topográfica pode estar também associada às especificidades detectadas nos inventários faunísticos – marcadamente terrestres – dos concheiros do Sado e um conhecimento mais detalhado dos produtos explorados nos núcleos, com cotas muito inferiores, da Barrada das Vieiras e da Várzea da Mó podia contribuir para o esclarecimento desta questão, e para uma ponderação dos diferentes factores responsáveis pela formação deste registo, designadamente as condições de salinidade específica do estuário e as limitações inerentes aos critérios de implantação topográfica adoptados.

No Sado, a ocupação mesolítica reflecte a concretização de uma estratégia de implantação que privilegia o efectivo controlo visual sobre o rio, enquanto elemento aglutinador de uma malha densa de povoamento, ainda que o paleo-estuário não pareça constituir o território nuclear de exploração de recursos alimentares.

### 1.3. A questão estratigráfica

A opção topográfica, registada no vale do Sado e assente em prioridades de menos imediata explicação, pode no entanto estar na origem das especificidades estratigráficas e dos processos de formação dos depósitos identificados nestes concheiros. Ao contrário do observado em Muge (Roche 1964-1965, 1967), os sítios do Sado não se assemelham a colinas artificiais constituídas por acumulações de conchas, o que torna os limites espaciais destes concheiros particularmente difíceis de definir, na paisagem actual.

Nos concheiros do Sado, a espessura dos depósitos conquíferos não parece ultrapassar nunca os 60-80 cm, estando organizados em montículos discretos, de dimensões variáveis, mas que não formam níveis extensos com ampla continuidade lateral, como se pode verificar nos perfis obtidos nos sítios de Muge.

Este dado, observado nas campanhas da década de 80 (Arnaud 1987, Larsson 1996), foi confirmado no quadro das intervenções SADO-MESO, realizadas em 2010 e 2011.

No concheiro das Poças de S. Bento, o montículo de conchas que cobria, na Sondagem 1 (Fig. 2), a estrutura negativa aí identificada, em 2010 (Fig. 3), possuía limites bem definidos, e na sondagem 4 (Fig. 2), aberta em plena área de concheiro, não foi recolhida qualquer concha nos depósitos sedimentares aí escavados que, no entanto, embalavam artefactos líticos.

Estes montículos que, mais que sobreposições, se apresentam como justaposições de restos, implicam a existência de uma estratigrafia que pode ser fundamentalmente horizontal. Um uso do espaço nesta perspectiva pode explicar algumas, aparentes incongruências ao nível das datações absolutas já obtidas, e onde é evidente a ausência de eixo diacrónico entre os intervalos de tempo obtidos, por exemplo, para os níveis médios e os níveis superiores, das Poças de S. Bento (Tab. 1).

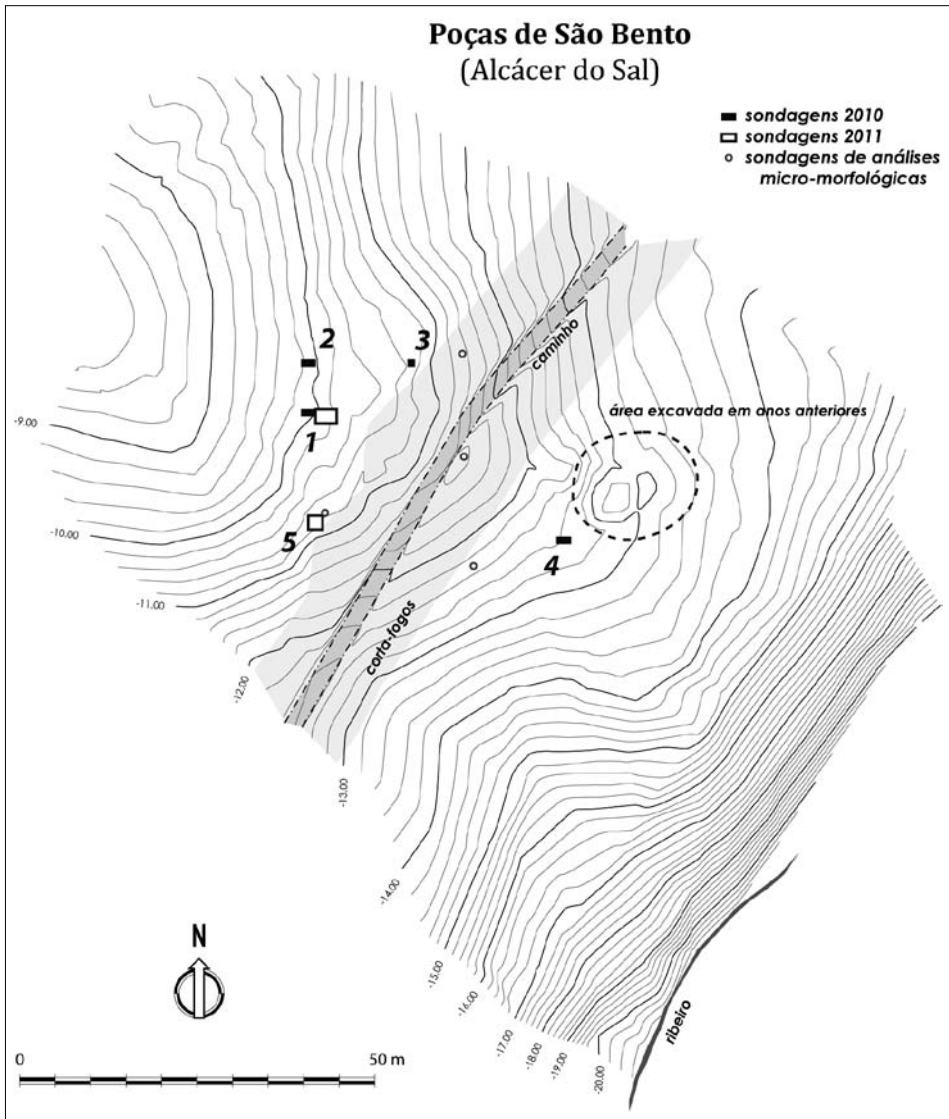
Os montículos de conchas, que definem estes concheiros, apresentam uma estratigrafia característica constituída por um único nível conquífero e que, no caso do Sado, representa um elemento estruturante destes contextos, directamente conectado com as fórmulas de uso do território.

Esta particularidade estratigráfica resulta com probabilidade do menor aporte de moluscos para estes locais, se comparados com outros contextos contemporâneos. A presença de conchas, apesar de expressiva, não dá origem a uma topografia artificial, e sugere portanto um uso deste recurso a uma escala consideravelmente menor que a detectada no Tejo.

A aparente secundarização deste tipo de produto pode ser causa/consequência do critério de implantação espacial observado. No entanto, e apesar desta patente menorização dos recursos aquáticos, em particular de bivalves, a sua presença, inclusivamente em contextos, que distam mais de 2 km da área de captação, como é o caso das Poças de S. Bento, deve ser lida não tanto numa perspectiva paleo-económica, mas fundamentalmente enquanto um traço presente na matriz cultural

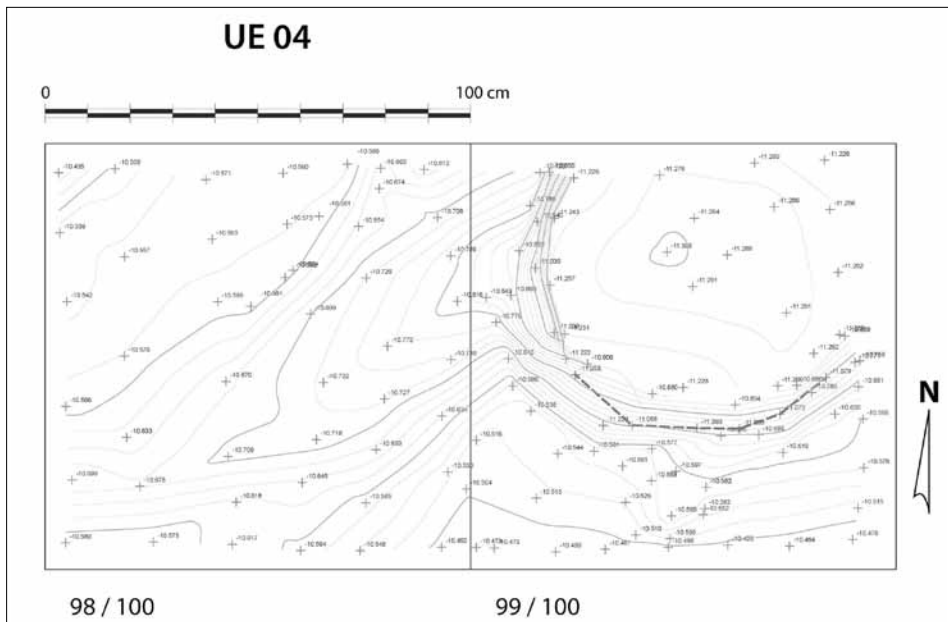
destes grupos, mas que não se constitui enquanto elemento determinante na formação do registo arqueológico.

Apesar de difícil de estimar quanto ao volume efectivo, atendendo à irregularidade dos depósitos conquíferos, a baixa densidade de conchas nos concheiros do Sado torna-as um elemento de uma estratigrafia complexa, que integra depósitos sedimentares sem conchas, e onde parecem registar-se as maiores densidades de artefactos líticos.



**Fig. 2** – Levantamento topográfico da área de implantação do concheiro das Poças de S. Bento, com indicação das áreas intervencionadas nas campanhas de 2010 e 2011.

**Fig. 2** – Topography of the area covered by the Poças de S. Bento shell-midden indicating the excavated areas in 2010 and 2011 fieldwork seasons.



**Fig. 3 –** Estrutura negativa identificada no concheiro das Poças de S. Bento, sondagem 1.  
**Fig. 3 –** Negative structure identified at Poças de S. Bento shell-midden, sondagem 1.

A presença de conchas de moluscos integra este núcleo de povoamento no grupo dos concheiros da Europa atlântica, ao mesmo tempo que a sua relativa escassez individualiza o Mesolítico final, do vale do Sado, face a outros contextos contemporâneos.

A causa desta diferença de comportamento, e da integração maioritária de componentes não aquáticas nas dinâmicas de exploração de recursos, pode ter uma justificação de ordem ambiental e/ou cultural que não se encontra, neste momento esclarecida, mas que constitui uma linha de investigação central neste projecto.

## 2. GEOGRAFIA, ECOSISTEMAS E DIETAS

As questões conectadas com os critérios de implantação topográfica e com as especificidades estratigráficas, detectadas nos concheiros do Sado, não constituem os únicos elementos de diferenciação destes sítios face a outros núcleos de concheiros, dado que os resultados provenientes das análises isotópicas, já realizadas sobre restos humanos, apontam para uma importância periférica dos recursos aquáticos, na dieta destas comunidades, o que as afasta de um padrão tipicamente atlântico, no qual estes representam entre 50% a 90% dos produtos consumidos (Richards & Hedges 1999).

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  obtidos para as comunidades do Sado, apresentados na Tab. 4, não correspondem a este padrão.

Com excepção de um único indivíduo, proveniente de Arapouco, que apresenta uma dieta onde os produtos marinhos atingem cerca de 44%, os restantes indivíduos analisados possuíram dietas que podiam oscilar entre o não consumo de produtos aquáticos – Esqueleto 5 do Cabeço das Amoreiras, Esqueleto 4 do Cabeço do Pez – e um valor máximo da ordem dos 38%, detectado no Esqueleto 3 das Poças de S. Bento, portanto com uso de recursos aquáticos em percentagens muito inferiores às obtidas para outros concheiros mesolíticos.

Esta discrepância, que afasta este núcleo do Mesolítico atlântico e aproxima-o de um padrão alimentar de tipo Mediterrâneo – dada a similitude com os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , obtidos para os restos humanos do concheiro de El Collado, em Valência (Garcia Guixé *et al.* 2006), (Tab. 4 e Fig. 4) – pode traduzir a existência de mecanismos de adaptação cultural a um estuário em formação, mas ainda longe do seu clímax que, como atrás foi mencionado, ter-se-ia registado num momento muito posterior.

O indivíduo de Arapouco constitui, de novo, a excepção. O Esqueleto 2A (Tab. 2), com uma data antiga que remete para a primeira fase de formação destes núcleos e uma dieta com alta percentagem de proteínas marinhas, parece demonstrar que, entre a 2ª metade do 7º milénio e o primeiro quartel do 6º milénio cal BC, no sítio de Arapouco estão já presentes condições plenamente estuarinas, ao contrário do que pode acontecer mais a montante, atendendo ao perfil das dietas reflectidas pelos esqueletos do Cabeço das Amoreiras e Cabeço do Pez, que indiciam uma escassa importância dos recursos aquáticos na alimentação.



**Tab. 4** – Análises isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  sobre restos humanos mesolíticos**Tab. 4** – Carbon and nitrogen isotopes values of bone collagen samples from Mesolithic humans remains

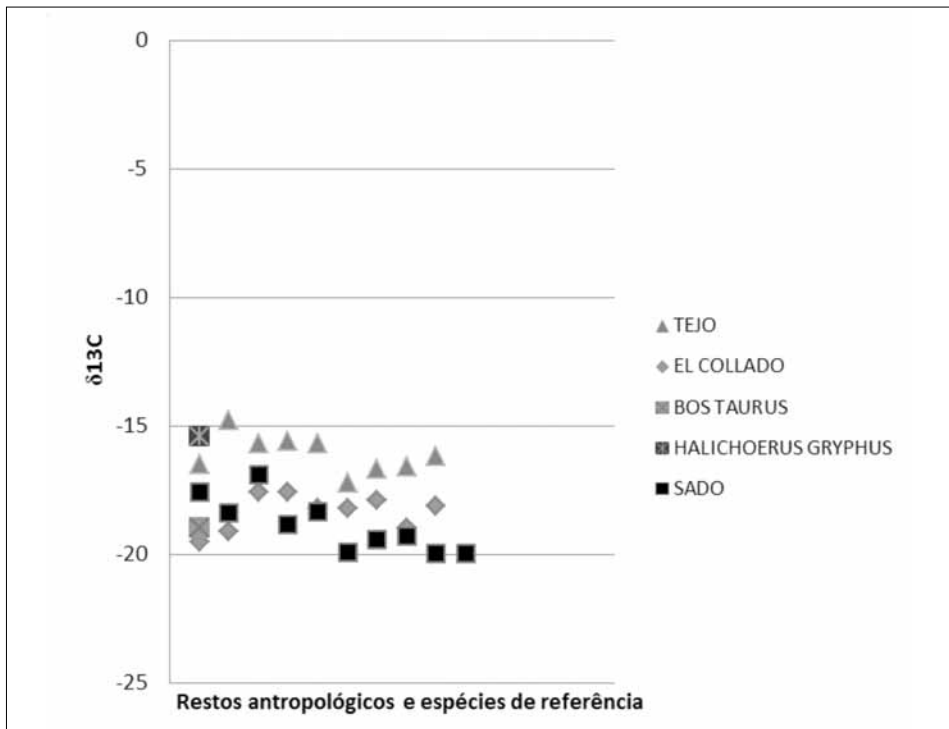
Amostra	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	% dieta marinha	Data Cal BC $2\sigma^*$	Bibliografia
<b>Arapouco</b>					
Esqueleto 2A	-16.92	–	44	6400-5800	Cunha & Umbelino 2001
Esqueleto 9	–	–	–		Umbelino 2006
<b>Poças de S. Bento</b>					
Esqueleto 3	-17,6	11,7	38		Umbelino 2006
<b>Cabeço das Amoreiras</b>					
Esqueleto 3	-18.5	9,49	27,67		Umbelino 2006: 252 e segs.
Esqueleto 3	-19,29	9.289	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto 5	-20.8	–	0	6220-6010	Cunha e Umbelino 2001
Esqueleto 5	-18,97	9.530	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto 6	-20,50	13.583	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto 7	-18.86	9,711	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
<b>Vale de Romeiras</b>					
Esqueleto 4	-18,4	–	28,44		Umbelino 2006
<b>Cabeço do Pez</b>					
Esqueleto 2	-18.36	11,885			Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto 4	-19.28	–	21	5850-5470	Cunha & Umbelino 2001
Esqueleto 4	-22.6	–	0	5730-5610	Cunha & Umbelino 2001
Esqueleto 9	-19,94	8,947			Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto 17	-19,44	9,337	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto 21	-19,30	9,165	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto 27	-18,7	9,83	25,55		Umbelino 2006
Esqueleto 27	-19.52	9.966	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto A	-19.97	9.268	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
Esqueleto B	-19.79	8.266	–		Fontanals-Coll <i>et al.</i> no prelo
<b>El Collado (Valência, Espanha)</b>					
COLL Ind. 1 Indet.	-19.5	10.2	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 2 ♀	-19.1	8.9	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 3 ♂	-17.6	10.2	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 4 ♂	-17.6	12.8	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 5 ♀	-18.2	10.6	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 6 ♂	-18.2	10.9	–	6500-6250 6630-6390	Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 7 ♀	-17.9	8.9	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 12 ♂	-19.0	9.5	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006
COLL Ind. 13 ♂	-18.1	10.4	–		Garcia Guixé <i>et al.</i> 2006

\* Referências bibliográficas indicadas na Tab. 1.

No Sado, a menorização destes recursos parece confirmar-se nos dados arqueográficos e nas listagens faunísticas que quando comparadas com as do Tejo (Tab. 2), demonstram a diferença ao nível da exploração de recursos e das dietas e sugerem a existência, a Sul, de um paleo-estuário menos diversificado, ao nível dos biótopos disponíveis.

Em simultâneo, outros dados faunísticos podem confirmar esta interpretação prévia. As pequenas conchas de *Cerastoderma edule*, recolhidas no Cabeço das Amoreiras – as únicas até ao momento, objecto de análise publicada – possuem uma dimensão média, de cerca de 21.21 mm x 19.29 mm, que corresponde a menos de metade da dimensão padrão desta espécie, 45 mm (Dean 2010).

Não é possível conectar esta observação com um processo de sobre-exploração dos bancos de moluscos, uma vez que não se detectam alterações métricas ao longo da sequência estratigráfica, apontando-se ao invés para a existência de condições ambientais menos favoráveis ao crescimento desta espécie, num cenário oposto ao que se verifica nos concheiros mais tardios da Comporta, onde a presença de um ambiente altamente favorável ao desenvolvimento de bancos de moluscos permitiu, aos grupos neolíticos, a selecção sistemática dos exemplares de maiores dimensões (Silva *et al.* 1986: 74-75).



**Fig. 4** – Análises isotópicas de restos humanos e de animais de referência, valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , provenientes de restos humanos dos concheiros do vale do Tejo, vale do Sado e El Collado (Valência).

**Fig. 4** – Carbon isotope values of bone collagen from Mesolithic humans and animal remains from the Tagus and Sado valleys shell middens and from El Collado (Valencia).

Em suma, no Sado, um conjunto complexo de elementos topográficos, estratigráficos e arqueográficos permite individualizar este núcleo de concheiros, relativamente à “norma europeia”, não sendo neste momento possível avançar a causa dessa especificidade, se esta traduz apenas uma resposta simples a condicionalismos ambientais relacionados com as características específicas deste paleo-estuário – não definidas ainda – ou se, ao invés, o registo patente, no Sado, reflecte uma selecção culturalmente determinada de recursos e de lugares de permanência, numa opção por outros ambientes que não os aquáticos. E se os dados de Arapouco sugerem que são sobretudo os condicionalismos da paleo-paisagem que determinam a formação do registo arqueológico esta é uma questão efectivamente ainda em aberto.

### 3. PROBLEMAS E PERSPECTIVAS DE INVESTIGAÇÃO

No âmbito dos projectos em curso, a caracterização do paleo-estuário do Sado, em particular no intervalo de tempo entre 6250 e 5000 cal BC, que corresponde ao momento de formação e uso dos concheiros mesolíticos, constitui-se enquanto linha prioritária de análise, uma vez que depende da reconstituição específica das dinâmicas, das potencialidades e dos limites, da paleo-paisagem, a formulação dos quadros interpretativos do registo arqueológico.

A reconstituição do cenário ambiental depende da realização de perfurações/sondagens geológicas em diferentes pontos do vale ocupado pelos caçadores-recolectores do Mesolítico, da existência de indicadores de maior ou menor índice de salinidade das águas do rio e de amostras datáveis a obter, ao longo das colunas sedimentares.

Em simultâneo, ampliar o número de análises de isótopos de  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$  de restos humanos, que devem ser datados, permitirá confirmar, ou infirmar, o peso dos recursos terrestres, nomeadamente vegetais na dieta dos grupos construindo-se assim um modelo dinâmico de uso de território que conjugue, para além dos dados relativos ao recuo da linha de costa, a informação proveniente dos diferentes concheiros em função da sua posição geográfica, das dietas aí praticadas e da sua cronologia de ocupação.

É necessário esclarecer a diferença detectada, ao nível das dietas, entre os indivíduos de Arapouco e de Poças de S. Bento e os restantes esqueletos provenientes de outros concheiros. Esta diferença pode traduzir apenas a exploração de ambientes diferenciados, ao longo deste segmento do paleo-estuário, por distintos grupos que apresentariam assim uma dieta hiper-regionalizada, própria de comunidades com níveis de mobilidade muito baixos, ou pelo contrário reflectir a existência de diferentes opções de uso dos recursos, numa paisagem semelhante, apontando para uma explicação de ordem cultural e não ambiental.

Neste sentido, a problemática paleo-ambiental assume, perante a questão “Quão diferentes são efectivamente os concheiros do Sado?”, um peso decisivo, uma vez que importa avaliar se a escassez de conchas de moluscos e de restos ictiológicos, se o pequeno volume dos depósitos conquíferos detectados e se as dietas escassamente

aquáticas são o resultado de condicionalismos ambientais ou das opções culturais destas comunidades.

**AGRADECIMENTOS:** Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto Plan Nacional de I+D+i “Coastal transitions: A comparative approach to the processes of neolithization in Atlantic Europe” (COASTTRAN) (HAR2011-29907-C03-00) do VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 do Ministério de Economía e Competitividad do Governo de Espanha.

As intervenções de terreno e as prospecções decorreram ao abrigo do Projecto “SADO-MESO”, aprovado pelo IGESPAR (2010-2013).

As datações foram calibradas segundo a curva IntCal09 (Reimer *et al.* 2009), excepto as que apresentam indícios de estar afectadas pelo efeito de reservatório, para as quais se utilizou Marine09 (Reimer *et al.* 2009), ou uma combinação de ambas, utilizando os valores do factor  $\Delta R$ , calculado por António Monge Soares para estes contextos específicos. Queremos agradecer ao Eng.º Monge Soares, a sua valiosa colaboração para a calibração das datas.

## BIBLIOGRAFIA

- Alday M., Cearreta A., Cachão M., Freitas M.C., Andrade C. & Gama C.** 2006. Micropalaeontological record of Holocene estuarine and marine stages in the Corgo do Porto rivulet (Mira River, SW Portugal). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 66: 532-543.
- Arnaud J.M.** 1987. Os concheiros mesolíticos dos vales do Tejo e Sado: semelhanças e diferenças. *Arqueologia* 15: 53-64.
- Arnaud J.M.** 1989. The Mesolithic Communities of the Sado Valley, Portugal, in their Ecological Setting. In BONSALL, C., ed. – *The Mesolithic in Europe. III International Symposium*. Edimburgo: John Donald : 614-632.
- Arnaud J.M.** 1990. Le substrat mesolithique et le processus de neolithisation dans le sud du Portugal. In: D. Cahen & M. Otte (eds.) *Rubané et Cardial. Actes du Colloque de Liège*. Liège: Service de Préhistoire de la Université de Liège: 437-446.
- Arnaud J.M.** 2000. Os concheiros mesolíticos do vale do Sado e a exploração dos recursos estuarinos (nos tempos pré-históricos e na actualidade). *Actas do Encontro sobre Arqueologia da Arrábida*. Trabalhos de Arqueologia 14. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia: 21-43.
- Cearreta A., Alday M., Freitas M.C. & Andrade C.** 2007. Postglacial foraminifera and paleoenvironments of the Melides lagoon (SW Portugal): Towards a regional model of coastal evolution. *Journal of Foraminiferal Research* 37 (2): 125-135.
- Cearreta A., Cachão M., Cabral M.C., Bao R. & Ramalho M.J.** 2003. Lateglacial and Holocene environmental changes in Portuguese coastal lagoons 2: microfossil multiproxy reconstruction of the Santo André coastal area. *The Holocene* 13 (3): 449-460.
- Cunha E. & Umbelino C.** 2001. Mesolithic people from Portugal: an approach to Sado osteological series. *Anthropologie* 39 (2-3): 125-132.
- Dean R.** 2010. Mesolithic shellfish remains from Amoreiras, São Romão, Portugal. In: J. Gibaja & A.F. Carvalho (eds.) *Os últimos caçadores-recolectores e as primeiras comunidades produtoras do sul da Península Ibérica e do norte de Marrocos*. Promontoria Monográfica, 15. Faro: FCHS.
- Detry C.** 2002/2003. *Estudo arqueozoológico de um concheiro mesolítico do Sado – Cabeço do Pez (Alcácer do Sal, Portugal)*. Trabalho de introdução à investigação histórico-arqueológica do Curso de Doutoramento em História – variante Arqueologia. Universidade Autónoma de Lisboa e Universidade de Salamanca (Inédito).

- Detry C.** 2007. *Paleoecologia e Paleoconomia do Baixo Tejo no Mesolítico Final: O contributo do estudo dos mamíferos dos concheiros de Muge*. Salamanca. Tese de Doutoramento em História variante Arqueologia, pela Universidade de Salamanca (Policopiada).
- Diniz M.** 2010. O concheiro mesolítico do Cabeço das Amoreiras (S. Romão do Sado, Alcácer do Sal): um (outro) paradigma perdido? In: J. Gibaja & A.F. Carvalho (eds.) *Os últimos caçadores-recolectores e as primeiras comunidades produtoras do sul da Península Ibérica e do norte de Marrocos*. Promontoria Monográfica, 15. Faro: FCHS: 49-62
- Fontanals-Colls M., Marín-Moratalla N., Ruiz J. & Subirá M.E.** (no prelo). The Mesolithic people from Sado valley, a study of the human diet from stable isotopes analysis. *The Eighth International Conference on the Mesolithic in Europe*. Santander.
- Freitas M.C., Andrade C. & Cruces A.** 2002. The geological record of environmental changes in southwestern Portuguese coastal lagoons since the Lateglacial. *Quaternary International* 93-94:161-170.
- Garcia-Guixé E., Richards M.P. & Subirá M.E.** 2006. Palaeodiets of humans and fauna at the Spanish mesolithic site of El Collado. *Current Anthropology* 47 (3): 549-556.
- Ghesquiére E. & Marchand G.** 2010. *Le Mésolithique en France. Archéologie des derniers chasseurs-cueilleurs*. Paris: La Découverte / INRAP.
- Gutiérrez-Zugasti I., Andersen S.H., Araújo A.C., Dupont C., Milner N. & Monge-Soares A.M.** 2011 Shell midden research in Atlantic Europe: State of the art, research problems and perspectives for the future. *Quaternary International* 239: 70-85.
- Larsson L.** 1996. Late Atlantic settlement in Southern Portugal. Results of an excavation of a mesolithic shell midden by the River Sado. *Current Swedish Archaeology* 4: 123-139.
- Marchand G.** 1999. *La néolithisation de l'ouest de la France : caractérisation des industries lithiques*. British Archaeological Reports. International Series, 748. Oxford: Archaeopress.
- Lentacker A.** 1986. Preliminary results of the fauna of Cabeço de Amoreira and Arruda (Muge, Portugal). *Trabalhos de Antropologia e Etnologia* 26 (1-2) : 9-26.
- Queiroz P.F. & Mateus J.E.** 2004. Paleoecologia litoral entre Lisboa e Sines. Do Tardiglaciário aos tempos de hoje. In: A.A. Tavares, M.J.F. Tavares & J.L. Cardoso (eds.) *Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenómenos Correlativos. Geologia, História, Arqueologia e Climatologia, Actas*. Lisboa: Universidade Aberta: 257-304.
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck W.J., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B, McCormac F.G., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., Van der Plicht J. & Weyhenmeyer C.E.** 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51: 1111-1150.
- Richards M.P. & Hedges R.E.M.** 1999. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic coast of Europe. *Journal of Archaeological Science*. 26:717-722.
- Roche J.** 1964-1965. Note sur la stratigraphie de l'amas coquillier mésolithique de Cabeço de Amoreira (Muge). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. 48:191-200.
- Roche J.** 1967. Seconde note sur la stratigraphie de l'amas coquillier mésolithique de Cabeço da Arruda (Muge). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*. 51:243-252.
- Roche J.** 1972. *Le gisement mésolithique de Moita do Sebastião (Muge, Portugal)*. Lisboa: Instituto de Alta Cultura.
- Santos M.F.** 1967. Concheiro mesolítico do Barranco da Moura. Grândola. *O Arqueólogo Português*. Série 3,1:113-114.
- Santos M.F.** 1968. Concheiro mesolítico da Fonte da Mina. Grândola. *O Arqueólogo Português*. Série 3, 2:183.

**Santos M.F., Soares J. & Silva C.T.** 1972. Campaniforme da Barrada do Grilo (Torrão – vale do Sado). *O Arqueólogo Português*. Série 3, 6: 163-192.

**Santos M.F., Soares J. & Silva C.T.** 1974. O concheiro epipaleolítico do Cabeço do Pez (Vale do Sado – Torrão). Primeira notícia. *Actas do III Congresso Nacional de Arqueologia*. Vol. 1. Porto: Imprensa Portuguesa:173-189.

**Silva C.T., Soares J., Cardoso J.L., Cruz. C.S. & Reis C.A.** 1986. Neolítico da Comporta: aspectos cronológicos (datas <sup>14</sup>C) e paleoambientais. *Arqueologia* 14: 59-82.

**Umbelino C.** 2006. *Outros sabores do passado. As análises de oligoelementos e de isótopos estáveis na reconstituição da dieta das comunidades humanas do Mesolítico Final e do Neolítico final/Calcolítico do território português*. Tese de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (Policopiada).



# PRELIMINARY ANALYSIS OF THE SPATIAL RELATIONSHIPS BETWEEN FAUNAL AND LITHIC REMAINS ON THE MESOLITHIC SHELMIDDEN OF CABEÇO DA AMOREIRA (MUGE, PORTUGAL)

Rita Dupont de Sousa Dias<sup>1</sup>, João Cascalheira<sup>1</sup>, Célia Gonçalves<sup>1</sup>,  
Cleia Detry<sup>1</sup> & Nuno Bicho<sup>1</sup>

**Resumo:** Nos últimos anos, novas investigações num dos mais importantes complexos mesolíticos da Europa – os concheiros de Muge – têm possibilitado defender a hipótese da coexistência de diferentes grupos sociais no mesmo território, detetáveis através de evidências no registo arqueológico, nomeadamente na (1) organização espacial dentro e entre os vários concheiros do complexo de Muge e na (2) presença de caracteres estilísticos e simbólicos diferenciados nos materiais líticos e nos adornos. O objetivo deste trabalho é o de contribuir para comprovar ou infirmar esta hipótese através da aplicação de modelos de distribuição espacial intra-sítio a restos osteológicos de animais e a artefactos líticos de diferentes níveis de ocupação, provenientes do concheiro do Cabeço da Amoreira.

O estudo levado a cabo, realizado no âmbito do projeto “The Last Hunter-Gatherers of the Tagus Valley – The Muge shellmiddens”, não comprovou ser relevante para comprovar a existência de uma organização espacial óbvia no sítio, mas foi preponderante para a compreensão da formação do mesmo.

**Palavras-chave:** Mesolítico; Concheiros; Restos faunísticos; Restos líticos; Inter-relação espacial; Organização social.

**Abstract:** The last years have seen new investigations in one of the most important Mesolithic complexes in Europe – The Muge Shellmiddens – that have made it possible to argue about the hypothesis of coexistence between different social groups within the same territories, detectable through evidences on the archaeological record, namely (1) in the spatial organization within and between the several middens by the (2) presence of differentiated style and symbolic traits in lithics and adornments.

This work's goals are to contribute to prove or disprove this hypothesis through the application of intra-site distribution models of animal bones and lithic artifacts from different occupation levels of the Cabeço da Amoreira midden.

This study, made within the project “The Last Hunter-Gatherers of the Tagus Valley – The Muge shellmiddens”, did not prove, ultimately, to be relevant to confirm the existence of an obvious spatial organization, but showed itself to be preponderant for the knowledge about site formation.

**Key-words:** Mesolithic; Shellmiddens; Faunal remains; Lithic remains; Spatial relationships; Spatial organization.

---

<sup>1</sup> Núcleo de Arqueologia e Paleoecologia da Universidade do Algarve, Campus Gambelas, FCHS, 8000 Faro, Portugal. E-mail:rddias@ualg.pt



## 1. THE MUGE MESOLITHIC COMPLEX – THE CABEÇO DA AMOREIRA SHELLMIDDEN

Known since the 19th century, the Muge shellmiddens have been excavated since early times. These excavations brought the site's great potential to light and revealed numerous human burials. The first excavations took place in the Cabeço da Arruda shellmidden in 1863 (Cardoso & Rolão 1999/2000), followed in subsequent years in the other shellmiddens both in the Muge and Magos valleys, a little to South.

The most recent archaeological excavations, within the “Last Hunter-Gatherers of the Tagus Valley – The Muge Shellmiddens” project, started in 2008 with an intervention on the Cabeço da Amoreira shellmidden.



Fig. 1 – Map of the Iberian Peninsula with the localization of the Mesolithic complex of Muge.

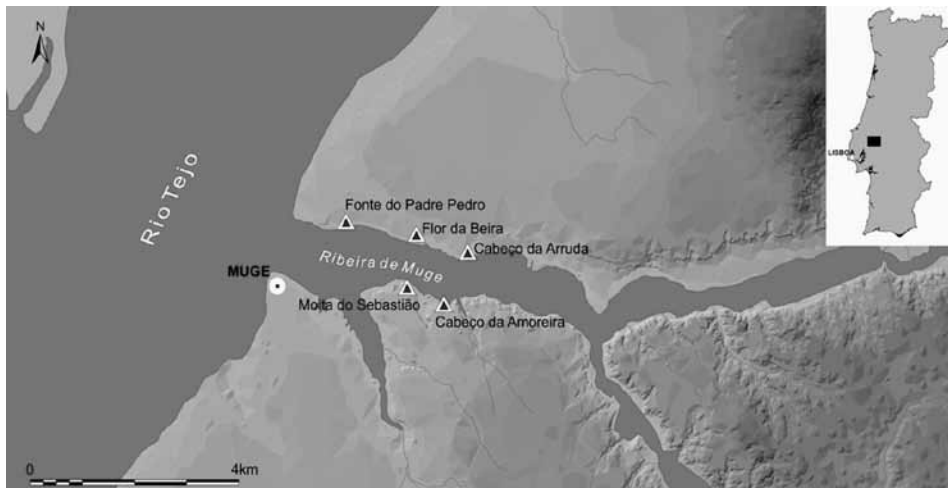


Fig. 2 – The Muge shellmiddens in the Tagus Valley.

This first intervention aimed to delimitate the shellmidden limit (about 100 m<sup>2</sup>), as well as localize other *loci*, the last by doing several test pits in the contiguous areas of the shellmidden (Bicho *et al.* 2011). Under this, a homogeneous presence of archaeological materials appeared, fact that lead to the beginning of excavation works in 5 cm layers. From the excavation of the first layers, in the main area, several lithic artifacts were recovered (clasts, cores, flakes, blades and bladelets as well as retouched tools like endscrapers, notches and geometric microlithic tools), as well as mammal remains, bird remains, fish remains, reptile remains, several small fragments and complete shells, perforated shells and crustacean legs, as well as few pottery fragments.

## 2. GOALS AND OBSTACLES

Commonly applied to archaeological issues (Villa & Mahieu 2000; Stiner 2005) the spatial distribution models, applied to artifacts (e.g. animal bones, lithic and wood residues), allow different approaches and analysis:

- Refitting between artifacts from different spatial units;
- Shows the general variation in the faunal, lithic and/or other artifacts distribution;
- Site formation processes evaluation (cultural and natural).

Based on this method, this preliminary investigation aims, through the extrapolation of tridimensional artifacts' localization, to test the presence of concentrations and spatial relations between animal bones and lithic artifacts with the object of (1) clarifying the processing and transport strategies by the hunter-gatherer communities; (2) the in-site spatial organization (specific activities areas) and (3) the economic models, evidence of subsistence patterns (diversity/amplitude, provisioning strategies, processing, transport, ingestion and discard).

## 3. METHOD AND BIASES

The excavation area is divided in a total of 96 1x1 m squares established in relation to a main *datum* with 100, 100, 100 coordinates, having, therefore, a X, Y, and Z value for each artifact. The excavation is done by artificial 5 cm layers, deposited in a 10 liters bucket posteriorly screened (with two 2,5 and 6 mm sieve) and measured (X, Y, Z). This way, the materials recovered in the sieves, although not having an exact provenance, still have a volumetric provenance. In this process a total station is used, connected to a computer with the EDMWIN software ([www.oldstoneage.com](http://www.oldstoneage.com) by S. Mcpherron and H. Dibble), from which a database is created in Microsoft Excel and projected in ArcGIS 10.

Each square as a lot number, with a corresponding bag, were clasts, lithics, charcoal and bones are stored separately.

Although this method is very efficient, there are some obstacles and biases that, sometimes, condition the obtained results, namely: (1) downward and vertical migration

of artifacts; (2) sedimentary alterations, consequence of mechanic or chemical factors, normally hard to predict; (3) the fact that excavators tend to collect bones with identifiable characteristics, or bigger than a certain size; (4) bones that were not initially measured, have to be recovered from the sieves, having, therefore, only a volumetric origin information; (5) small animals bones, like fish and reptile, are frequently over sighted in recovery, moreover (6) the dimension of small specimens affects its visibility in the site, leading to a preferential recovery and measuring.

#### 4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The results did not show any clear spatial organization (Fig. 3). Although these results are not relevant for site spatial organization, they still are in terms of site formation.

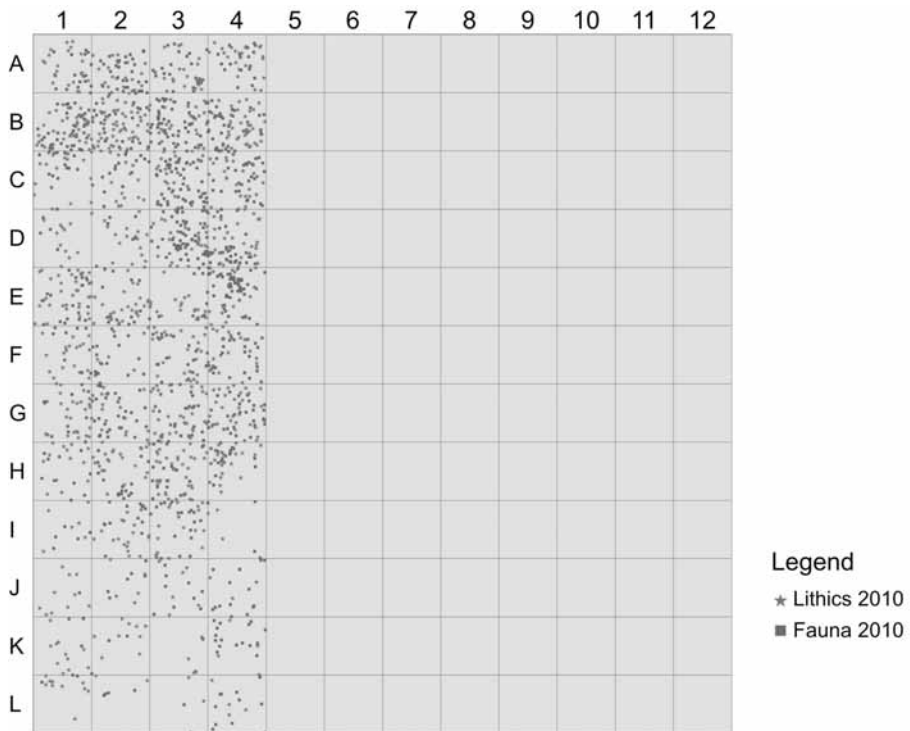
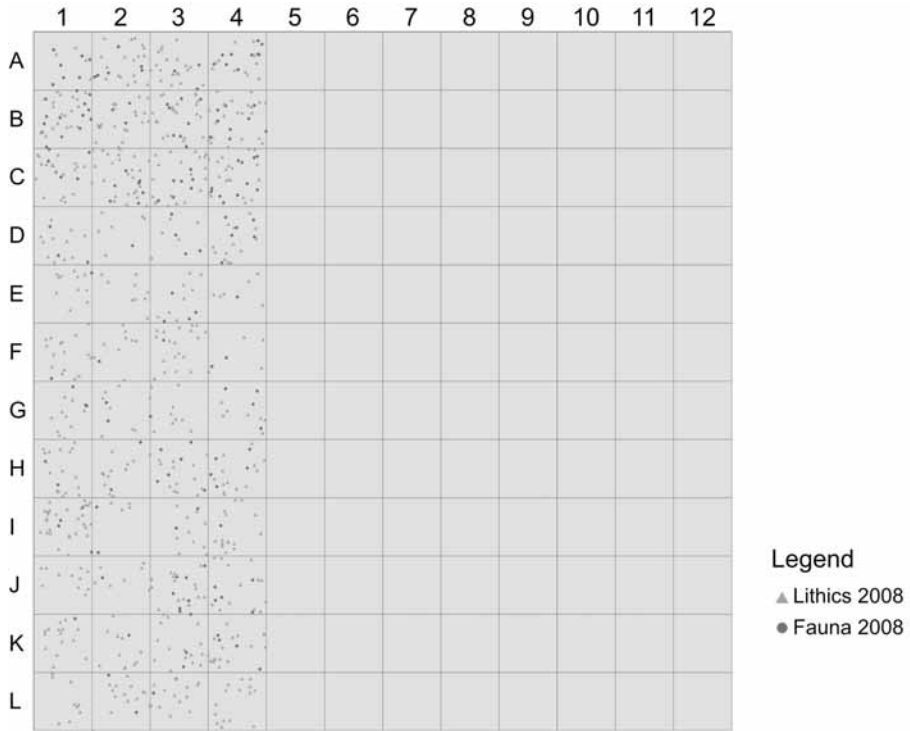
Regardless of the lack of a clear spatial organization, data shows a numeric organization: where there are more lithics, there are more bones also. Furthermore, data clearly show that this level does not correspond to a habitation level, and there is a possibility that this consubstantiates the *Cairn* theory (Bicho *et al.* in press), discussed in many occasion, more so, if in fact some kind of spatial organization exists, in older levels than the *Cairn*, data from the 2011 and 2012 excavation will show it.

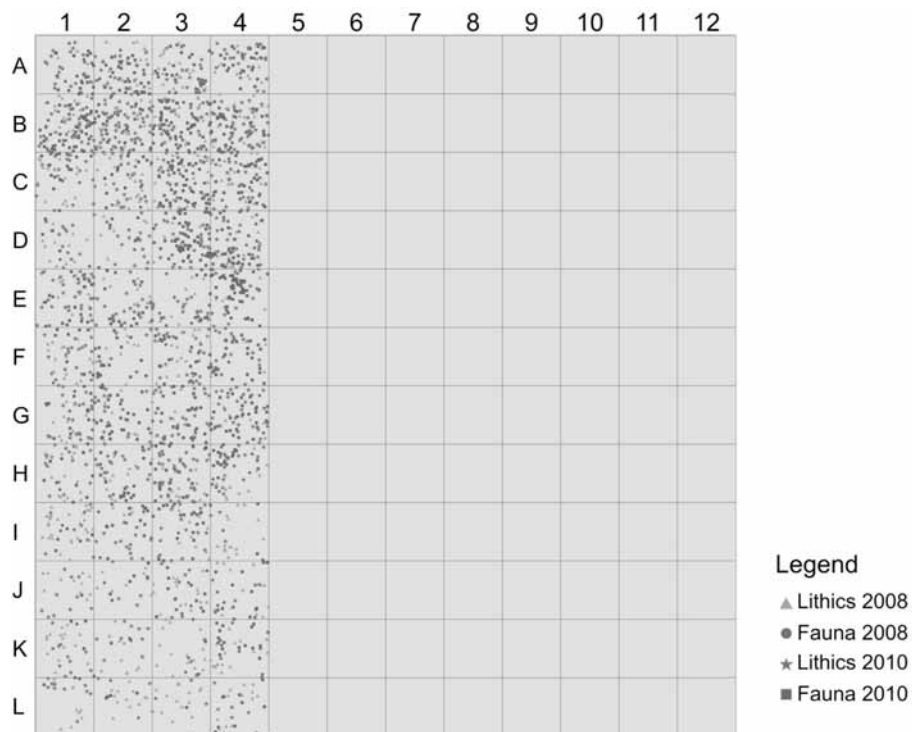
Although the analysis did not show an obvious relation between lithic typology and fauna *taxa*, a use-wear analysis would allow the artifacts in terms of their function, since, for example, lithics of the same typology may have different functions and therefore, data could then reveal some relation.

On the other hand, parts or elements of bones that never reached the site, have different behavioral implications than the bones that were destroyed *in situ* by their consumption or other taphonomic processes. It is also necessary a more complete technological analysis and refitting so to obtain a better comprehension of each space function within the site.

#### REFERENCES

- Bicho N., Cascalheira J., Marreiros J.E. & Pereira T. 2011. The 2008-2010 excavations of Cabeço da Amoreira, Portugal. *Mesolithic Miscellany* 21 (2): 3-13.
- Bicho N., Pereira T., Umbelino C., Jesus L., Marreiros J., Cascalheira J., Gonçalves C.E. & Detry C. in press. The construction of a shell midden: the case of Cabeço da Amoreira, Muge (Portugal). *Meso 2010, The 8<sup>th</sup> International Conference on the Mesolithic in Europe*.
- Cardoso J.L. & Rolão J. 1999/2000. Prospecções e escavações nos concheiros mesolíticos de Muge e Magos (Salvaterra de Magos): contribuição para a história dos trabalhos arqueológicos efectuados. *Estudos Arqueológicos de Oeiras* 8: 83-240.
- Stiner M. 2005. The Faunas of Hayonim Cave, Israel: A 200,000 – Year Record of Paleolithic Diet, Demography and Society. *American School of Prehistoric Research, Bulletin* 48.
- Villa P. & Mahieu E. 2000. Stone tools in carnivore sites: The case of Bois Roche. *Journal of Human Evolution* 21:27-48.





**Fig. 3** – Maps with the distribution of lithic and faunal remains for 2008, 2010 and 2008 and 2010 two together.

# BURIAL PRACTICES IN MUGE SHELL MIDDENS (PORTUGAL): STATE OF THE ART

Olívia Figueiredo<sup>1</sup>

**Resumo:** Enquanto referência para o estudo da sociedade do Mesolítico, os concheiros de Muge têm sido alvo de diversos estudos e publicações nos últimos 150 anos, embora sem particular incidência para o tema das práticas funerárias. No entanto, esta abordagem é possível, nomeadamente, através do cruzamento dos dados antropológicos e arqueológicos, efetuada aos cerca de 300 esqueletos encontrados nestes concheiros.

Com base numa reanálise dos dados antigos e das publicações existentes, inferimos que as inumações registadas até agora são predominantemente individuais, tendencialmente em decúbitos dorsal e associadas a algum material votivo. Tais conclusões abonam a favor da hipótese de que o conjunto de enterramentos humanos descobertos seria resultante de práticas funerárias intencionais, como aliás, alguns autores já defenderam.

**Palavras-chave:** Holocénico, Mesolítico, Concheiros, Muge, Práticas funerárias.

**Abstract:** As a reference for the study of the Mesolithic society, the Muge shell middens have been explored for the last 150 years, but with no particular references about the burial practices. Nevertheless, that approach is possible through the combination of archaeological and anthropological data, recovered from the 300+ skeletons found in this multisite complex. Through re-analyzing old data and previous studies, it is known that the burials registered so far are simple, tending for a dorsal decubitus position and with scarce votive material associated. These conclusions link these human burials to the hypothesis that this set of funerary practices were most likely intentional, as indeed some researchers have considered before.

**Keywords:** Holocene, Mesolithic, Shell middens, Muge, Burial practices.

## 1. THE MUGE SHELL MIDDENS

With the beginning of the Holocene, about 12 000 years ago, several climate changes took place, radically influencing the regional paleoenvironment. Consequently, as a result of the need to adapt to these circumstances, changes in subsistence patterns, settlement and technology happened among hunter-gatherers societies, as well as in their social structure. Over time, these changes reflected in burial practices of the prehistory populations living on the Mesolithic shell middens of Muge. This archaeological multisite complex, discovered in 1863 by Carlos Ribeiro, is located in Santarém, central Portugal, and it is, indeed, an essential reference for Prehistoric Archaeology (Fig. 1).

---

<sup>1</sup> Núcleo de Arqueologia e Paleocologia da Universidade do Algarve – FCHS, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. E-mail: olivaffigueiredo@gmail.com



Fig. 1 – Muge shell middens, Santarém (Portugal). From Google Maps (04.1.2011).

With over 2500 m<sup>2</sup> each, these large sites have complex stratigraphies and several occupational layers. The estimated 300+ skeletons collected from these sites makes this series one of the most numerous and important in the world for the study of Mesolithic society. Different studies of these shell middens have taking place during the last 150 years and the skeletal remains are one of the topics of the Mesolithic/Neolithic transition in Europe. Unfortunately, despite the constant and diversified work, we do not know much about the symbolic value of those burials. These archeological records have never been properly explored or analyzed taking into account the new concepts of Archaeology of Death, although anthropological studies are one of the most debated topics for understanding this Mesolithic population (Bicho 2009; Detry 2007; Umbelino 2006).

## 2. THE BURIALS

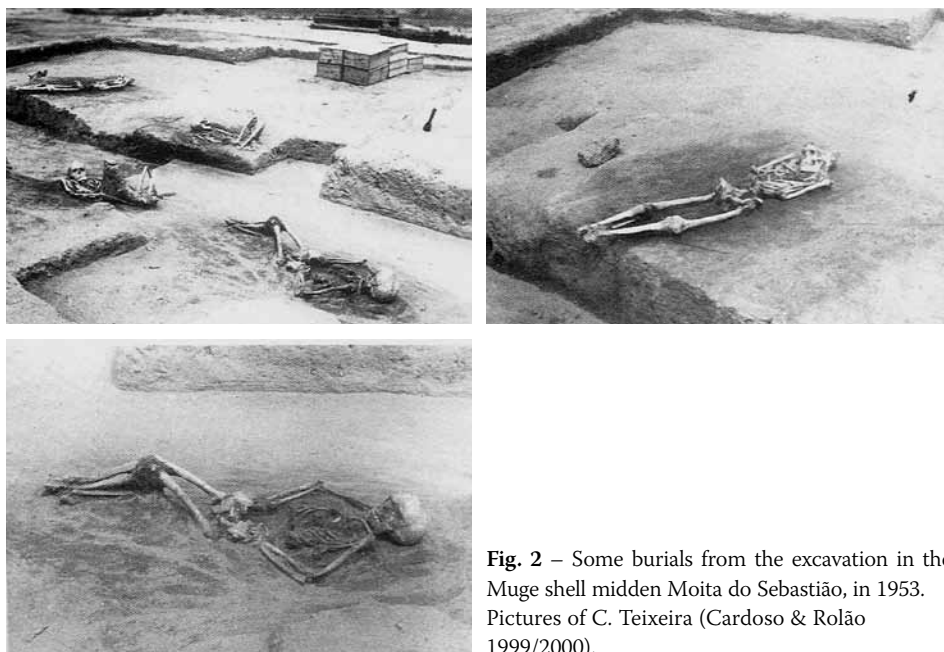
Most Muge burials seemed to have been placed at the base of the several shell middens although some were found in the upper layers, as we can see in Cabeço da Amoreira and Cabeço da Arruda. Regarding to the chronology, these skeletons mostly dated to between 7900 and 7250 cal BP, but there are rare dates older, like we can see in Cabeço da Arruda, or younger, such as in Cabeço da Arruda and Moita do Sebastião (Tab. 1).

From all the previous archeological excavations, we know that the burials registered so far are simple and with some votive material associated. It is possible to observe the existence of small groups, perhaps contemporary, such as in Moita do Sebastião (Fig. 2), which seems to exhibit a higher complexity regarding the burials and two different areas: one for habitat and the other one for burials. A preliminary analysis indicates that there were differences within and between sites, which could be interpreted as a reflection of a differentiation in the organization of the Mesolithic inhabitants of the Muge valley (Bicho 2009; Roche 1972).

Through analyzing the records of previous excavations, it is easy to understand that a pattern regarding the positions in which the bodies were buried and the votive materials was never established. We do know that the individuals were often buried with votive materials like shells and, less frequently, with stone tools or other lithic materials and it does seem to exist a tendency to deposit the body in the supine position

**Tab. 1** – Radiocarbon date of Muge area. Adapted from Bicho 2009.

Site	Provenance	Code	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Date (BP)	cal BP $2\sigma$
Cabeço da Arruda	Esqueleto 6	Beta-127451	Homo	-19.0	–	7550±100	8030-8400
Cabeço da Amoreira	?	TO-11819-R	Homo	-16.3	–	7300±80	7690-8010
Moita do Sebastião	Esqueleto 22	TO-131	Homo	-16.1	12.2	7240±70	7670-7950
Moita do Sebastião	Esqueleto 29	TO-133	Homo	-16.9	10.4	7200±70	7670-7940
Moita do Sebastião	Esqueleto 24	TO-132	Homo	-16.8	11.9	7180±70	7660-7940
Moita do Sebastião	Esqueleto 16	Beta-127449	Homo	-16.8	–	7120±40	6730-7830
Moita do Sebastião	Esqueleto 41	TO-134	Homo	-16.7	11.2	7160±80	7620-7930
Cabeço da Arruda	base	TO-10216	Homo	-17.9	10.6	7040±60	7590-7830
Cabeço da Arruda	Esqueleto A	TO-354	Homo	-19.0	12.2	6970±70	7570-7830
Cabeço da Arruda	Esqueleto III	TO-360	Homo	-17.7	11.2	6990±110	7460-7910
Cabeço da Amoreira	Esqueleto 7	Beta-127450	Homo	-16.5	11.9	6850±40	7430-7560
Moita do Sebastião	Esqueleto CT	TO-135	Homo	-15.3	13.4	6810±70	7260-7550
Cabeço da Arruda	Esqueleto D	TO-355	Homo	-18.9	10.3	6780±80	7420-7660
Cabeço da Amoreira	base	TO-10218	Homo	-17.1	–	6630±60	7180-7430
Cabeço da Arruda	topo	TO-10217	Homo	-18.1	10.5	6620±60	7260-7470
Cabeço da Amoreira	Níveis 2 e 3 (topo)	TO-10225	Homo	-20.1	8.2	6550±70	7320-7570
Cabeço da Arruda	Esqueleto N	TO-356	Homo	-15.3	12.5	6360±80	6720-7160
Cabeço da Arruda	Esqueleto 42	TO-359a	Homo	-17.2	11.8	6960±60	7480-7700

**Fig. 2** – Some burials from the excavation in the Muge shell midden Moita do Sebastião, in 1953. Pictures of C. Teixeira (Cardoso & Rolão 1999/2000).





**Fig. 3** – Burials from the Muge shell midden Moita do Sebastião, 1953. (Cardoso & Rolão 1999/2000).

(lying on their back), more dorsal than lateral, varying the position of the arms and legs (Fig. 3). It is especially common to observe a dorsal decubitus position, with extended arms, flexed knees and the head a little higher than the rest of the body. The individual burials predominate (Fig. 4). Although, Roche (1972) refers a certain tendency to orient the body to Northeast, it is difficult to see the consistency of that fact.

Mostly because of methodologies used in previous excavations, the available analysis of these Mesolithic burials were more focused on physical description of the skeleton and other anthropological characteristics, than the description of the individual skeleton's



**Fig. 4** – Skeleton from the Muge shell midden Cabeço da Amoreira, 2011.

position or burials like we can see in the recent work of Roksandic (2006). Other aspects related to the archeological and cultural contexts are not much referred too. These contexts, plus the notion of the distribution of the skeletons in the grave and the votive artifacts are, without any doubts, essential for the understanding and reconstruction of the burial practices applied, as well as its importance for these populations.

### 3. CONCLUSION

Only a few researchers do not believe in this data as a result of intentional burial practices, since these populations could have been guided by other reasons than burial rituals itself (Umbelino 2006). But the presence of lithics and shells near the skeleton are, with no doubts, a sign of an intentional act. For now, the only fact easily observed is that these Mesolithic burials are simple and with no defined pattern concerning the position of the body and the votive artifacts associated.

The quality of the records concerning the disposition of the bones is essential to the reconstruction of burial practices. These shell middens have been periodically

excavated since the mid 19<sup>th</sup> century and the methodologies used have varied according to the archeological works at the time. As a result, the quality of documentation has been affected which may have limited the reconstruction of this important characteristic of the Muge Valley population.

## REFERENCES

- Bicho N.** 2009. Sistemas de povoamento, subsistência e relações sociais dos últimos caçadores-recolectores do Vale do Tejo. *Estudos Arqueológicos de Oeiras* 17: 133-156.
- Cardoso J.L. & Rolão J.M.** 1999/2000. Prospecções e escavações nos concheiros mesolíticos de Muge e de Magos (Salvaterra de Magos): contribuição para a história dos trabalhos arqueológicos efectuados. *Estudos Arqueológicos de Oeiras* 8: 83-240.
- Carvalho A.F.** 2009. O Mesolítico Final em Portugal. In: M. Utrilla Miranda & L. Montes Ramírez (coord.) *El Mesolítico Geométrico en la Península Ibérica* (Monografías Arqueológicas 44). Zaragoza: Universidade de Zaragoza, Departamento de Ciencias de la Antigüedad: 33-68.
- Detry C.** 2007. *Paleoecología e paleoeconomia do Baixo Vale do Tejo no Mesolítico Final: o contributo dos mamíferos dos concheiros de Muge*. Lisboa /Salamanca: Universidade Autónoma de Lisboa e Universidade de Salamanca (Tese de doutoramento).
- Roche J.** 1972. *Le gisement mésolithique de Moita do Sebastião (Muge – Portugal)*. Archéologie. Lisboa: Instituto de Alta Cultura.
- Roksandic M.** 2006. Analysis of burials from the new excavations of the sites Cabeço da Amoreira and Cabeço da Arruda (Muge, Portugal). In: N.F. Bicho & H. Veríssimo (eds.) *Do Epipaleolítico ao Calcolítico (Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular, Faro, 14 a 19 de Setembro de 2004)*. Faro: Centro de Estudos do Património: 43-54.
- Umbelino C.** 2006. *Outros sabores do passado. As análises de oligoelementos e de isótopos estáveis na reconstrução da dieta das comunidades humanas do Mesolítico Final e do Neolítico/Calcolítico do território português*. Coimbra: Universidade de Coimbra (Tese de doutoramento).



# ACERCA DA INFLUÊNCIA AMBIENTAL E HUMANA NOS MOLUSCOS DO MONTE MOLÍÃO (LAGOS, PORTUGAL)

Cleia Detry<sup>1</sup> & Ana Margarida Arruda<sup>1,2</sup>

**Resumo:** O Monte Molião (Lagos) é um sítio arqueológico ocupado entre a Idade do Ferro e a época romana Imperial que está situado junto do estuário da ribeira de Bensafrim. O estudo zooarqueológico dos materiais recuperados neste sítio permitiu reconstituir as dietas das populações que nele habitaram, tendo possibilitado registar a presença de uma ampla diversidade de mamíferos, aves, peixes e moluscos. A prolixa presença de peixe (incluindo os recuperados nos tanques de salga), os restos de mamíferos marinhos (vértebras de baleia) e a abundância de moluscos marcam também este conjunto, situação que se deve, certamente, à proximidade da linha de costa. A presença de algumas espécies de aves costeiras vem reforçar a importância da utilização dos recursos ribeirinhos. É na variação das espécies de bivalves mais frequentes que se encontrou os resultados mais díspares. A diminuição acentuada de *Cerastoderma edule* (berbigão) no período romano republicano e aumento de *Mytilus edulis* (mexilhão) e *Ruditapes Decussatus* (ameijoia-boa), parecem indicar alterações ambientais, em que o ambiente estuarino de baixa energia, favorável ao berbigão, parece ter sido perturbado. Outra hipótese seria de ordem cultural, motivando a alteração nos hábitos de exploração dos recursos aquáticos.

O facto de o berbigão recuperar a abundância de restos no período imperial parece reforçar uma hipótese ambiental transitória (tempestade ou tsunami) na perturbação da ribeira de Bensafrim.

**Palavras-chave:** Zooarqueologia; Malacologia; Época romana; Monte Molião; Tsunami.

**Abstract: On the environmental and human influence on the molluscs of Monte Molião (Lagos, Portugal)**

The archaeological site of Monte Molião (Lagos, Algarve), situated on the estuary of the River Bensafrim, was occupied from the Iron Age until the Roman Imperial period. A study of the fauna recovered from this site allowed us to reconstruct the diet of the inhabitants of Molião, registering the presence of a wide variety of mammal, bird, fish and mollusc species. The abundant fish (including the ones present in salting tanks), marine mammals (whale vertebrae), the abundant molluscs as well as the marine birds all indicate a strong maritime relation.

The significant chronological variation of the three main taxa of bivalves that is interesting. A marked decrease of *Cerastoderma edule* (the common cockle) in the Republican period and an increase of *Mytilus edulis* and *Ruditapes decussatus*, we suggest, indicate environmental changes. The low energy estuarine environment, favorable to *C. edule*, seems to have been disturbed. We cannot however rule out a cultural explanation involving a change in dietary preferences for particular species or the way the aquatic environment was exploited at Monte Molião.

The fact that the common cockle recovered its abundance in the Roman Imperial period corroborates the suggestion of a sudden environmental event such as a tempest or tsunami that disturbed the River Bensafrim.

**Key-words:** Zooarchaeology; Malacology; Roman period; Monte Molião; Tsunami.

---

<sup>1</sup> Uniarq – Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa. Portugal. E-mail: cdetry@gmail.com

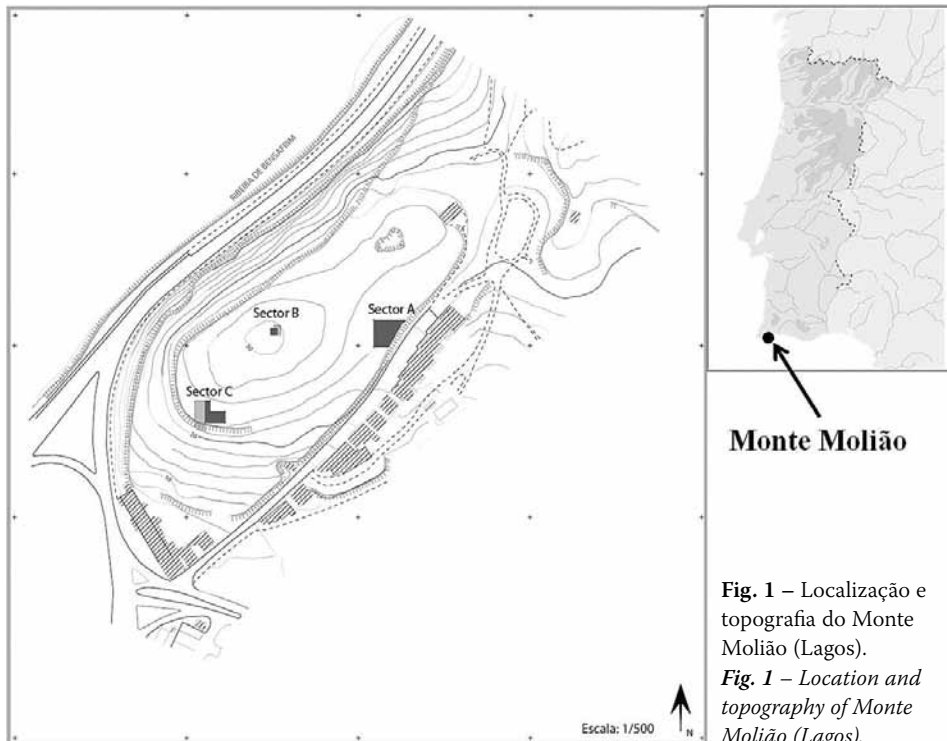
<sup>2</sup> Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Portugal.

## 1. INTRODUÇÃO

O Monte Molião, um sítio arqueológico situado nas proximidades da cidade de Lagos, localiza-se na margem esquerda da ribeira de Bensafrim, distando, atualmente, cerca de 500 m da linha de costa (Fig. 1). Implantado sobre um esporão com aproximadamente 30 m de altitude, domina visualmente a planície envolvente e a linha costeira.

Desde 2006, tem vindo a ser escavado por uma de nós (A.M.A.), com o apoio da Câmara Municipal de Lagos. Os trabalhos arqueológicos proporcionaram a recolha de um extenso acervo documental, quer ao nível dos espólios quer no que se refere a estruturas construídas e permitiram sustentar a possibilidade de estarmos perante um povoado de extensão assinalável que, muito provavelmente, correspondeu à antiga *Lac-cobriga* mencionada nas fontes clássicas, concretamente em Pompónio Mella (III, 1, 7) e em Plutarco (*Sertorius*, 13) (Arruda 2007; Arruda *et al.* 2008).

A análise e estudo dos materiais e estruturas identificados durante os trabalhos de campo permitiram aferir que o povoado terá sido ocupado desde a Idade do Ferro até à época romana Imperial (século IV a.n.e. a II d.n.e.) (*Ibidem*; Arruda & Pereira 2010; Arruda *et al.* 2010a; Arruda *et al.* 2010b). A ocupação humana do sítio foi dividida em três grandes fases: Idade do Ferro (325-200 a.n.e.); período Romano Republicano (130-80 a.n.e.) e período Romano Imperial (15 a.n.e.-200 d.n.e.).



**Fig. 1** – Localização e topografia do Monte Molião (Lagos).

**Fig. 1** – Location and topography of Monte Molião (Lagos).

A foz da ribeira de Bensafrim caracteriza-se por constituir um estuário de dinâmica predominantemente fluvial (Gomes 2010), que se encontra fechado, segundo Ramos-Pereira *et al.* (1994), desde 2800 cal BP, ou seja em época consideravelmente anterior ao início da presença humana em Monte Molião. A formação de um cordão dunar terá originado a proteção da ribeira de Bensafrim das investidas do mar, bem como diminuído, em grande medida, a influência de marés.

Os restos de fauna recuperados nas escavações do Monte Molião foram analisados e publicados em Detry & Arruda (no prelo), focando com maior detalhe os restos vertebrados de mamíferos e aves. Neste trabalho iremos abordar, em maior profundidade, os restos de invertebrados e elaborar interpretações sobre a variação destas espécies.

Os estudos zooarqueológicos podem ser de grande utilidade, complementando as restantes abordagens e interpretações arqueológicas sobre a dieta e vivências de determinada comunidade no passado. Podem, ainda, suscitar novas interpretações sobre a ocupação e influências ambientais que estas sofreram.

## 2. METODOLOGIA

Os restos de mamíferos e aves provenientes das escavações do Monte Molião foram analisados de acordo com a metodologia de Davis (1992) demonstrada em Detry & Arruda (no prelo). Os resultados obtidos forneceram informações sobre os recursos alimentares utilizados pelas populações que ocuparam o sítio durante a Antiguidade e sobre o uso ou usos que essas mesmas populações fizeram dos animais que com elas estiveram, de uma forma ou de outra, relacionados.

Os gastrópodes foram contabilizados sempre que a abertura estava presente, no caso das conchas em forma de búzio, e quando o ápice existia, no caso das conchas de *Patella* sp.

Os bivalves foram registados quando havia a charneira e quando esta permitia identificá-los até à espécie, género ou grupo taxonómico mais próximo.

Para as identificações ao nível taxonómico, utilizaram-se os seguintes manuais: Tebble (1966); Macedo (1996) e Campbell (1994).

Os valores apresentados nesta publicação referem-se sempre a número de restos determinados (NRD).

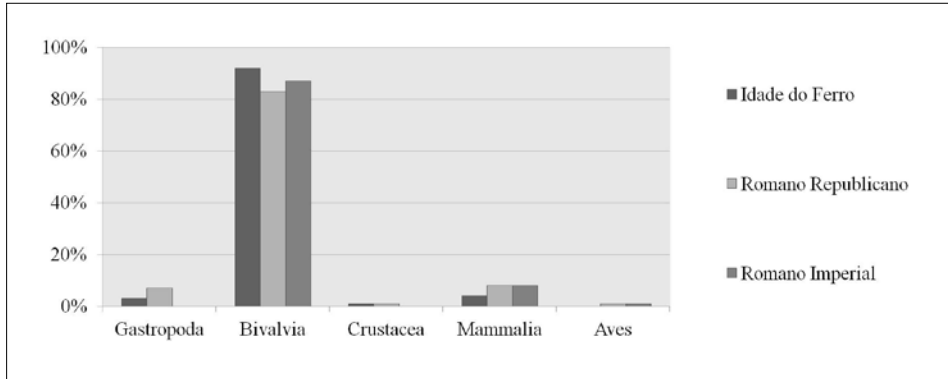
## 3. RESULTADOS

Os grandes grupos presentes em Monte Molião são: Moluscos (Gastropoda e Bivalvia); Crustáceos; Mamíferos e Aves, tal como se pode observar na Fig. 2.

Os restos ictiológicos foram separados e encontram-se ainda em estudo por S. Gabriel (LA-DGPC-CIBIO<sup>3</sup>). A sua abundância deve desde já destacar-se e revela a importância deste recurso na dieta alimentar, quer para consumo imediato, quer em

---

<sup>3</sup> Grupo Misto Direção Geral do Património Cultural (Laboratório de Arqueociências) – CIBIO.



**Fig. 2** – Percentagens dos restos dos principais grupos de animais representados no registo arqueológico do sítio do Monte Molião.

*Fig. 2* – Percentages of the major groups of animals represented in the archaeological record of Monte Molião.

diferido depois da sua transformação, prática evidenciada no sítio através da presença de tanques de salga de peixe na encosta sudeste (Bargão 2008) e no topo.

No mesmo sentido, os materiais relacionados com a atividade piscatória, tais como os anzóis, os pesos de rede e as agulhas de reparação de redes, por exemplo, já estudados por Lourenço (2010), reforçam estas evidências.

Quanto aos restos de aves (Tab. 1), a maioria foi identificada como pertencente à ordem dos galiformes (*Gallus domesticus* – Galinha doméstica e *Alectoris rufa* – Perdiz), mas existem alguns poucos restos de espécies de aves costeiras nomeadamente: *Puffinus puffinus* (pardela-sombria); *Morus bassanus* (alcatraz); *Phalacrocorax carbo* (corvo-marinho) e *Larus* sp. (gaivota). Estas espécies são concordantes com a proximidade geográfica do local com o ecossistema costeiro, seu habitat natural.

Ainda assim é fácil observar que os mamíferos, sobretudo no que toca à quantidade de biomassa, são os mais importantes neste registo. A grande maioria dos restos corresponde a lixo alimentar, aspeto evidenciado não só pelas espécies encontradas, reconhecidamente parte da dieta alimentar humana, mas também pelas partes anatómicas presentes (sobretudo partes com carne adjacente), pelas marcas de corte e idades de abate, mostrando animais que seriam mantidos sobretudo para o fornecimento de carne e produtos secundários (como o leite, lã, tração, etc.). As espécies de mamíferos são na maioria domesticadas – ovelha, cabra, vaca e porco, como seria de esperar num povoado permanente deste período (Tab. 2). A caça foi também um elemento importante, estando testemunhada pela presença do coelho, do veado e do javali.

**Tab. 1** – Número de restos determinados (NRD) de aves registados e identificados taxonomicamente, recuperados nas escavações do Monte Molião.

**Tab. 1** – *Number of Identified Specimens (NISP) of birds, registered and identified taxonomically, recovered from excavations at Monte Molião.*

Fase Cronológica	Nome-comum	Idade do Ferro	P. Republicano	P. Imperial
<i>Puffinus puffinus</i>	Pardela-sombria	0	0	1
<i>Morus bassanus</i>	Alcatraz	0	0	1
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Corvo-marinho	0	0	1
Galiformes		5	4	12
<i>Gallus domesticus</i>	Galinha-doméstica	2	28	14
<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz	0	3	10
<i>Coturnix coturnix</i>	Codorniz	0	1	0
<i>Larus sp.</i>	Gaivota	0	0	1
<i>Corvus monedula</i>	Gralha	0	1	0
<b>Total – Aves</b>		7	37	40

**Tab. 2** – Número de restos determinados (NRD) de Mamíferos registados e identificados taxonomicamente recuperados nas escavações do Monte Molião.

**Tab. 2** – *Number of Identified Specimens (NISP) of mammals, registered and identified taxonomically recovered from excavations at Monte Molião.*

Fase Cronológica	Nome-comum	Idade do Ferro	Republicano	P. Imperial
<i>Bos sp.</i>	Gado bovino	14	34,5	41,5
<i>Ovis/Capra</i>	Ovelha/Cabra	60,5	93	120
<i>Ovis aries</i>	Ovelha	4	19	7
<i>Capra hircus</i>	Cabra	2	11	14
<i>Sus sp.</i>	Porco/Javali	64	91	165
<i>Cervus elaphus</i>	Veado	12	26	53,5
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Coelho-bravo	47	79	81
<i>Ursus arctos</i>	Urso-pardo	0	0	1
<i>Canis familiaris</i>	Cão	6	5	30
<i>Lynx pardinus</i>	Lince-ibérico	0	0	1
<b>Total – Mammalia</b>		209,5	358,5	514

Por fim, parece obrigatório destacar que, em termos numéricos, os invertebrados são, de longe, os mais expressivos – ver a tabela 3 para os valores numéricos das várias espécies. Apesar dos invertebrados marinhos serem mais numerosos contribuem menos em termos de biomassa, constituindo apesar disso, um importante complemento da dieta humana.



**Tab. 3** – Número de restos determinados (NRD) de Moluscos registados e identificados taxonomicamente recuperados nas escavações do Monte Molião.

**Tab. 3** – *Number of Identified Specimens (NISP) of molluscs, registered and identified taxonomically recovered from excavations at Monte Molião.*

FASES	Nome-comum	Idade do Ferro	Republicano	Imperial
<b>Phylum Mollusca</b>				
<b>Classe Gastropoda</b>				
<i>Patella</i> sp.	Lapas	138	210	62
<i>Gibbula</i> sp.	Burriè	0	2	1
<i>Monodonta</i> sp.	Caramujo	20	46	36
<i>Astraea rugosa</i>	--	0	1	0
<i>Turritella</i> sp.	Turritela	0	1	0
<i>Cerithium vulgatum</i>	--	9	7	7
<i>Eulima polita</i>	--	0	1	7
<i>Phalium</i> sp.	--	2	5	3
<i>Murex (Bolinus) brandarius</i>	Búzio-fêmea	0	0	6
<i>Thais haemastoma</i>	Púrpura	1	17	35
<i>Amyclina pfeifferi</i>	--	0	1	0
<i>Nassarius</i> sp.	--	1	2	11
<i>Helix</i> sp.	--	27	43	39
<i>Lymnaea</i> sp.	--	0	1	0
<b>Classe Bivalvia</b>				
<i>Glycymeris</i> sp.	Castanhola	1	6	10
<i>Anomia ephippium</i>	Ostra-cão	0	0	1
<i>Mytilus edulis</i>	Mexilhão	123	822	174
<i>Chlamys</i> cf. <i>varia</i>	Vieira-pintalgada	0	1	0
<i>Pecten maximus</i>	Vieira	1	5	4
<i>Ostrea edulis</i>	Ostra	16	45	112
<i>Laevicardium</i> sp.	Ameijoa-lustrosa	0	3	2
<i>Arctica islandica</i>	--	15	7	29
<i>Cerastoderma edule</i>	Berbigão	3462	851	4127
<i>Acanthocardia</i> sp.	Berbigão-de-bicos	1	18	58
<i>Lutraria</i> sp.	--	0	1	4
<i>Eastonia rugosa</i>	--	1	0	0
<i>Solen</i> sp.	Lingueirão	62	173	13
<i>Donax vitatus</i>	Cadelinha	0	1	2
<i>Scrobicularia plana</i>	Lamejinha	1	3	1
<i>Venus</i> cf. <i>striatula</i>	Vénus	0	1	2
<i>Callista chione</i>	--	0	1	0
<i>Dosinia</i> cf. <i>lupinus</i>	--	0	1	0

<i>Ruditapes decussatus</i>	Ameijoa-boa	1710	1910	781
<i>Venerupis</i> sp.	--	3	0	0
<b>Classe Cephalopoda</b>				
<i>Sepia officinalis</i>	Choco-comum	0	19	1
<b>Classe Crustacea</b>				
<i>S. scalpellum</i>	--	1	9	5
<i>Ballanus</i> sp.	Craca	27	33	8
<i>Carcinus maenas</i>	Caranguejo-verde	2	1	1
<b>TOTAL</b>		5624	4248	5542

Os crustáceos contribuem com alguns restos, muito escassos, que, por isso, não iremos analisar em profundidade. Os mais comuns são de Balanídeos, as vulgares cracas. Foram ainda identificados alguns vestígios de *S. scalpellum* e de *Carcinus maenas* (Caranguejo-verde), uma espécie bastante comum em estuários, nomeadamente como predadora de berbigão.

Os cefalópodes, concretamente fragmentos da concha interna de *Sepia officinalis* (choco-comum), são em menor número, mas poderão ter sido mais comuns, uma vez que a fragilidade da concha poderá explicar a sua menor preservação neste contexto.

Quanto aos gastrópodes, os mais frequentes são, sem dúvida, as *Patella* sp. (lapas) e os *Monodonta* sp. (caramujo), ambos típicos de ambiente infralitoral marinho rochoso. Outro, mais raro, é o *Thais haemastoma* (púrpura), também presente no mesmo contexto ecológico, não destoando no conjunto que demonstra a exploração dos recursos costeiros.

A *Helix* sp., gastrópode terrestre ainda hoje abundante na região, pode eventualmente ser intrusiva. Aliás, sendo de origem terrestre, é pouco relevante para a análise que realizámos.

Os bivalves constituem o grupo mais numeroso de invertebrados. As três espécies mais frequentes são o berbigão (*Cerastoderma edule*), o mexilhão (*Mytilus edulis*) e a ameijoa-boa (*Ruditapes decussatus*). A ostra (*Ostrea edulis*) e o lingueirão (*Solen* sp.) são ainda outros dois exemplos identificados em número significativo.

O berbigão é típico de ambiente estuarino de baixa energia, localizando-se normalmente em zonas protegidas do estuário onde se enterra no lodo (Dabouineau & Ponsero 2009). Tolerava reduzida salinidade, o que lhe permite atingir zonas bastante interiores do estuário com fraca influência de marés (Campbell 1994). Atendendo ao facto de a ribeira de Bensafrim se encontrar protegida da influência marinha, desde 2800 cal BP (Ramos-Pereira *et al.* 1994), o berbigão beneficiaria desta proteção e, conseqüentemente, seria bastante abundante nas proximidades do Monte Molião.

O mexilhão é uma espécie que pode ser encontrada em ambiente de estuário e de litoral, embora necessite de um contexto de maior energia. A sua tolerância à reduzida salinidade é francamente menor que a do berbigão. Necessita ainda de um substrato duro para se ligar (Campbell 1994).

A ameijoia-boa (*R. decussatus*) é típica de ambiente litoral arenoso, também encontrada na região litoral de elevada energia e com salinidade de ambiente marinho (Macedo 1996). A proximidade de Monte Molião deste ambiente explica a sua abundância entre os restos arqueológicos.

As restantes espécies, embora em menor abundância, corroboram a presença destes nichos ecológicos junto do Monte Molião. Não só estes habitats estão hoje presentes, mas também, tal como é indiciado pelos estudos geoarqueológicos, existiam no passado.

A grande questão que promove este estudo é a variação atípica destas espécies de moluscos ao longo da ocupação de Monte Molião. Na figura 3 e tabela 1, pode observar-se que o berbigão é a espécie mais frequente na Idade do Ferro, embora diminua drasticamente no período Romano Republicano para voltar a recuperar na época Imperial. Pelo contrário, a ameijoia-boa, o mexilhão e em menor número, as lapas e os lingueirões aumentam significativamente nas camadas do período Republicano. São estes os resultados e as suas possíveis explicações que aqui discutiremos.

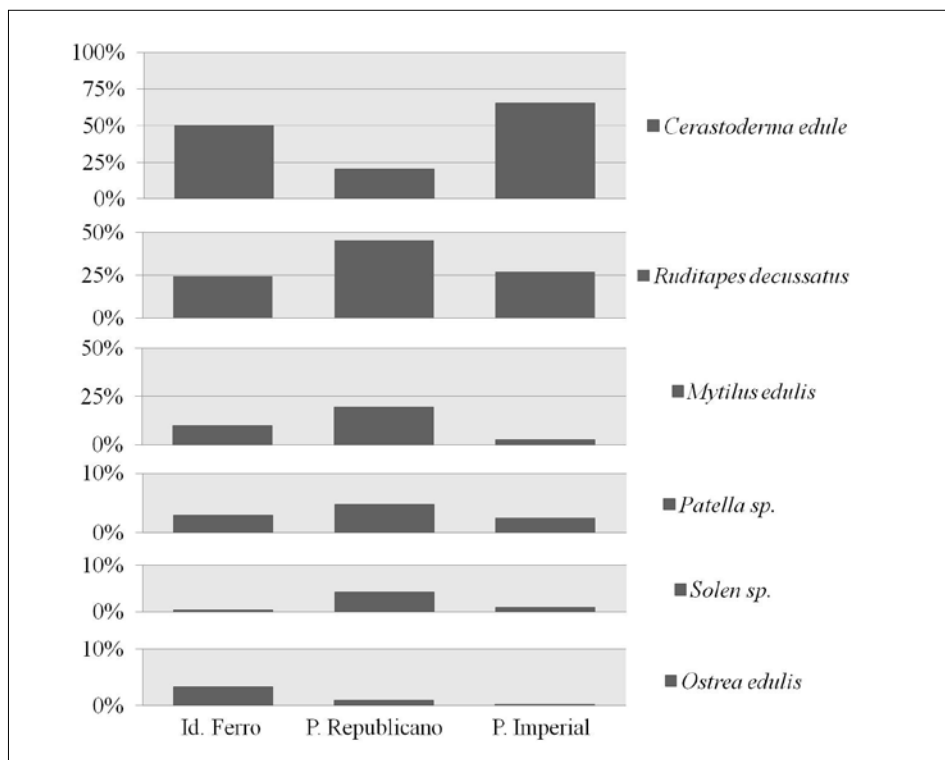
#### 4. DISCUSSÃO

A redução drástica da frequência de berbigão e o aumento contemporâneo de ameijoia-boa e de mexilhão, entre o lixo arqueofaunístico do Monte Molião no período Romano Republicano, é bastante acentuado (Fig. 3). Fenómenos de ordem ambiental ou humana poderão ter estado na origem desta variação. Por um lado, um acontecimento de origem ambiental, como por exemplo, eventos repentinos de elevada energia, como tempestades ou tsunamis, pode constituir uma explicação. Por outro, a pressão humana manifestada, por exemplo, na preferência cultural por determinada espécie em determinada época, ou a construção de estruturas que afetem o habitat destas espécies não pode ser descartada.

Convém recordar que os conjuntos analisados têm origem na deposição humana, já que não só se encontram em contexto arqueológico, como estão perfeitamente integrados em camadas de origem antrópica, devidamente contextualizados por outros materiais, como cerâmicas, metais e estruturas. Refletem, também, depósitos de lixos, muito provavelmente, alimentares. De recordar, ainda, que os restos de mamíferos e de aves encontrados nos mesmos contextos apresentam marcas de consumo (e.g. marcas de corte e de fogo), o que permite assumir a mesma função alimentar para os invertebrados, havendo ainda uma pequena percentagem (menos de 1%) que possui marcas de fogo, evidência provável de que o seu consumo teria sido praticado após ter sido cozinhado.

Os invertebrados marinhos, embora não sendo a fonte proteica mais importante constituíram importante contributo para a dieta destas populações ao longo de toda a ocupação.

Em determinados casos, as populações humanas podem exercer excessiva predação sobre comunidades de animais, causando grave perturbação dos seus *stocks* e mesmo a sua extinção, total ou parcial, fenómeno que é bastante comum. As espécies



**Fig. 3** – Percentagem de moluscos ao longo dos três períodos cronológicos de ocupação do Monte Molião.  
**Fig. 3** – Percentage of shellfish in the three periods of occupation of Monte Molião.

sésseis ou de reduzida mobilidade, como é o caso dos moluscos, são especialmente sensíveis à excessiva recolha antrópica, podendo a sua densidade local ser amplamente afetada, bem como o próprio tamanho das conchas. A recolha intensiva de invertebrados marinhos evita que os indivíduos cresçam, e, atendendo ao facto de estes bivalves terem crescimento contínuo, a recolha destes em fases precoces do crescimento pode pressionar a comunidade e afetar a média de tamanhos.

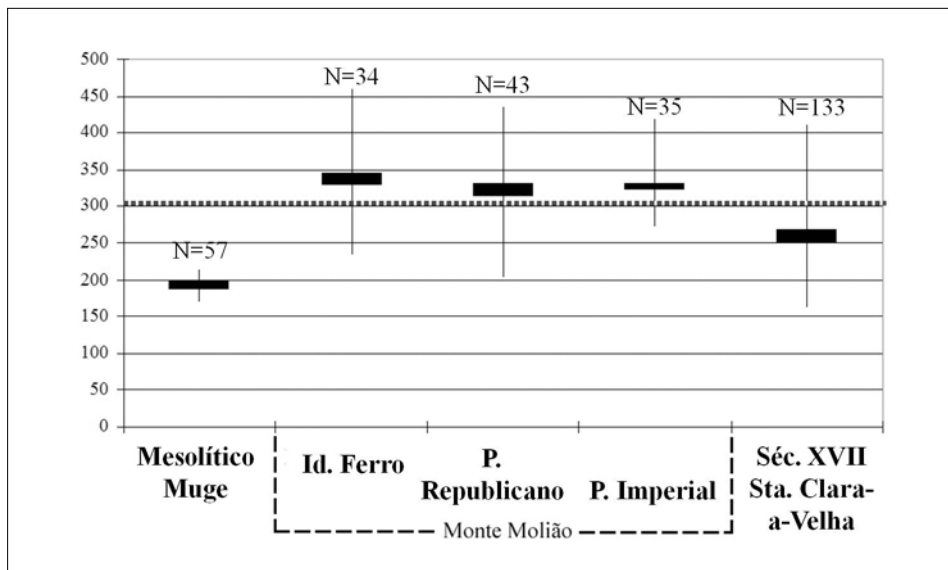
Exemplos deste fenómeno foram encontrados e registados por autores como Silva *et al.* (1986) em que a média de tamanhos da espécie de *Ruditapes decussatus* no sítio Neolítico da Barrosinha (Comporta) diminui da camada mais antiga para a mais recente. Diminuição que é ainda acompanhada de uma maior diversidade dos restantes recursos faunísticos. A explicação dos autores remete para uma fixação humana mais permanente, na segunda fase de ocupação do sítio arqueológico, o que teria provocado uma maior pressão sobre os bivalves.

Outro exemplo, mais tardio, refere-se ao sítio Calcolítico do Outeiro Redondo (Sesimbra) onde Coelho & Cardoso (2010/2011) também demonstram a diminuição dos tamanhos médios das conchas de *Patella intermedia*, nos períodos mais recentes da ocupação, indicando como factor explicativo o aumento da pressão antrópica sobre estes recursos ao longo do tempo.

Segundo Dabouineau & Ponsero (2009), um determinado conjunto de conchas de berbigão apresenta evidências de ter sido afetado pela pressão humana quando a média da largura da valva é inferior a 300 mm.

Na figura 4, podemos ver como a distribuição das medidas da largura da valva de berbigão quando calculado o intervalo de confiança em relação à média, apresentam, em alguns casos, leves indicadores de pressão humana. Situação bastante comum no Mesolítico, já que as comunidades de caçadores-recolectores eram bastante dependentes dos invertebrados aquáticos. No caso do Mosteiro de Santa Clara-a-Velha, com restos datados do período moderno – primeira metade do século XVII –, a influência humana é menos determinante, mas, ainda assim, o intervalo apresenta-se abaixo do limite (300 mm). No caso do Monte Molião, e nos três períodos de ocupação, não existem evidências da diminuição do tamanho da valva de berbigão motivo pelo qual não existiu excessiva pressão antrópica sobre esta espécie no estuário da ribeira de Bensafrim na Antiguidade.

A influência humana pode ainda dar-se ao nível da perturbação do ecossistema estuarino ou costeiro através da construção de portos ou pontões. Este tipo de equipa-



**Fig. 4** – Intervalo de confiança de 95% em relação à média da largura da valva (VL) de *Cerastoderma edule*. Linha vertical indica o máximo e mínimo e caixa indica o intervalo de confiança. Comparação entre as medidas dos elementos encontrados nos vários períodos do Monte Molião com outros conjuntos arqueológicos (período moderno e Mesolítico) onde se encontram evidências de stress na amostra.

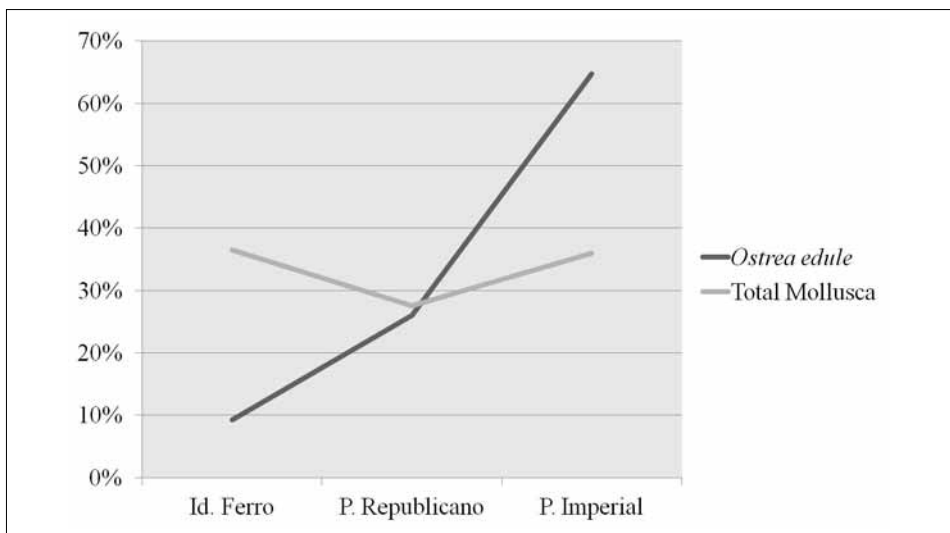
**Fig. 4** – The average values of the valve width (VL) of *Cerastoderma edule* +/- their 95% confidence limits. The vertical line represents the range of measurements, and the box indicates the 95% confidence interval of the mean. Comparison between measurements of the elements found in the various periods of Monte Molião with other archaeological sites from the modern period and Mesolithic, where evidence for stress is present. The 300mm line, shows the size below which the common-cockle shows signs of human over-predation (Dabouineau & Ponsero 2009).

mentos podem perturbar a dinâmica de sedimentação e de marés, e, por consequência, influenciar o habitat das espécies de moluscos. Tal poderia perturbar o ambiente estuarino (berbigão) ou litoral (amêijoas, mexilhão e lapas) e assim diminuir a frequência destas espécies no estuário ou na costa circundante do Monte Molião, o que em termos arqueológicos se traduziria pela diminuição da recolha dos restos de conchas. No entanto, neste caso, não são conhecidos até ao momento, quaisquer estruturas deste tipo ou documentação que suporte esta explicação.

Por fim, e ainda no que à dimensão humana diz respeito, seria de referir a influência cultural, com uma preferência pelo berbigão na Idade do Ferro, que seria substituída por outra centrada nas amêijoas e nos mexilhões. Contudo, pensamos que se se tratasse apenas de uma questão de preferência cultural por determinada espécie seria de esperar uma diferença entre o período Romano e a Idade do Ferro. Mas, neste caso, o berbigão volta a recuperar no período Imperial, enquanto as amêijoas e os mexilhões diminuem.

A ostra é um bom exemplo da preferência cultural, podendo observar-se na figura 5, o considerável aumento da sua recolha no período romano, sobretudo no final da ocupação, no período Imperial. O gosto pelas ostras é bem conhecido no período Romano (Günther 1897).

O berbigão é, geralmente, mais fácil de recolher, localizando-se em bancos relativamente densos e em áreas limitadas de um estuário, que, no caso do Molião, estariam nas imediações do sítio. Os moluscos marinhos estariam, embora dentro de distâncias bastantes razoáveis, não tão concentrados e seria necessário ajuda na extração do meio rochoso (caso das lapas e mexilhões), tornando-se a sua recolha mais dispendiosa em



**Figura 5** – Variação da percentagem de Número de restos determinados atribuídos a *Ostrea edulis* e do total de Moluscos nos diferentes períodos cronológicos do Monte Molião.

**Figure 5** – Variation of the percentages of oyster (*Ostrea edulis*) in relation to the total numbers of molluscs in the different periods of Monte Molião.

tempo. Assim, será natural deduzir que quanto mais abundante fosse o berbigão mais seria recolhido e que a sua falta levaria a que se recorresse a outras espécies. Estas variações parecem, por isso, mais de origem oportunista e não de preferência cultural.

Resta ainda explorar uma explicação de origem ambiental, em que a recolha dos moluscos teria sido influenciada pela sua disponibilidade nos habitats circundantes. A perturbação desses habitats teria originado a diminuição de determinadas espécies e, conseqüentemente, a escassez da sua recolha e do seu consumo.

Os resultados dos estudos feitos por Gomes (2010) e Ramos-Pereira (1994) revelam que a ribeira de Bensafrim estaria assoreada e protegida do mar, em ambiente calmo de dominância sobretudo fluvial desde o início da Idade do Ferro, ou seja desde o início da ocupação do Monte Molião. É provável, portanto, que uma perturbação do habitat ficasse a dever-se a um evento repentino, de elevada energia.

Este teria de ser suficientemente importante para causar alterações sedimentares e na dinâmica de marés e, conseqüentemente, na variação de salinidade, podendo tratar-se de uma tempestade ou mesmo de um tsunami.

O registo de tempestades é raro, mas já o registo histórico de tsunamis é mais frequente. Soter *et al.* (2011), por exemplo, referem a submersão da área de Helike (Grécia) devido a um tsunami, factos que são confirmados pela geologia e pelos documentos históricos.

Rodriguez-Vidal *et al.* (2011) analisam evidências de um terramoto seguido de tsunami, na região de Cádiz, com perturbações significativas no estuário do Guadalquivir. Estes autores datam este evento de 218 a 209 a.n.e.

Este acontecimento poderá ter atingido a zona de Lagos, já que o epicentro sugerido pelos autores se teria localizado no oceano Atlântico, a Sudoeste do Cabo de São Vicente. As datas determinadas pelas datações coincidem ainda com a viragem da Idade do Ferro para o período Romano Republicano definidas para o Monte Molião, compaginando-se, assim, com a altura em que se observa a clivagem nas abundâncias relativas dos moluscos.

Para a ribeira Bensafrim e, muito concretamente, para os últimos 2000 anos, estão ainda por fazer estudos geoarqueológicos mais pormenorizados, não existindo por isso um suporte consistente sobre estes indicadores.

Mas, tal como se verificou para o estuário do Guadalquivir, será provável que este terramoto e tsunami do início do séc. III a.n.e. tenha afetado o estuário da ribeira de Bensafrim, de modo a alterar significativamente a sua dominância fluvial e, conseqüentemente, os seus habitats e espécies de moluscos.

## 5. CONCLUSÕES

Em primeiro lugar, cabe destacar a significativa utilização dos recursos estuarinos e costeiros pelas populações que habitaram o Monte Molião, em todos os períodos de ocupação.

Durante o período Republicano, existe uma redução do consumo de berbigão e um aumento do mexilhão e da amêijoia. Esta alteração no consumo dos moluscos pode ter uma causa súbita, de origem humana ou natural, parecendo que esta última está mais bem suportada pelos dados recolhidos até ao momento.

O reforço destas evidências passará pelo estudo dos restos de moluscos de sítios contemporâneos em situações geográficas similares (e.g. Castro Marim). Mas uma análise mais aprofundada de fontes históricas sobre as preferências alimentares no que diz respeito a bivalves ou a propósito da influência do fator humano na evolução da linha costeira de Lagos, durante a Antiguidade, parece também imprescindível. Evidentemente que a descrição histórica de eventos repentinos e disruptivos, como os terramotos e tsunamis, assim como a colaboração com geoaqueólogos não podem ser descartadas em futuros projectos que incidam sobre estas questões.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos à Câmara Municipal de Lagos o financiamento das escavações e todo o apoio logístico; à Faculdade de Letras de Lisboa, que gere o projecto de Monte Molião; ao Doutor João Pedro Gomes (IGOT), à Doutora Ana Ramos Pereira (IGOT), bem como ao Eng. Monge Soares pelos esclarecimentos e ajuda na parte da geoaqueologia; ao Simon Davis e aos revisores anónimos as sugestões que melhoraram em grande medida o presente trabalho. Agradecemos, também, à Fundação para a Ciência e a Tecnologia que financia uma das signatárias (C. Detry) através de uma bolsa de pós-doutoramento com a seguinte referência – SFRH/BPD/43911/2008.

## BIBLIOGRAFIA

- Arruda A.M.** 2007. *Laccobriga: A ocupação romana da Baía de Lagos*. Lagos: Câmara Municipal.
- Arruda A.M., Sousa E. & Lourenço P.** 2008. Monte Molião (Lagos) – Resultados de um projecto em curso. *Xelb* 8: 161-192.
- Arruda A.M. & Pereira C.** 2010. Fusão e produção: actividades metalúrgicas em Monte Molião (Lagos), durante a época romano-republicana. *Xelb* 10: 695-716.
- Arruda A.M., Viegas C. & Bargão P.** 2010a. A cerâmica comum de produção local de Monte Molião. *Xelb* 10: 285-304.
- Arruda A.M., Sousa E. & Lourenço P.** 2010b. A necrópole romana de Monte Molião (Lagos). *Xelb* 10: 267-283.
- Bargão P.** 2008. Intervenção de emergência na Rua do Monte Molião: primeiras leituras. *Xelb*. Silves 8:169-189.
- Coelho M.D. & Cardoso J.L.** 2010/2011. O espólio malacológico do povoado calcolítico fortificado do Outeiro Redondo (Sesimbra). Contributo para o conhecimento das estratégias de recolção de uma comunidade sedentária do 3.º milénio a.C. do litoral português. *Estudos Arqueológicos de Oeiras* 18: 235-286.
- Dabouineau L. & Ponsero A.** 2009. *Synthesis on biology of Common European Cockle Cerastoderma edule*. Second Édition. Université Catholique de l'Ouest – Réserve Naturelle Nationale Baie de St-Brieuc.
- Davis S.** 1992. *A rapid method for recording information about mammal bones from archaeological sites*. London: Ancient Monuments Laboratory: 1-14.
- Gomes J.P.A.** 2010. *Estuário da Ribeira de Bensafirim. Leitura geo-arqueossismológica*. Tese de mestrado apresentada ao IGOT (Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Edição policopiada.



**Gunther R.T.** 1897. The oyster culture of the ancient Romans. *Journal of the Marine Biological Association* 4: 360-365.

**Lourenço P.** 2010. *A pesca na Antiguidade. O caso de Monte Molião*. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Letras de Lisboa. Edição policopiada.

**Macedo M.** 1996. *Rei Dom Carlos. Campanhas Oceanográficas. Estudo das colecções Malacológicas*. Lisboa: INAPA.

**Ramos-Pereira A., Dias J.A. & Laranjeira M.** 1994. Variações holocénicas da linha de costa na baía de Lagos. *Contribuições para a Geomorfologia e Dinâmica Litorais em Portugal*. Linha de Acção de Geografia Física, Rel. 35. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos: 75-90.

**Rodríguez-Vidal F., Ruiz F., Cáceres L.M., Abad M., González-Regalado M.L., Pozo M., Carretero M., Monge Soares A. & Gómez Toscano F.** 2011. Geomarkers of the 218e209 BC Atlantic tsunami (SW Spain): A palaeogeographical approach. *Quaternary International* 242: 201-212.

**Soter S. & Katsonopoulou D.** 2011. Submergence and uplift of settlements in the area of Helike, Greece, from the Early Bronze Age to late antiquity. *Geoarchaeology* 26 (4): 584-610.

**Silva C.T., Soares J., Cardoso J.L., Cruz C.S. & Reis C.A.S.** 1986. Neolítico da Comporta: aspectos cronológicos (datas 14C e paleoambientais). *Arqueologia* 14: 59-82.

**Tebble N.** 1966. *British Bivalve seashells*. London: Natural History Museum Publications.

## IV

# **Mining and Environmental** *Mineração e Impacto Ambiental*



# IMPACTO AMBIENTAL DA PRIMEIRA MINERAÇÃO E DA METALURGIA ESPECIALIZADA NO SUDOESTE DA PENÍNSULA IBÉRICA

Nuno Inácio<sup>1</sup>, Francisco Nocete<sup>1</sup>, José Miguel Nieto<sup>2</sup>,  
Moisés R. Bayona<sup>1</sup>, Joaquín Delgado<sup>2</sup>, T. Boski<sup>3</sup> & Daniel Abril<sup>1</sup>

**Resumo:** A investigação arqueológica desenvolvida nos últimos anos na Faixa Piritosa Ibérica tem revelado os contornos de uma economia tecnológica e socialmente especializada na mineração e metalurgia do cobre que se desenvolveu durante o III Milénio A.N.E. A sua magnitude e extensão têm vindo a ser determinadas através de indicadores indirectos os quais revelam ter existido um processo gradual de desflorestação acentuada que provocou a erosão dos solos e o incremento da contaminação por metais pesados das bacias hidrográficas dos rios Guadalquivir, Tinto, Odiel, Guadiana e, por extensão, de toda a baía de Cádiz.

**Palavras-Chave:** III milénio A.N.E.; Rio Guadiana; Poluição; Metalurgia; Desflorestação; Contaminação por metais pesados.

**Abstract: Environmental impact of first specialized mining and metallurgy in Southwest of Iberian Peninsula**

The archaeological research undertaken during recent years in the Iberian Pyrite Belt has revealed the contours of an economy technologically and socially specialized in copper mining and metallurgy that had developed during the III Millennium B.C.E. Its magnitude and reach has been determined through indirect markers that reveal a gradual process of strong deforestation that caused soil erosion and an increase of heavy metal contamination in the river basins and thus by extension to all of the Cadiz bay.

**Key-words:** III millennium BC; Guadiana river; Pollution; Metallurgy; Deforestation; Heavy metal contamination.

## 1. INTRODUÇÃO

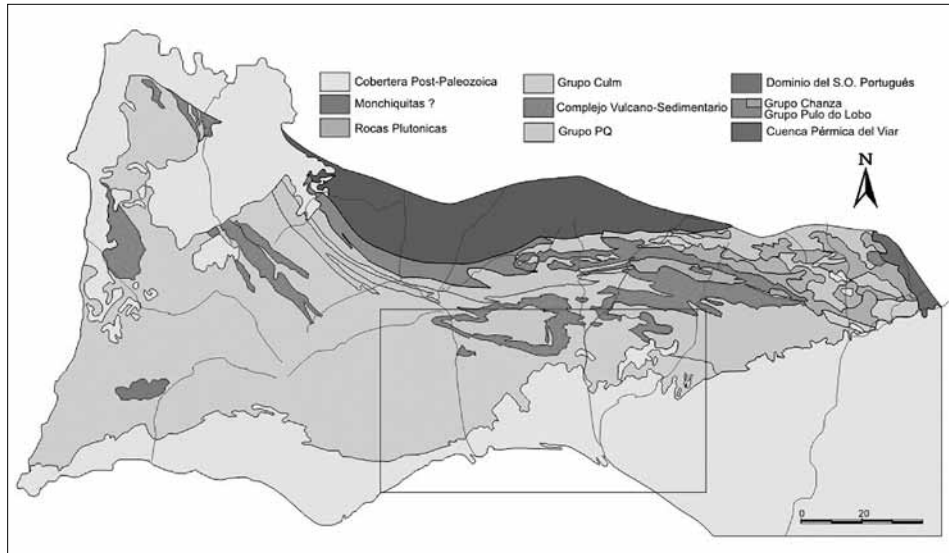
A historiografia arqueológica tem vindo a explicar a relação entre sociedades e territórios (recursos) e, conseqüentemente, entre a mineração e a metalurgia do cobre, a partir de dois paradigmas. O primeiro, enraizado na herança funcionalista da Nova Arqueologia, restringia a acção humana a um mero papel secundário influenciado por mecanismos culturais de adaptação ecológica. O segundo, característico

---

<sup>1</sup> Departamento de Historia I, Universidad de Huelva, Campus “El Carmen” 21071 Huelva. E-mail: nuno.inacio@dhis1.uhu.es; nocete@dhis1.uhu.es; moises.rodriguez@dhis1.uhu.es; daniel.abril@dhis1.uhu.es

<sup>2</sup> Departamento de Geología, Universidad de Huelva, Campus “El Carmen” 21071 Huelva. E-mail: jmnieto@dgeo.uhu.es; joaquin.delgado@dgeo.uhu.es

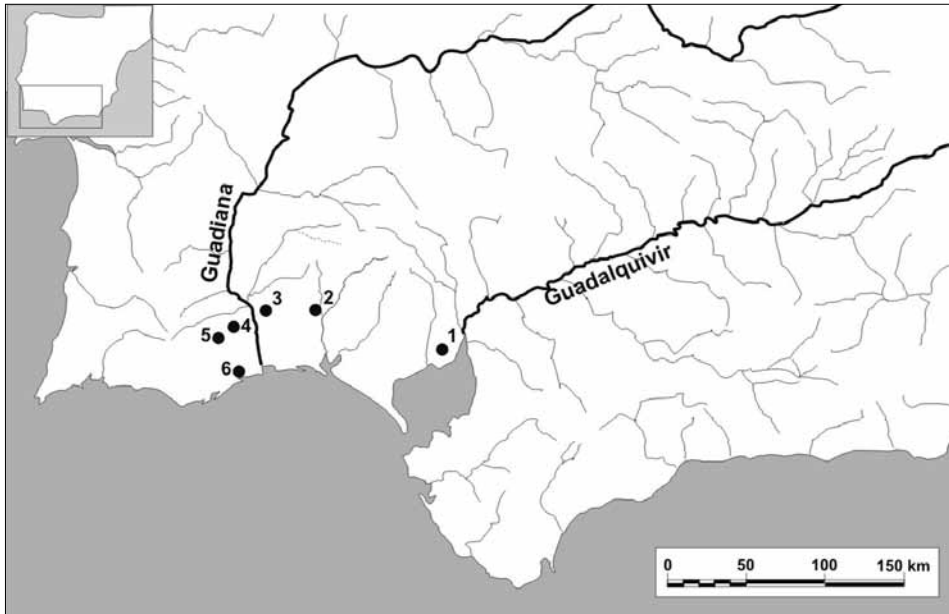
<sup>3</sup> CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000 Faro, Portugal. E-mail: tboski@ualg.pt



**Fig. 1** – Delimitação da área em estudo sobre mapa geológico do Sudoeste da Península Ibérica.  
*Fig. 1* – Study area on geological map of southwestern Iberian Peninsula.

da tradição arqueológica peninsular, relegava para plano secundário a importância e magnitude da mineração e metalurgia do cobre durante o III Milénio A.N.E., enfatizando o seu carácter pouco desenvolvido, expedito e de escasso desenvolvimento tecnológico e social (Chapman 1990; Delibes & Fernández 1993; Gilman 1991; Montero 1993; Rovira 2002).

A necessidade de um projecto de investigação abrangente foi o motivo do desenho de uma proposta alternativa de análise das formações sociais que viveram no extremo mais ocidental da Península Ibérica. Neste sentido, a região de Huelva apresentava as características ideais para avaliar os processos sociais que conduziram às primeiras contradições entre sociedades e seus territórios, centrando a análise no estudo da origem da actividade mineira e metalúrgica numa das áreas de maior concentração de sulfuretos metálicos do mundo, a Faixa Piritosa Ibérica (Sáez *et al.* 1996) (Fig. 1). As evidências artefactuais associadas a trabalhos metalúrgicos e a sua proximidade a zonas mineiras com vestígios de exploração antiga (Tharsis) levaram à selecção do povoado de Cabezo Juré (Alosno, Huelva) como primeiro caso de investigação arqueológica (Nocete 2004, 2006). Os trabalhos aí desenvolvidos proporcionaram um manancial de informação que originou um amplo debate sobre o papel da metalurgia durante o III Milénio A.N.E., como se organizou tecnológica e socialmente, a sua origem e antiguidade, a magnitude e impacto que teve no meio ambiente (Fig. 2).



**Fig. 2** – Localização dos sítios arqueológicos referidos no texto. Legenda: 1 – Valencina de la Concepción; 2 – Cabezo Juré; 3 – La Junta; 4 – Santa Justa; 5 – João Marques; 6 – Santa Rita.

**Fig. 2** – Location of archaeological sites mentioned in the text: 1 – Valencina de la Concepción; 2 – Cabezo Juré; 3 – La Junta; 4 – Santa Justa; 5 – João Marques; 6 – Santa Rita.

## 2. IMPACTO AMBIENTAL DA PRIMEIRA MINERAÇÃO E DA METALURGIA ESPECIALIZADA NO SUDOESTE DA PENÍNSULA IBÉRICA: O PROJECTO ODIEL

### 2.1. Cabezo Juré e a actividade mineira e metalúrgica no Sudoeste peninsular

O surgimento dos primeiros centros de poder no seio dos grandes vales localizados no Sul da Península Ibérica (Guadalquivir e Guadiana), consequência da intensificação agrícola que observamos a partir do IV Milénio A.N.E., converteu a Faixa Piritosa Ibérica numa região mineira pautada por um complexo mosaico social onde despontou uma economia tecnológica e socialmente especializada na produção de objectos de cobre. A referência empírica mais notável para explicar as relações sociais que a sustentaram é, sem sombra de dúvida, o povoado de Cabezo Juré (Alosno, Huelva) (Nocete 2004, 2006) (Fig. 2).

A análise do registo arqueológico de Cabezo Juré permitiu identificar uma comunidade especializada na mineração e metalurgia do cobre desde os inícios do III Milénio A.N.E. (Nocete *et al.* 2011). Esta especialização manifesta-se pela presença de minério de cobre (malaquite, azurite, cuprite, tenorite, calcopirite, etc.), de instrumentos de produção (estruturas de redução de minério, cadinhos, algaravizes, etc.) e de transformação (martelos, moldes), assim como restos da produção metalúrgica (escórias) e de produtos

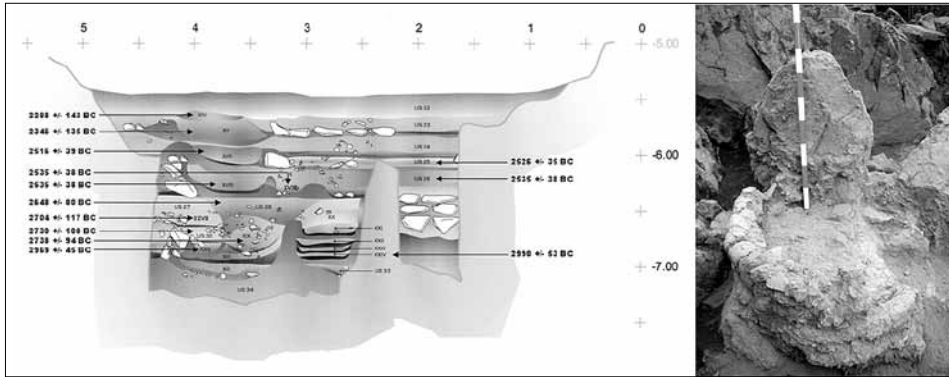
metálicos em distintos processos de manufacturação (machados, lâminas, cinzéis, punções, etc.). Esta vocação económica parece corroborada pela ausência de instrumentos directamente associados à actividade agrícola e pela inexistência de cereais no registo polínico.

Quando se comparam as evidências da actividade metalúrgica com os diferentes contextos espaciais é possível observar algumas particularidades na organização interna do povoado durante toda a sua sequência cronológica de ocupação.

Na parte mais elevada foram detectadas várias unidades habitacionais delimitadas por muros e protegidas por grandes afloramentos rochosos. A presença de restos de fauna (malacológica e mamalógica) e recipientes de cerâmica, dispostas em redor de estruturas de combustão, revela uma área generalizada de consumo alimentício. No entanto, se durante as Fases 1 e 2 não são detectadas grandes modificações na organização interna desta área, na Fase 3 são perceptíveis alterações através da construção de novas estruturas que ampliam a área ocupada. Ao contrário dos outros âmbitos espaciais que, a partir de 2200 A.N.E. são abandonados, esta área apresenta evidências de uma ocupação curta e de cariz agrícola, entre 2200 e 2000/1800 A.N.E. (Fase 4).

Na vertente norte do cerro, a informação arqueológica encontra-se amputada tanto pelos efeitos da mineração contemporânea de manganésio como pela forte erosão que incidiu nesta área. No entanto, numa pequena zona protegida pelos afloramentos existentes, foi possível documentar um contexto arqueológico que define a existência de um espaço multifuncional, organizado em redor de estruturas de combustão inseridas em pequenas cavidades naturais. Porém, coincidindo com as alterações verificadas na plataforma mais elevada, durante a Fase 3, este sector parece ter sido transformado numa área de armazenamento de cereais (presença exclusiva de grandes contentores de cerâmica), sugerindo o incremento da divisão social do trabalho.

Na vertente oposta, numa área orientada aos ventos dominantes e afastada dos âmbitos domésticos, foram escavados vários níveis de ocupação associados a estruturas metalúrgicas. A análise isotópica (Pb) do minério documentado nestes contextos indica que a captação de matéria-prima ocorreu nas zonas de enriquecimento supergénico das jazidas de sulfuretos polimetálicos da zona de Tharsis, revelando tanto trabalhos mineiros em profundidade como uma estratégia económica que privilegiou o controlo defensivo dos recursos, aumentando assim os custos inerentes ao seu transporte, uma vez que a actividade metalúrgica não se desenvolveu nas áreas de aprovisionamento. Por sua vez, o estudo químico e mineralógico de escórias revela que o processo metalúrgico foi realizado em duas etapas: a primeira etapa de redução do minério foi efectuada em fornalhas metalúrgicas, recorrendo à ajuda de fundentes e ventilação assistida por algaravizes e foles, utilizando espécies arbóreas e arbustivas de alto poder calorífico que permitiram alcançar temperaturas de aproximadamente 1200°C; a segunda etapa, de fundição, foi realizada em cadinhos de cerâmica a temperaturas ligeiramente inferiores (Sáez *et al.* 2003) (Fig. 3).



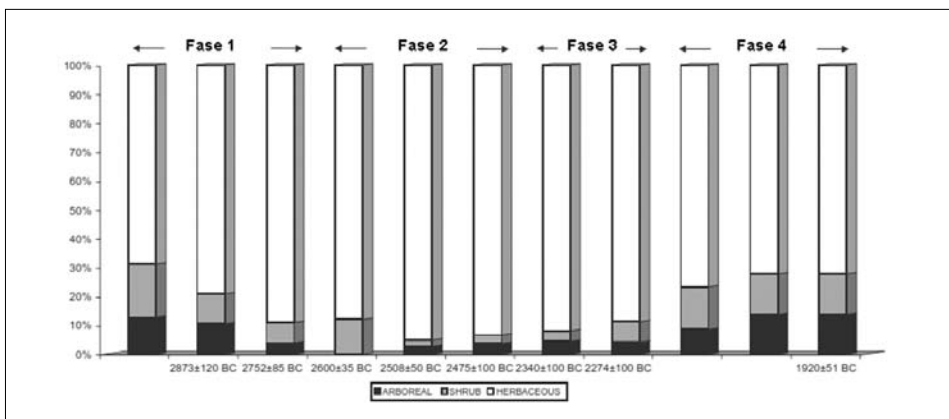
**Fig. 3** – Cabezo Juré: sequência estratigráfica da sobreposição de fornos metalúrgicos e respectiva datação directa por radiocarbono. Detalhe de um dos fornos metalúrgicos em processo de escavação (adaptado de Nocete *et al.* 2011).

*Fig. 3* – Cabezo Juré: Direct chronology in the long sequence of metallurgical furnaces, annexes smelting installations from the southern hillside and a photograph of a furnace (from Nocete *et al.* 2011)

## 2.2. Impacto local

O impacto sobre a vegetação envolvente foi uma das consequências mais visíveis da actividade mineira e metalúrgica em Cabezo Juré. Os estudos polínicos e antracológicos (Rodríguez-Ariza 2004; Ruiz Sánchez 2004) sugerem a existência de um processo de desflorestação intensivo e sistemático aparentemente associado ao incremento da actividade mineira e metalúrgica no povoado (Nocete 2004) (Fig. 4).

Os registos polínicos da primeira fase de ocupação do local evidenciam um coberto vegetal típico de um bosque mediterrânico já degradado, dominado por azinheiras, com uma proporção de 13% de espécies arbóreas, 21% de espécies arbustivas e 66% de herbáceas. Porém, nas fases seguintes (Fase 2 e 3), registou-se um processo de des-



**Fig. 4** – Sequência cronológica por fases da evolução do coberto vegetal em Cabezo Juré: pólen arbóreo, arbustivo e herbáceo (adaptado de Nocete *et al.* 2005a).

*Fig. 4* – Arboreal, shrub and herbaceous pollen identified in Cabezo Jure (from Nocete *et al.* 2005a).



florestação gradual que terá originado o acentuado decréscimo da cobertura arbórea da área, coincidindo com o aumento de arbustos e herbáceas (*Cistus* ou *Erica*, nas espécies arbustivas; e *Compositae*, *Liguliflora*, *Caryophyllaceae*, *Cruciferae*, *Urticae*, *Chenopodiaceae*, *Centaureae*, *Rumex*, *Scrophulariaceae*, *Umbellifera*, *Artemisia*, *Plantago*, *Crassulaceae*, etc., nas herbáceas), dando origem a uma paisagem dominada por espécies ruderais. A ausência de cereais nas análises polínicas, associado à inexistência de instrumentos relacionados com a actividade agrícola, sugere que este processo de alteração antrópica da paisagem não terá estado associado à prática agrícola (Nocete 2004; Nocete *et al.* 2005a).

Paralelamente, a análise dos carvões recuperados no interior das estruturas metalúrgicas (fornalhas) indicam que cerca de 30% a 60% dos táxones identificados têm correspondência com as espécies arbóreas que sofreram a maior redução, sugerindo um abate intensivo de árvores que serviram de combustível para as fornalhas metalúrgicas (Rodríguez-Ariza 2004).

Apenas na última fase de ocupação (Fase 4: 2200 a 2000/1800 A.N.E.), circunscrita à plataforma mais elevada do povoado e coincidindo com o abandono da actividade mineira e metalúrgica, surgem os primeiros indícios de cereais no registo polínico, assim como instrumentos agrícolas (lâminas com lustre de cereal, elementos de foice, etc.) que sugerem uma mudança na estratégia económica da comunidade.

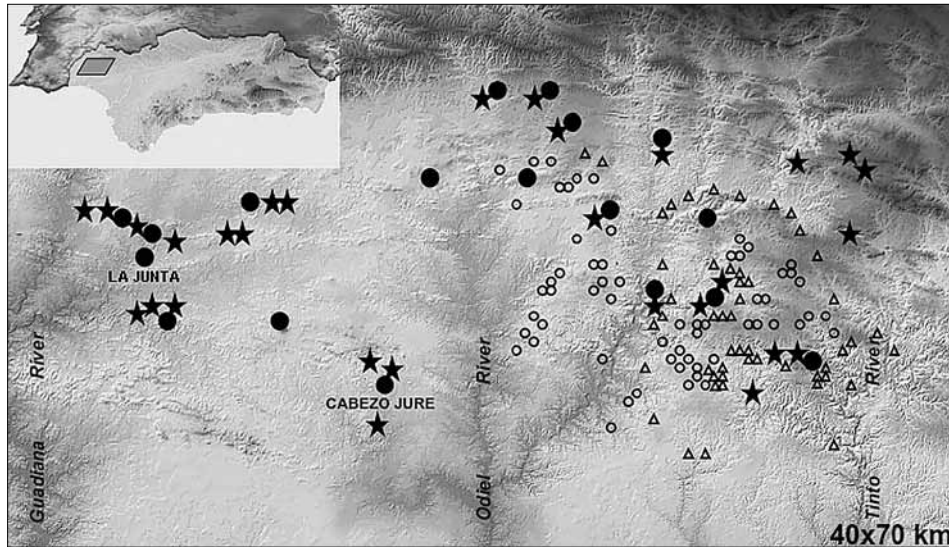
Um processo similar de desflorestação foi registado no vizinho povoado de La Junta (Carrión & Montoya 2008; Fuentes *et al.* 2006), situado a cerca de 15 km de Cabezo Juré, onde se constatou igualmente a existência de uma paisagem bastante degradada pelo incremento da actividade mineira e metalúrgica (Fig. 2).

### 2.3. Impacto regional

Para avaliar o impacto regional da actividade mineira e metalúrgica do III Milénio A.N.E., as valvas de *Tapes decussata*, recuperadas nos contextos de consumo de Cabezo Juré, foram analisadas por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) para determinar as concentrações de elementos traço. Estes bioindicadores são bastante úteis na avaliação da contaminação marinha pois são espécies que filtram as águas para se alimentarem, absorvendo todos os elementos nesta dissolvidos. Simultaneamente, para avaliar o processo diacrónico de contaminação das águas marinhas do golfo de Cádiz, procedeu-se à selecção de outros casos arqueológicos com cronologias compreendidas entre 6000 e 3000 A.N.E.: Padrão (Vila do Bispo, Portugal) (Gomes 1997), El Estanquillo (Puerto Real, Cádiz) (Ramos 1992), El Retamar (Puerto Real, Cádiz) (Ramos & Lazarich 2002), Papa Uvas (Aljaraque, Huelva) (Martín de la Cruz 1987), El Grillito (Gibraleón, Huelva) e Cañada Honda (Aljaraque, Huelva) (Borja *et al.* 1994) (Fig. 5).

Os dados indicam que a partir do III Milénio A.N.E. se assiste a um incremento da contaminação por metais pesados (Cu, Zn e AS) das águas do estuário do Tinto/Odiel. Este processo parece ter atingido o seu auge aproximadamente em 2500 A.N.E.,





**Fig. 6** – Localização de Cabezo Juré e La Junta na rede de povoamento regional. Legenda: Δ – Túmulos megalíticos; ○ – Povoados não fortificados; ● – Povoados mineiros e metalúrgicos (fortificados); ★ – Minas (adaptado de Nocete *et al.* 2005a).

**Fig. 6** – Localization of Cabezo Juré and La Junta in regional settlement network. Legend: Δ – Megalithic tombs; ○ – No fortified settlements; ● – Mining and metallurgical settlements; ★ – Mines (from Nocete *et al.* 2005a).

a existência de um processo de contaminação regional e generalizado, aparentemente associado à intensificação das actividades mineiras e metalúrgicas, em toda a Faixa Piritosa Ibérica durante o III Milénio A.N.E. (Fig. 2).

### 3. O BAIXO GUADIANA

#### 3.1. Registo polínico e evidências arqueológicas

A necessidade de ampliar o âmbito de reflexão sobre o impacto ambiental da primeira mineração e metalurgia especializada no Sudoeste da Península Ibérica impunha, como princípio metodológico, a análise de novos casos arqueológicos e a revisão do universo empírico actualmente disponível. Neste sentido, o baixo Guadiana assumia uma importância acrescida dado que a sua bacia hidrográfica drena grande parte da Faixa Piritosa Ibérica.

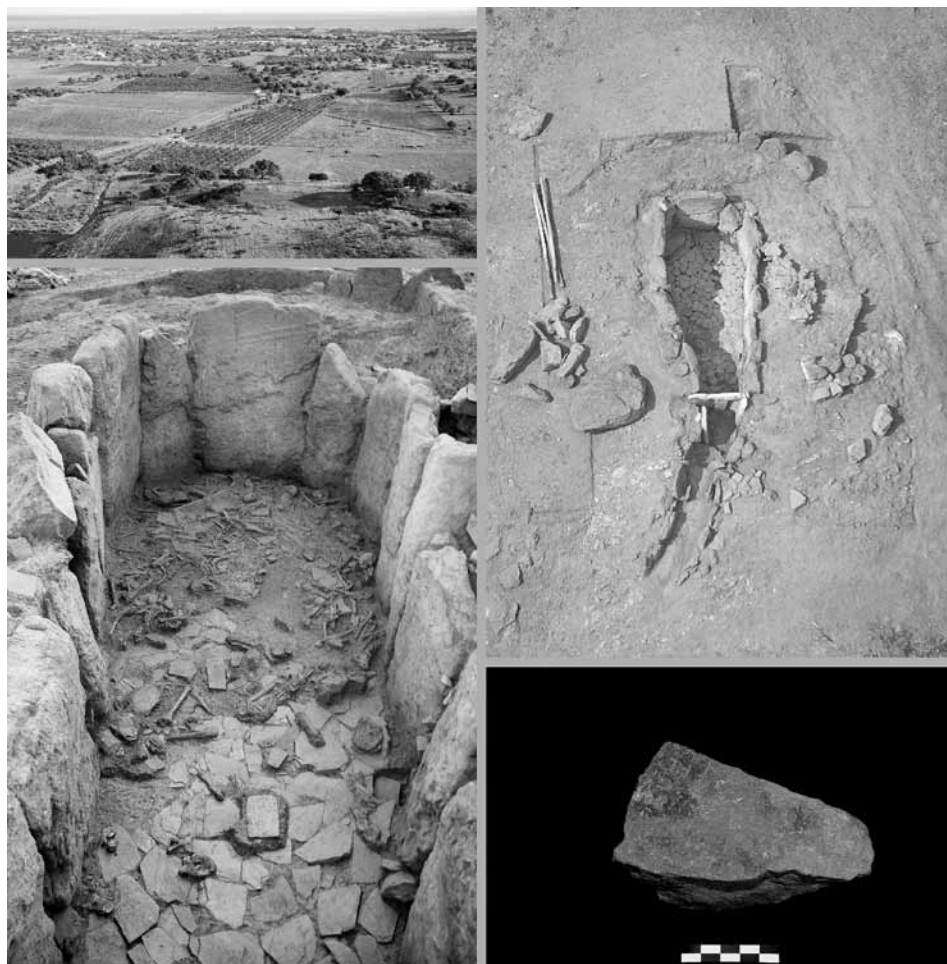
Estudos sedimentológicos recentes indicam que o Guadiana desaguaria num amplo estuário há 5000 anos (Boski *et al.* 2002; Dias *et al.* 2000; Morales 1997), situação similar à observada na ria de Alvor (Morán & Parreira 2004), no Tinto/Odiel (Borrego *et al.* 1995) ou no Guadalquivir (Arteaga & Roos 1995). Num antigo meandro deste paleoestuário, formado pela ribeira de Beliche, foi obtida recentemente uma coluna litoestratigráfica objecto de estudo polínico e químico (Delgado *et al.* 2012; Fletcher 2005; Fletcher *et al.* 2007).

Os dados polínicos do baixo Guadiana indicam a existência de um bosque formado por azinheiras, sobreiros e pinheiros durante o IV/III Milénio A.N.E., típico de um clima quente e seco com alguns episódios de aridez (Fletcher *et al.* 2007). No entanto, comparativamente com os dados prévios da coluna polínica, foi registado um episódio de desflorestação que afectou primeiramente os bosques de pinheiro e que, a partir do III Milénio A.N.E., atingiu todas as espécies de *Quercus* e a vegetação ciliar, conduzindo a um processo de colmatação sedimentar do estuário que favoreceu a formação de sapais (Boski *et al.* 2002; Fletcher 2005). Paralelamente, o aparecimento esporádico de alguns táxones de *Poaceae* parece sugerir a ocorrência de práticas agrícolas nesta região (Fletcher 2005).

Contudo, os dados facultados pelo registo polínico do baixo Guadiana não têm correspondência com a documentação arqueológica actualmente disponível. Com excepção das notícias que referem a existência de um monumento megalítico em Castro Marim (Gomes *et al.* 1994), datado dos finais do IV milénio A.N.E., a informação arqueológica é deficiente, o que contrasta com a intensa ocupação humana que se observa ao redor dos paleoestuários do Guadalquivir (Nocete 2001; Nocete *et al.* 2008; Vargas 2003), Tinto/Odiel (Martín de la Cruz 1987) ou Alvor (Morán & Parreira 2003, 2004).

Nos últimos anos, o projecto *Pré-História e Megalitismo de Cacela* (Inácio *et al.* 2008) trouxe uma nova perspectiva sobre a ocupação destas terras do barrocal algarvio, numa região localizada a menos de 15 Km do paleoestuário do Guadiana e muito próxima de um outro formado pelas ribeiras de Almargem e Gilão (Tavira) (Boski *et al.* 2008). Trabalhos recentes (Garcia 2008) permitiram identificar vários vestígios arqueológicos num território conhecida desde o século XIX pelas investigações de Estácio da Veiga que aí explorou e deu a conhecer os monumentos da Nora e Marcela (Veiga 1881). A investigação arqueológica desenvolvida no túmulo megalítico de Santa Rita (Inácio *et al.* 2010) pôs a descoberto um monumento de arquitectura complexa, construído nos inícios do III Milénio A.N.E. e utilizado até meados do mesmo milénio. No interior da câmara funerária, os dados arqueológicos e antropológicos, sobretudo a ausência de inumações e a homogeneidade das regiões anatómicas presentes, essencialmente crânios e ossos longos dos membros, indicam que este monumento foi utilizado apenas como ossário (Fig. 7). O ritual funerário seria complementado com a colocação de algumas oferendas, como pontas de seta, lâminas, vasos de cerâmica, placas de xisto decoradas, alabardas, instrumentos de pedra polida, etc. A presença de cinábrio proveniente de Almadén (Ciudad Real, Espanha) (Inácio *et al.* no prelo) e de grandes lâminas de calcário oolítico silicificado (Nocete *et al.* 2005) demonstram a existência de padrões inter-regionais de circulação de matérias-primas e produtos com o outro lado do Guadiana.

Numa plataforma elevada com amplo controlo visual sobre o litoral e os terrenos férteis do barrocal, junto à aldeia de Santa Rita, foi identificado um povoado com uma área de ocupação aproximada de 1 ha, segundo a dispersão dos elementos recolhidos superficialmente (mós manuais, instrumentos de pedra polida, elementos de foice,



**Fig. 7** – Composição fotográfica do túmulo de Santa Rita: enquadramento paisagístico do barrocal algarvio, fotografia aérea do monumento, pormenor do processo de escavação e fragmento de quartzo armoricano com cinábrio.

**Fig. 7** – Megalithic tomb of Santa Rita: regional landscape, aerial view, detail of the process of excavation and armorican quartzite with cinnabar.

etc.). O conjunto arqueológico de Santa Rita parece definir um modelo de exploração e ocupação do território paralelo e complementar ao descrito para as regiões mineiras, assente numa agricultura intensiva dos terrenos férteis que caracterizam a paisagem desta região, e que seria complementado com o aproveitamento dos recursos (marinhos, cinegéticos, pastoris, etc.) provenientes dos ricos ecossistemas no qual está inserido.

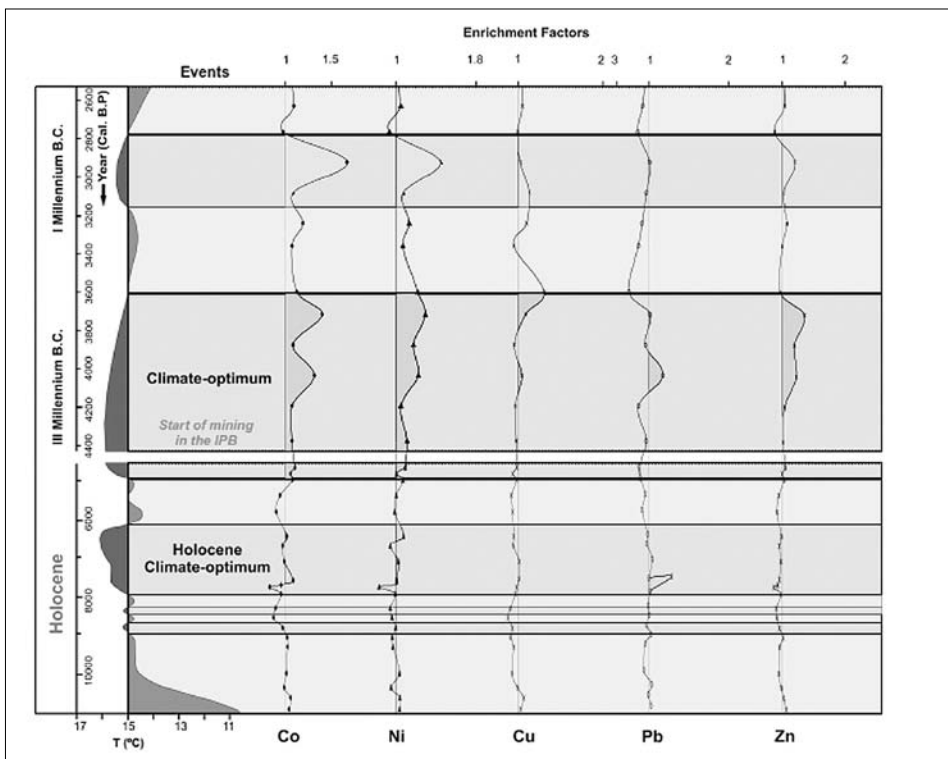
### 3.2. A Contaminação do estuário do Guadiana

A análise química da coluna litoestratigráfica do baixo Guadiana permitiu documentar um processo similar ao observado nos estuários do Tinto/Odiel e Guadalqui-

vir. Com efeito, foi possível identificar um incremento da contaminação por metais pesados (Cu, Pb e Zn), assim como de alguns elementos tipicamente associados à crosta terrestre (Co e Ni) que indicam a existência de um episódio generalizado de erosão a montante como consequência da degradação do coberto vegetal durante o III Milénio A.N.E. (Delgado *et al.* 2012) (Fig. 8).

A explicação histórica deste fenómeno generalizado de contaminação dos sedimentos e das águas marinhas por metais pesados que se observa no baixo Guadiana só é possível quando avaliamos o povoamento regional associado à mineração e metalurgia do cobre.

No que diz respeito à margem esquerda, trabalhos arqueológicos realizados no âmbito do plano de minimização da construção e posterior inundaçãõ da barragem do Andévalo (Confederação Hidrográfica do Guadiana), construída sobre as ribeiras de Malagón, Covica e Viguera (afluentes da ribeira do Chança) com o propósito de regular as águas da barragem do Chança, situada a jusante, identificaram um complexo mosaico social organizado ao redor da actividade mineira e metalúrgica. Os resultados



**Fig. 8** – Reconstituição paleoambiental durante o Holocénico (até ao I Milénio A.N.E.) no baixo Guadiana. O dados climáticos e temperatura foram baseados em Dansgaard *et al.* (1969) e Schönwiese *et al.* (1995) (adaptado de Delgado *et al.* 2012).

**Fig. 8** – Paleoenvironmental reconstitution during Holocene in the lower Guadiana. The climate and temperature were based on Dansgaard *et al.* (1969) and Schönwiese *et al.* (1995) (from Delgado *et al.* 2012).

da escavação integral do povoado de La Junta (Nocete 2008), um dos casos arqueológicos avaliados, permitiram definir as características económicas de uma comunidade dedicada exclusivamente ao controlo do território. No seu interior, a metalurgia do cobre encontra-se limitada ao processo de fundição e reciclagem de produtos (ausência de minério, de fornos, etc.) e os meios de subsistência são proporcionados exclusivamente pela intensa actividade cinegética que supôs mais de 80% das proteínas consumidas pelos seus habitantes. O povoamento regional é hierarquizado por sítios localizados nas unidades geomorfológicas mais elevadas que, controlando as principais mineralizações cupríferas, se comportam como centros produtores à semelhança de Cabezo Juré (Nocete 2001, 2004, 2006).

Na margem direita do Guadiana, os povoados de João Marques e Santa Justa, localizados no alto Algarve Oriental e explorados na década de 80 por V. Gonçalves (1989), são dois de muitos exemplos que se podem adscriver ao povoamento regional associado à mineração e metalurgia do cobre (Fig. 2) (ver também Monge Soares *et al.* 1994). No primeiro caso, a investigação arqueológica aí desenvolvida pôs a descoberto um “povoado aberto” onde a actividade metalúrgica está amplamente representada por minério, escórias, instrumental de trituração, cadinhos, artefactos, etc., sugerindo que todo o processo de fabrico de objectos de cobre seria realizado internamente. Por outro lado, Santa Justa, situado numa região onde foram identificadas várias minas com exploração antiga (Catarino 1998), define-se como um povoado fortificado por muralhas e bastiões. As datações de radiocarbono obtidas mostram a intensa ocupação que o sítio sofreu durante grande parte do III Milénio A.N.E. No seu interior foram detectadas várias estruturas de carácter habitacional organizadas ao redor de lareiras, bem como evidências de actividades domésticas e artesanais. A metalurgia encontra-se igualmente atestada pela presença de inúmeros artefactos, cadinhos, algaravizes, minério, escórias e uma possível estrutura de carácter metalúrgico de difícil interpretação funcional.

Porém, como admite o responsável da investigação em recente reflexão (Gonçalves 2003: 24), “a actual imagem do povoamento pré-histórico do Algarve Oriental não traduz minimamente a realidade (...)”. Na verdade, os níveis de contaminação observados a jusante não descartam a existência de um modelo de povoamento associado à exploração dos recursos cupríferos à imagem do que ocorre no outro lado do Pulo do Lobo.

#### 4. CONCLUSÃO

Os indicadores indirectos (palinologia, análise química de sedimentos e bioindicadores, etc.) actualmente disponíveis para as bacias do Guadalquivir, Tinto/Odiel e Guadiana sugerem que a actividade mineira e metalúrgica que se desenvolveu na Faixa Piritosa Ibérica durante o III Milénio A.N.E foi a responsável por um forte impacto no meio ambiente: desflorestação intensiva, erosão generalizada dos solos e contaminação por metais pesados das águas marinhas e dos solos. É óbvio que os casos arqueológicos aqui citados (Cabezo Juré, Valencina de la Concepción, La Junta, João Marques,

Santa Justa, etc.) não foram os únicos protagonistas deste processo histórico. A sua explicação encontra-se no modelo mineiro e metalúrgico que transformou esta região numa periferia económica e política dependente dos grandes centros de poder que despontaram nos vales do Guadiana e Guadalquivir (Fig. 6). Face ao exposto, a tese que defende uma metalurgia do cobre de escasso desenvolvimento tecnológico e social durante o III Milénio A.N.E., pouco especializada e organizada ao redor dos âmbitos domésticos, carece de sustentação empírica. Com efeito, a realidade histórica é ainda mais complexa quando se observa a diversidade de contextos arqueológicos onde a actividade metalúrgica se encontra representada: povoados especializados (Cabezo Juré), bairros metalúrgicos (Valencina de la Concepción), etc. (Nocete *et al.* 2011).

## BIBLIOGRAFIA

- Arteaga O. & Roos A.M.** 1995. Geoarchäologische Forschungen im Umkreis der Marismas am Río Guadalquivir (Niederandalusien). *Madrider Mitteilungen* 36: 199-218.
- Borja F., Barral M.A. & García J.M.** 1994. Los concheros arqueológicos de Cañada Honda y El Grillito (Estuario del Odiel, Huelva). In: J. Arnádez, J.M. García & A. Gómez (eds.) *Geomorfología en España*, Sociedad Española de Geomorfología: 339-353.
- Borrego J., Morales J.A. & Pendon J.G.** 1995. Holocene Estuarine Facies along the Mesotidal Coast of Huelva, South-Western Spain. In: B.W. Flemming & A. Bartholomä (eds.) *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments*. Blackwell Publishing Ltd.: 151-170.
- Boski T., Moura D., Camacho S., Duarte R.D.N., Scott D.B., Veiga-Pires C., Pedro P. & Santana P.** 2002. Postglacial sea level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150: 103-121.
- Boski T., Camacho S., Moura D., Fletcher W., Wilamowski A., Veiga-Pires C., Correia V., Loureiro C. & Santana P.** 2008. Chronology of the sedimentary processes during the postglacial sea level rise in two estuaries of the Algarve coast, Southern Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77: 230-244.
- Carrión J.S. & Montoya E.** 2008. Análisis palinológico. In: F. Nocete (coord.). *El yacimiento de La Junta de los Ríos (Puebla de Guzmán, Huelva)*. Monografías de Arqueología 29. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura: 68-70.
- Catarino H.** 1998. O Algarve Oriental durante a ocupação Islâmica. *al'ulyā*, 6, Arq. Histórico Municipal de Loulé, 3 vols.
- Chapman R.W.** 1990. *Emerging complexity. The Later Prehistory of Southeast Spain, Iberia and the West Mediterranean*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Dansgaard W., Johnsen S.J. & Moller J.** 1969. One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland Ice Sheet. *Science* 166: 377-381.
- Delibes G. & Fernández M.** 1993. *Los Orígenes de la Civilización. El Calcolítico en el Viejo Mundo*. Madrid: Síntesis.
- Delgado J., Boski T., Nieto J.M., Pereira L., Moura D., Gomes A., Sousa C. & García-Tenorio R.** 2012. Sea-level rise and anthropogenic activities recorded in the late Pleistocene/Holocene sedimentary infill of the Guadiana Estuary (SW Iberia). *Quaternary Science Reviews* 33: 121-141.
- Dias J.M.A., Boski T., Rodrigues A. & Magalhães, F.** 2000. Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – a synthesis. *Marine Geology* 170: 177-186.
- Fletcher W.** 2005. *Holocene landscape history of southern Portugal*. University of Cambridge. Tese de Doutoramento.



- Fletcher W.J., Boski T. & Moura D.** 2007. Palynological evidence for environmental and climatic change in the lower Guadiana valley, Portugal, during the last 13 000 years. *The Holocene*, 17(4): 481-494.
- Fuentes N., Carrion J.S., Fernández S., González-Sampéris P., Nocete F. & Lizcano R.** 2006. Análisis polínico del yacimiento arqueológico de La Junta (Puebla de Guzmán, Huelva). *Anales de Biología* 28: 73-83.
- Garcia C.** 2008. *Cacela, Terra de Levante. Memórias da Paisagem Algarvia*. Câmara de Vila Real de Santo António/Campo Arqueológico de Mértola.
- Gilman A.** 1991. Trajectories toward social complexity in the Later Prehistory of the Mediterranean. Earle, T. (Eds.), *Chiefdoms: Power, Economy and Ideology*. Cambridge Univ. Press: 146-168.
- Gomes M.V.** 1997. Megalitismo do Barlavento Algarvio – Breve Síntese. *Setúbal Arqueológica* 11/12: 147-190.
- Gomes M.V., Cardoso J.L. & Cunha A.S.** 1994. A Sepultura de Castro Marim. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro* 80: 99-105.
- Gonçalves V.** 1989. *Megalitismo e Metalurgia no alto Algarve Oriental. Uma aproximação integrada*. Lisboa: UNIARCH.
- Gonçalves V.** 2003. O Algarve Oriental no 4º e 3º Milénios. *Tavira. Território e Poder*, Museu Nacional de Arqueologia: 23-35.
- Inácio N., Calado D., Nocete F., Curate F., Oliveira C., Peramo A. & Bayona M.R.** 2008. Pré-história e Megalitismo na região de Cacela. Uma proposta integrada de investigação, valorização e protecção do património arqueológico. *XELB 8: Actas do 7º Congresso de Arqueologia do Algarve*: 61-74.
- Inácio N., Nocete F., Calado D., Curate F., Nieto J.M., Bayona M.R. & Oliveira C.** 2010. O Túmulo Megalítico de Santa Rita (Vila Nova de Cacela). Resultados preliminares de um processo de investigação em curso. *XELB 10: Actas do 9º Congresso de Arqueologia do Algarve*: 73-86.
- Inácio N., Nocete F., Nieto J.M., Saez R., Bayona M.R., Peramo A. & Abril D.** no prelo. Caracterização e proveniência dos pigmentos vermelhos utilizados nos monumentos megalíticos do sotavento algarvio: resultados preliminares. *XELB 11: Actas do 10º Congresso de Arqueologia do Algarve*.
- Leblanc M., Morales J.A., Borrego J. & Elbaz-Poulichet F.** 2000. 4500 Year-old pollution in south-western Spain: long-term implications for modern mining pollution. *Economic Geology* 95: 655-662.
- Martín de la Cruz J.C.** 1987. *Papa Ulvas II. Aljaraque. Huelva. Campañas de 1981 a 1983*, E.A.E. 149. Madrid. Ministerio de Cultura.
- Montero I.** 1993. Bronze Age metallurgy in Southeast Spain. *Antiquity* 67: 46-57.
- Morales J.A.** 1997. Evolution and facies architecture of the mesotidal Guadiana River delta (S. W. Spain-Portugal). *Marine Geology*, 138: 127-148.
- Morán E. & Parreira R.** 2003. O povoado calcolítico de Alcalar (Portimão) na paisagem cultural do Alvor no III Milénio antes de nossa era. In: S.O. Jorge (coord.) *Recintos Murados da Pré-História recente*. Porto: 307-327.
- Morán E. & Parreira R.** 2004. *Alcalar 7. Estudo e Reabilitação de um Monumento Megalítico*. I.P.P.A.R. Lisboa.
- Nocete F.** 2001. *Tercer milenio antes de nuestra era. Relaciones y contradicciones centro/periferia en el Valle del Guadalquivir*. Barcelona: Bellaterra.
- Nocete F.** (Coord.) 2004. *ODIEL: Proyecto de Investigación Arqueológica para el análisis de la desigualdad social en el Suroeste de la Península Ibérica*. Monografías de Arqueología 19. Sevilla: Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.
- Nocete F.** 2006. The first specialised copper industry in the Iberian Peninsula: Cabezo Juré (2900-2200 BC). *Antiquity* 80: 646-654.
- Nocete F.** (Coord.) 2008. *El yacimiento de La Junta de los Ríos*. Monografías de Arqueología 29. Sevilla: Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

- Nocete F., Alex E., Nieto J.M., Sáez R. & Bayona M.R.** 2005a. An Archaeological approach to regional environmental pollution in the south-western Iberian Peninsula related to third millennium BC mining and metallurgy. *Journal of Archaeological Science* 32: 1566-1576.
- Nocete F., Sáez R., Nieto J.M., Cruz-Auñón R., Cabrero R., Alex E. & Bayona, M.R.** 2005b. Circulation of silicified oolitic limestone blades in South-Iberia (Spain and Portugal) during the third millennium B.C.: an expression of a core/periphery framework. *Journal of Anthropological Archaeology* 24: 62-81.
- Nocete F., Queipo G., Sáez R., Nieto J.M., Inacio N., Bayona M.R., Peramo A., Vargas J.M. & Cruz-Auñón R.** 2008. The smelting quarter of Valencina de la Concepción (Seville, Spain): the specialised copper industry in a political centre of the Guadalquivir Valley during the Third millennium BC (2750-2500 BC). *Journal of Archaeological Science* 35: 717-732.
- Nocete F., Sáez R., Bayona M.R., Peramo A., Inacio N. & Abril** 2011. Direct chronometry (14C AMS) of the earliest copper metallurgy in the Guadalquivir Basin (Spain) during the Third millennium BC: First Regional Database., *Journal of Archaeological Science* 38: 3278-3295.
- Ramos J.** 1992. Informe de la excavación de urgencia realizada en el asentamiento prehistórico de "El Estanquillo" (San Fernando, Cádiz). *Anuario Arqueológico de Andalucía 1990*. Vol. 3. Junta de Andalucía: 37-53.
- Ramos J. & Lazarich M.** 2002. *El asentamiento de "El Retamar" (Puerto Real, Cádiz), Contribución al estudio de la formación social tribal y a los inicios de la economía de producción en la Bahía de Cádiz*. Cádiz: Servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- Rodríguez-Ariza M.ªO.** 2004. Estudio antracológico de Cabezo Juré. In: F. Nocete (coord.) *ODIEL: Proyecto de Investigación Arqueológica para el análisis de la desigualdad social en el Suroeste de la Península Ibérica*. Monografías de Arqueología 19. Junta de Andalucía: 241-252.
- Rovira S.** 2002. Metallurgy and society in Prehistoric Spain. In: B. S. Otaway & E. C. Wager (eds.) *Metals and Society*, BAR International Series 1061. Oxford: Archaeopress: 5-20.
- Ruiz Sánchez V.** 2004. Estudio palinológico del yacimiento arqueológico de Cabezo Juré (Alosno, Huelva). In: F. Nocete (coord.) *ODIEL: Proyecto de Investigación Arqueológica para el análisis de la desigualdad social en el Suroeste de la Península Ibérica*. Monografías de Arqueología 19. Junta de Andalucía: 233-239.
- Sáez R., Almodovar G. & Pascual E.** 1996. Geological constraints on massive sulphide genesis in the Iberian Pyrite Belt. *Ore Geological Review* 11: 429-451.
- Sáez R., Nocete F., Nieto J.M., Capitán M.A. & Rovira S.** 2003. The extractive metallurgy of copper from Cabezo Juré, Huelva, Spain: chemical and mineralogical study of slag dated to the Third Millennium B.C. *The Canadian Mineralogist* 41: 627-638.
- Soares A.M.M., Araújo M.F. & Cabral J.M.P.** 1994. Vestígios da prática de metalurgia em povoados calcólicos da bacia do Guadiana, entre o Ardila e o Chança. In: J.M. Campos, J.A. Pérez & F. Gómez (eds.) *Arqueología en el entorno del Bajo Guadiana*:165-200.
- Vargas J.M.** 2003. Elementos para la definición territorial del yacimiento prehistórico de Valencina da Concepción (Sevilla). *SPAL* 12: 125-144.
- Veiga E.** 189. *Antiguidades Monumentais do Algarve*. Lisboa



# MODELO DE GESTÃO E CIRCULAÇÃO DE SÍLEX HÁ 5000 BP NA FAIXA LITORAL ENTRE A NAZARÉ E PENICHE (ESTREMADURA PORTUGUESA)

Patrícia Jordão<sup>1</sup> & Nuno Pimentel

**Resumo:** No Calcolítico, admite-se que a área inundada entre a Nazaré e Peniche terá permanecido pouco alterada relativamente ao máximo transgressivo flandriano, constituindo-se uma faixa litoral propícia à circulação.

Junto ao paleo-estuário de Óbidos localiza-se o povoado de S. Mamede, cujo espólio lítico proveniente de escavações recentes foi objecto de uma análise petroarqueológica.

Foram identificadas áreas-fonte de proveniência do sílex, nas quais se recolheram amostras. Estas foram comparadas macroscopicamente com os materiais arqueológicos, verificando o seu córtex, a cor, textura, transparência e inclusões biogénicas ou minerais e microscopicamente, com o objectivo de procurar padrões texturais. Por outro lado, foram estudadas as cadeias operatórias de sílex.

A conjugação das análises petrográfica e tecnológica permitiu-nos propor um modelo de gestão e circulação do sílex, de âmbito regional, através de dois eixos principais: norte-sul e este-oeste, há 5000 BP na faixa litoral da plataforma de Aljubarrota.

**Palavras-chave:** Sílex; Áreas-fonte; Petroarqueologia; Calcolítico da Estremadura.

**Abstract: Management and circulation model of flint around 5000 BP along the coast between Nazaré and Peniche (Portuguese Estremadura)**

Within the Chalcolithic it is admissible that a flooded area between Nazaré and Peniche (Portuguese Estremadura) has been scarcely altered during the upper limit of the flandrian transgression; creating thus an excellent littoral landscape for human transit.

The archaeological site of S. Mamede, near the palaeoestuary of Óbidos, has an ensemble of lithic material from recent archaeological diggings, which were studied through petroarchaeological analyses. There have been identified possible source-areas of the flint, from where we gathered standard samples. They were macroscopically compared with the archaeological artefacts from the site. Hence, verifying particular features as cortex, colour, texture, transparency and biogenic inclusions or even minerals. Furthermore, microscopic analyses were also made, with the purpose of corroborating textural patterns. Finally, the flint operational chains have also been studied and properly investigated. From this study, it is possible to put forward a prehistoric model of flint management and circulation, of specific regional range. Defining as such two main geographic axis, one linking the north to the south and the other connecting the east to the west. All this relates to the general chronologies around 5000BP and within the coastal landscape of the Aljubarrota geological platform.

**Key-words:** Flint; Source-areas; Petroarchaeology; Estremadura Calcolithic.

## 1. INTRODUÇÃO

A pedra lascada recolhida nas escavações recentes do povoado de S. Mamede (Jordão & Mendes 2000, 2001, 2002) foi objecto de um estudo geoarqueológico, em cuja

---

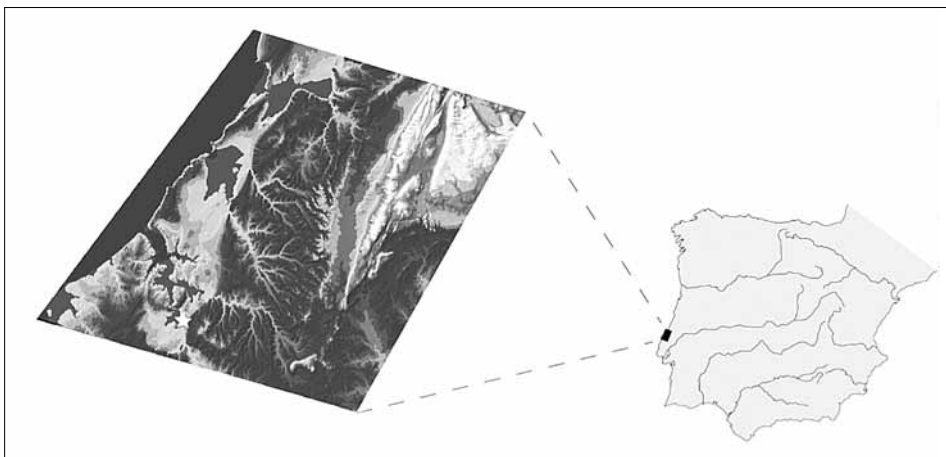
<sup>1</sup> Museu Arqueológico de S. Miguel de Odrinhas (Sintra). E-mail: jordao73@gmail.com

fase inicial se pretendeu identificar e caracterizar as litologias, e procurar as respectivas fontes de ocorrência. Paralelamente, articulando os materiais líticos disponíveis com a economia da debitage, incluindo a gestão das matérias-primas, experimentou-se avançar um nível médio de abordagem, designado por J. Zilhão (1995) como “economia da pedra”, onde se pretendeu-se analisar possíveis direcções de proveniência das mesmas. Em termos cronológicos, foi possível atribuir uma datação relativa genérica a este grupo de artefactos – Calcolítico –, através de critérios tipológicos por associação com outros materiais arqueológicos (nomeadamente cerâmica e artefactos em osso), provenientes de contextos remobilizados (Jordão 2010).

Uma vez identificadas as matérias-primas, optámos por excluir deste estudo os quartzitos e os quartzos, cuja modalidade e origem de aprovisionamento foi anteriormente discutida (Jordão 2011). A nossa análise centrou-se sobre a matéria-prima dominante nesta indústria lítica – o sílex – ausente a nível local, num raio de 10-15km a partir do sítio arqueológico.

## 2. O OUTEIRO DE S. MAMEDE

O sítio arqueológico localiza-se numa elevação alongada, de direcção NNE-SSW, constituída por calcários dolomíticos do topo da Formação de Dagorda, do Hetangiano, e faz parte de um conjunto de pequenos relevos estruturais que afloram no seio da depressão diapírica das Caldas da Rainha. Esta unidade geomorfológica encontra-se embutida entre a plataforma de Aljubarrota (a leste) e as arribas atlânticas (a oeste), incluindo-se, de norte para sul, as várzeas de Cela-Valado de Frades e de Maiorga, a “concha” de S. Martinho do Porto e a várzea de Óbidos correspondentes, no 3º milénio a.n.e., provavelmente a zonas estuarinas (Dinis *et al.* 2005) (Fig. 1). No Calcolítico existiria uma faixa aplanada de circulação terrestre, norte-sul, com cerca de 5km de largura. As áreas periféricas mais elevadas seriam ace-



**Fig. 1** – Localização do Outeiro de S. Mamede na faixa litoral entre Nazaré e Peniche, na Península Ibérica.

*Fig. 1* – S. Mamede in Iberian Peninsula, in the coastal line between Nazaré and Peniche.

didadas por uma vigorosa e complexa rede hidrográfica, provavelmente mais caudalosa do que a actual (Henriques 1996), através de alguns vales encaixados, como o da Ribeira de Crastos para leste, ou o vale do Roto, para sul.

### 3. METODOLOGIA E MATERIAIS

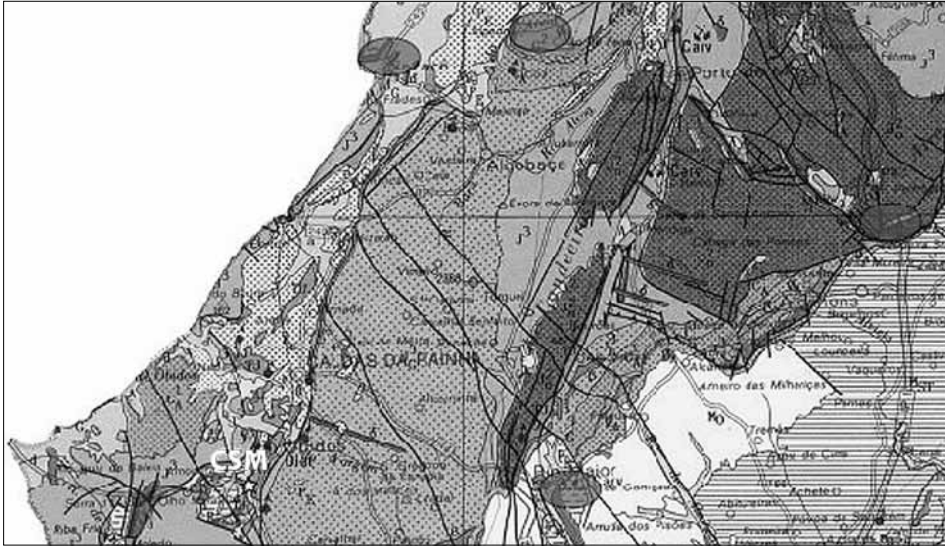
Neste povoado foi recolhido um conjunto de materiais de pedra lascada – 1498 – de diferentes litologias, destacando-se 1084 elementos sobre rochas siliciosas (99% sílex). Como esta matéria-prima não aflora nas imediações do povoado, prospectámos potenciais áreas-fonte de aprovisionamento a partir do sítio arqueológico, até cerca de 35km, seguindo preferencialmente as vias naturais de circulação, como a faixa atlântica até à Nazaré. Foram utilizadas as indicações fornecidas pelas Cartas Geológicas de Portugal à escala 1: 50000, posteriormente confrontadas com observações de campo, conduzindo à identificação de ocorrências não cartografadas (em Cós) e confirmação de anteriores referências (Zbyszewski & Almeida 1960; Azerêdo 1993; Zilhão 1995; Barbosa 1995).

A matéria-prima em bruto e o espólio lítico foram submetidos, por um lado, a uma análise macroscópica, verificando o seu córtex, a cor, textura, transparência e inclusões biogénicas ou minerais, de modo a definir características comuns entre ambos os materiais. Em seguida, seleccionaram-se amostras para observação ao microscópio petrográfico, com o objectivo de procurar padrões texturais.

Por outro lado, foram estudadas as cadeias operatórias de sílex, num sentido alargado do termo (Aubry 2003), com o objetivo de aferir processos de selecção, transporte e transformação, fundamentais para propor um modelo de gestão e circulação de sílex na faixa litoral entre a Nazaré e Peniche.

Foram identificadas quatro áreas-fonte regionais, nas quais foram recolhidas amostras de rochas siliciosas: de norte para sul, Cós, Nazaré, Maciço Calcário Estremenho (MCE) e Rio Maior (Fig. 2).

Na zona de Cós e também na Nazaré, afloram clastos de sílex integrados nos “Conglomerados calcários e tufos vulcânicos com *Anadromus ribeiroi*, de Nazaré e Cós” (França & Zbyszewski 1963; a côr laranja na Fig.2), também designados por “Conglomerados com clastos calcários, alternando com lutitos vermelhos encrustados” (Cunha, 1992), do Cretácico superior (Campaniano Superior-Maastrichiano). Em ambos os locais, estes clastos serão resultantes do soerguimento e erosão de níveis carbonatados recifais cretácicos, estudados por P. Callpez (1998), em cujo topo da do nível “H” – litofácies packstones/grainstones, de textura calcarenítica e calcirrudítica com estruturas internas oblíquas contendo Radiolitídeos e Nerineídeos – ocorrem nódulos e leitões de sílex. Os calcários com sílex que se observam na falésia do Forte da Nazaré, inicialmente associados ao Turoniano por P. Choffat, foram reinterpretados por P. Callpez (1998), atribuindo as ocorrências siliciosas ao topo do Cenomaniano superior. No MCE, entre Telhados Grandes e Bajouco, observámos nódulos de sílex anteriormente identificados na Formação de Chão das Pias (J<sup>2</sup>CP), DO Jurássico médio (Bajociano-Batoniano), na base da “Litofácies 9a: Calcários compactos” integrada na



**Fig. 2** – Localização de S. Mamede (CSM) e das áreas-fonte regionais na Carta Geológica de Portugal à escala 1: 500 000.

**Fig. 2** – *S. Mamede (CSM) and regional source-areas in Portugal Geologic Chart 1: 500 000.*

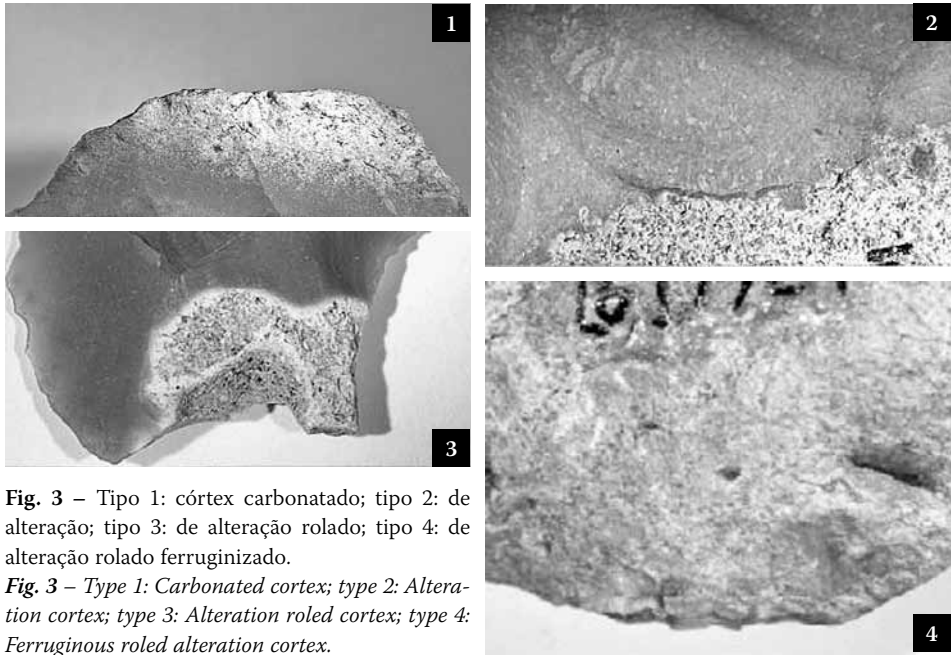
“Litofácies 9: *Mudstones, wackestones e packstones* bioclásticos” (Azerêdo 1993). Por último, na sub-bacia de Rio Maior, afloram dois tipos de formação com clastos de sílex: a fácies conglomerática da Aloformação de Almoster – na base dos “Arenitos da Ota” (Miocénico, M<sup>1-4</sup>) (Barbosa 1995) e depósitos aluviais de cascalheira, atribuíveis ao Quaternário (seg. J. Pais *in* Barbosa 1995).

### 3.1. Análise macroscópica

Na observação macroscópica das amostras de matéria-prima das áreas fonte, juntamente com as peças arqueológicas foram analisadas as características do córtex, a cor, a textura, a transparência e inclusões biogénicas ou minerais.

Analisando a presença de córtex no conjunto lítico (em 17% de peças com córtex, excluímos aquelas cuja sua presença é residual) verificou-se a existência de quatro tipos: tipo 1 – carbonatado; tipo 2 – de alteração; tipo 3 – de alteração rolado; tipo 4 – de alteração rolado ferruginizado (Fig. 3).

A maior parte das peças apresenta córtex alterado (45%) ou com sinais de ferruginização (37%); em algumas consegue perceber-se indícios de rolamento (9%) e também 9% evidenciam córtex carbonatado. Porém, o reconhecimento de diferenças entre tipos de córtex pode não ser imediato e efectivo, sobretudo quando estamos em presença de nódulos já transformados e, provavelmente, “descascados”, mantendo uma parte do córtex que, evidentemente, não se encontra rolada. Este podia ser um dos motivos apontados para a existência de grande quantidade de peças com córtex de alteração não rolado, significando apenas que a matéria-prima não provém de con-



**Fig. 3** – Tipo 1: córtex carbonatado; tipo 2: de alteração; tipo 3: de alteração rolado; tipo 4: de alteração rolado ferruginizado.

*Fig. 3 – Type 1: Carbonated cortex; type 2: Alteration cortex; type 3: Alteration roled cortex; type 4: Ferruginous roled alteration cortex.*

textos de deposição primários, não se conseguindo aferir depois se o desbaste inicial dos nódulos foi efectuado no povoado ou noutra local. O elemento diferenciador mais consistente é, assim, o facto de haver ou não alteração. Nos casos em que o córtex está ferruginizado, avermelhado (com indícios de rolamento), aponta-nos para um contexto de aprovisionamento de formação secundária, com presença de óxidos de ferro em grande quantidade.

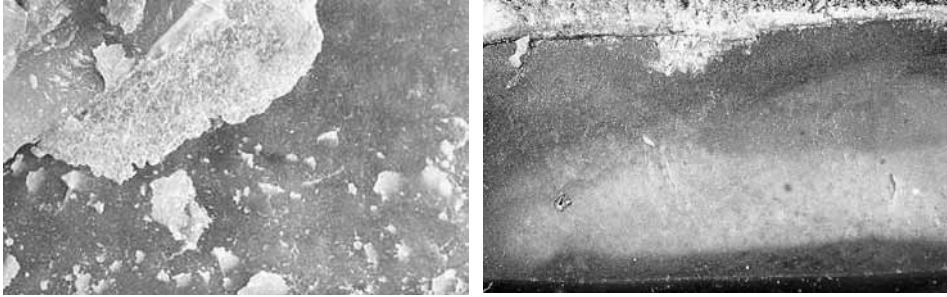
Relativamente ao critério cor, o sílex apresenta grande variabilidade cromática: uma paleta que vai do creme ao castanho, passando pelo castanho-avermelhado, a par de uma gama de cinzentos, do claro ao escuro, chegando ao negro. Esta verificação é válida, quer para os materiais do sítio arqueológico, quer para as fontes de matéria-prima, em particular, os depósitos detríticos. Apenas nos afloramentos jurássicos o sílex se centra na gama dos cinzentos. No caso das formações conglomeráticas a coloração pode reflectir a natureza do cimento dos contextos: fracção argilosa avermelhada nos conglomerados da Nazaré e de Cós e do “membro vermelho” dos Arenitos da Ota.

Em termos de textura e transparência, nos materiais das formações da Nazaré, Cós e Rio Maior observámos uma tendência para texturas mais vítreas e aspecto translúcido (Fig. 4, 5, 6 e 7), contrariamente aos nódulos do MCE, mais rugosos e opacos (Fig. 8 e 9).

### 3.2. Análise microscópica

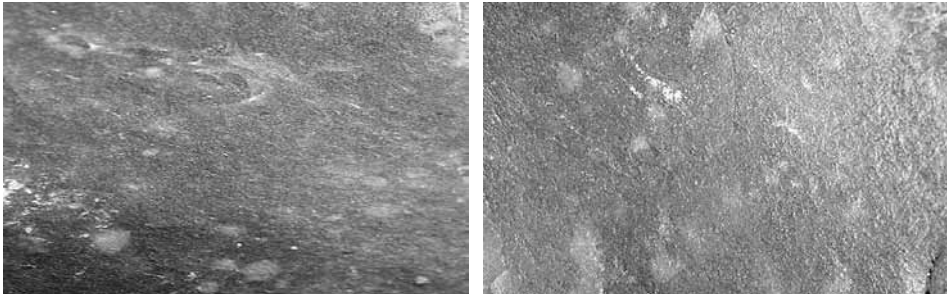
Tendo em consideração os critérios anteriormente descritos, seleccionámos 18 amostras para observação em lâmina delgada, procurando identificar e caracterizar





**Fig. 4 e 5** – Exemplos de texturas mais vítreas (Amostras A12Nazaré e B13Nazaré).

*Fig. 4 and 5* – *Examples of more vitreous textures (A12Nazaré and B13Nazaré samples).*



**Fig. 6 e 7** – Exemplos de texturas mais vítreas (Amostras 5CSM[6]1887 e 6CSM [1] 754).

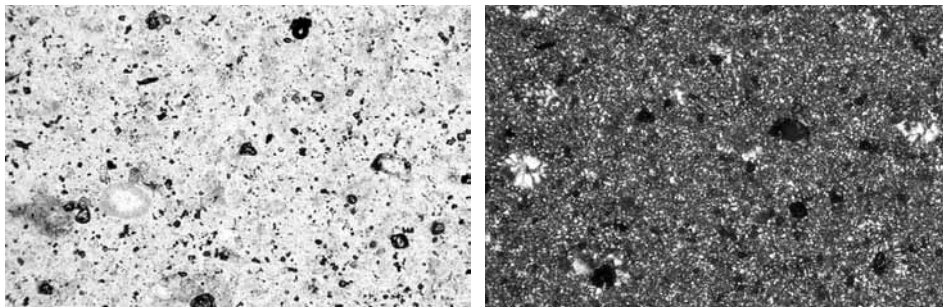
*Fig. 6 and 7* – *Examples of more vitreous textures (5CSM[6]1887 and 6CSM [1] 754 samples).*

padrões texturais. Foram utilizadas as classificações aceites para os calcários, a composicional de Folk (1959) e a textural de Dunham (1962).

Considerámos a existência de dois tipos de textura nas amostras estudadas: um grupo de texturas microcristalinas, com frequentes elementos sub-circulares (alguns oóides) e intraclastos sub-rolados, denotando um ambiente com algum hidrodinamismo; outro grupo, maioritário, de texturas também microcristalinas, com bioclastos de diversos tipos, mas pouco frequentes. O primeiro tipo foi associado ao sílex jurássico (Fig. 8a, 8b, 9a e 9b) e o segundo ao sílex Cretácico (Fig. 10a, 10b, 11a e 11b).

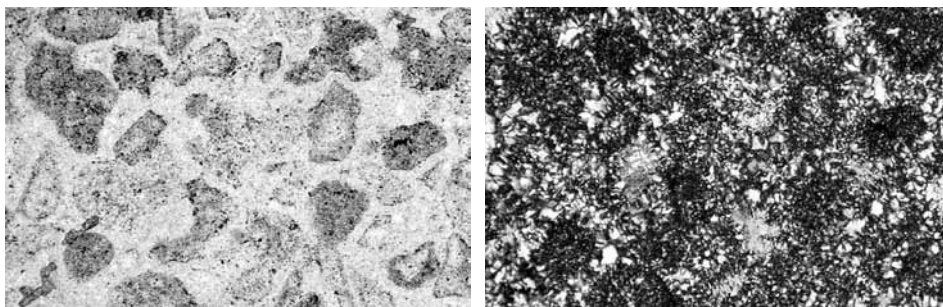
### 3.3. Análise da cadeia operatória

A dominância do sílex relativamente ao quartzito e ao quartzo (Jordão 2011) reflecte-se na indústria lítica de S. Mamede, destacando-se nos resíduos de talhe, nos produtos debitados, sobretudo alongados, e nas peças retocadas (Fig. 12). As rochas siliciosas são matéria-prima quase exclusiva de lâminas e lamelas, estando ausentes evidências de núcleos para extracção de produtos laminares – facto recorrente nos povoados calcolíticos – indiciando uma produção extra-sítio. Os núcleos recuperados no povoado indicam a exploração preferencial de lascas (Fig. 13). Estas constituem o produto debitado com maior número de exemplares, podendo ainda acrescentar-se



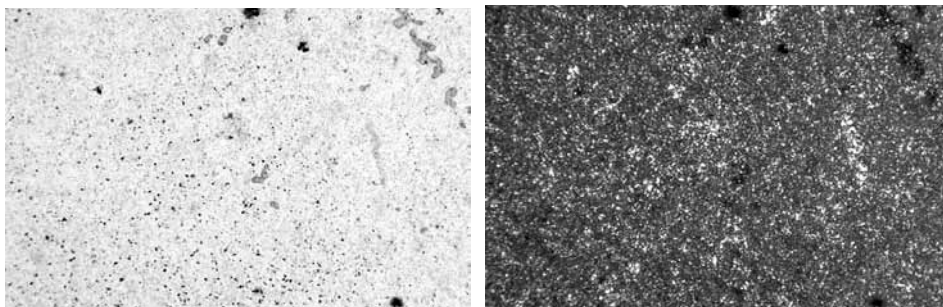
**Fig. 8a e 8b** – Amostra 11J2CP de sílex jurássico (nicóis cruzados e paralelos).

**Fig. 8a and 8b** – Sample 11J2CP of Jurassic flint (XPL/PPL).



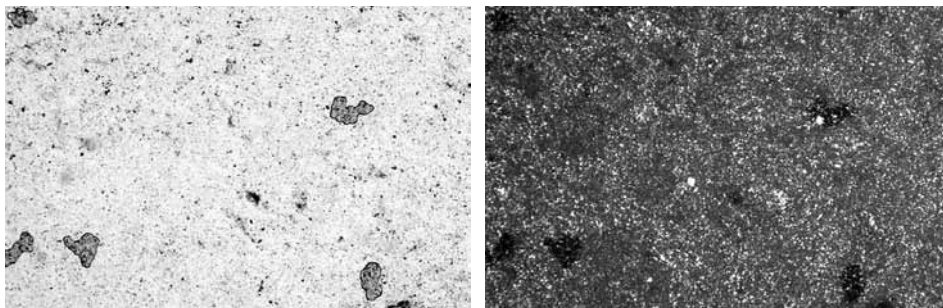
**Fig. 9a e 9b** – Amostra 20CSM[23]2374 de sílex jurássico (nicóis cruzados e paralelos).

**Fig. 9a and 9b** – Sample 20CSM[23]2374 of Jurassic flint (XPL/PPL).



**Fig. 10a e 10b** – Amostra B13N de sílex cretácico (nicóis cruzados e paralelos).

**Fig. 10a and 10b** – Sample B13N of Cretaceous flint (XPL/PPL).



**Fig. 11a e 11b** – Amostra 5CSM[6]1887 de sílex cretácico (nicóis cruzados e paralelos).

**Fig. 11a and 11b** – Sample 5CSM[6]1887 of Cretaceous flint (XPL/PPL).

19% a essa quantidade, se contarmos com a sua utilização como base de utensilagem de fundo comum. Mas as fases finais das cadeias operatórias são as mais bem representadas no sítio – operações de configuração final (e, provavelmente, de reavivamento de gumes ou de pequenas “reparações”) de artefactos profusamente retocadas, com uma abrangência invasora ou cobridora frequente, como é o caso dos foliáceos. Neste sentido, foram recolhidas numerosas esquirolas (108), sujeitas a tratamento térmico. É provável também que, no grupo dos foliáceos, se configurassem sobretudo pontas de seta. Efectivamente, foram identificadas pré-formas, ao mesmo tempo que temos notícia da recolha de armaduras em grande quantidade: 276 exemplares em reserva no MNA, contabilizados por S. Forenbaher (1999), provenientes das escavações antigas de Bernardo de Sá – o apelidado “depósito de pontas de seta” (Alves 1956-1957) – o que parece indiciar o seu fabrico local.

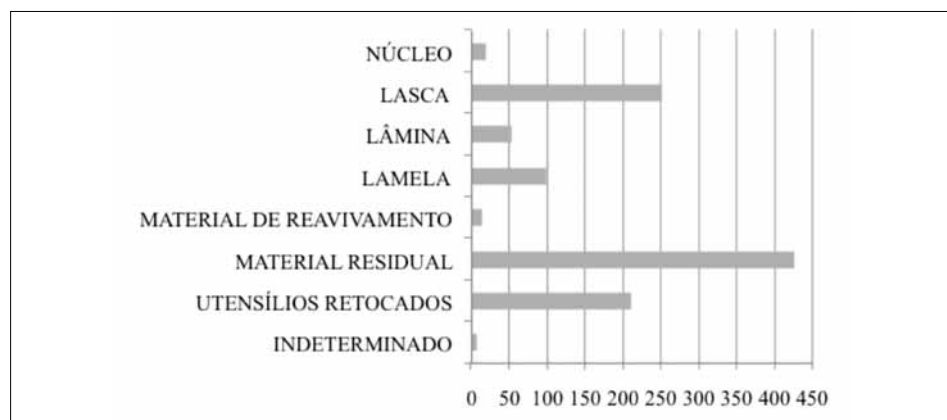


Fig. 12 – Distribuição do sílex por categorias tecnológicas.

*Fig. 12 – Distribution of siliceous rocks by technology categories.*

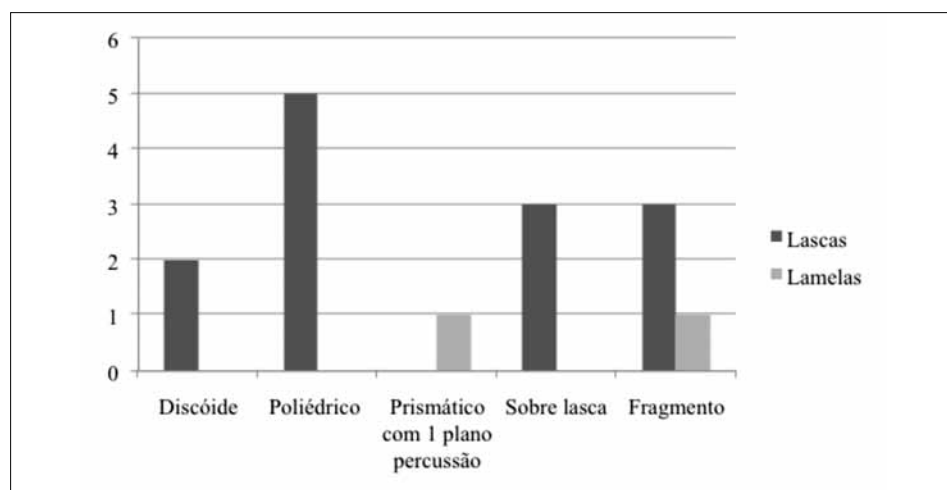
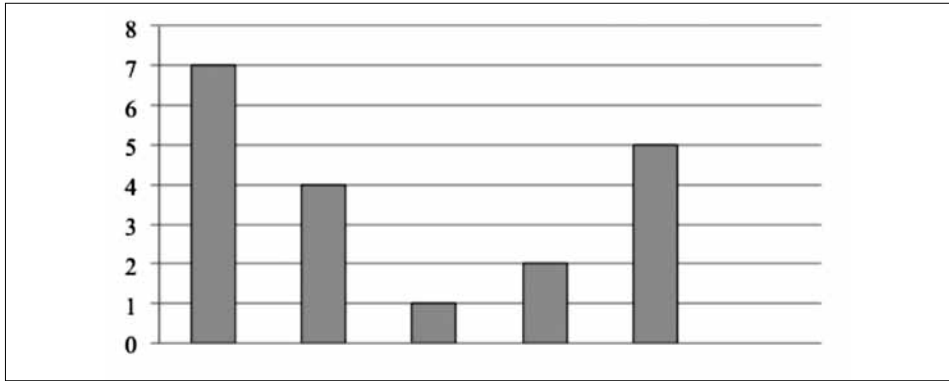


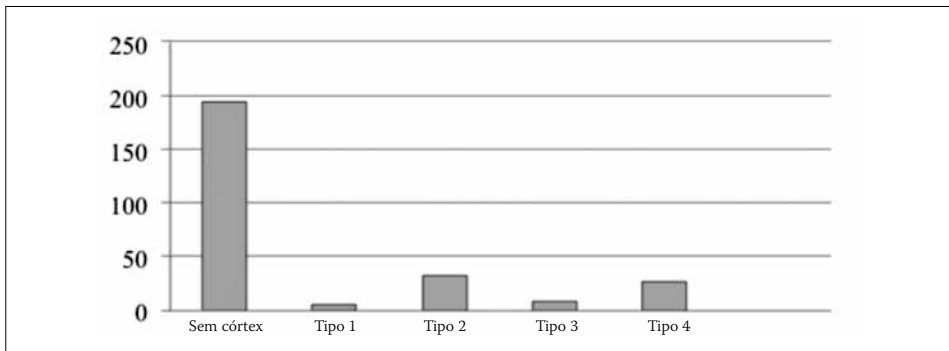
Fig. 13 – Produtos debitados por tipo de núcleo de sílex.

*Fig. 13 – Debitation products by flint core's types.*



**Fig. 14** – Tipos de córtex dos núcleos de sílex.

*Fig. 14 – Flint cores: types of cortex*



**Fig. 15** – Tipos de córtex das lascas de sílex.

*Fig. 15 – Flint flakes: types of cortex.*

Temos assim evidências de debitage local de lascas, de modo expedito, e de lamelas, encontrando-se as primeiras sob a forma ainda cortical e semi-cortical. A presença de córtex nos núcleos e nos respectivos produtos debitados atesta a existência de matéria-prima em bruto. Ao atentarmos nos tipos de córtex que ocorrem nos núcleos (Fig. 14) e nas lascas (Fig. 15), reparamos na variedade dos mesmos, destacando-se o conjunto de córtexes de alteração. Isto é, o domínio de sílex oriundo de contextos de deposição secundária. Não podemos deixar de referir o facto de, mesmo no caso dos núcleos, o número de exemplares não corticais se destacar, remetendo as actividades de talhe para um outro local, no povoado ou fora dele.

#### 4. DISCUSSÃO

Na caracterização do sílex presente no Outeiro de S. Mamede e também enquanto matéria-prima disponível a nível regional, foi fundamental combinar os diversos critérios de análise, de modo a estabelecer probabilidades de proveniência: o córtex das peças, maioritariamente alterado e rolado, permitiu inferir que os depósitos de

proveniência de matéria-prima são, predominantemente, de origem secundária – em depósitos detríticos do Cretácico superior e Cenozóico. Porém, artefactos com córtex carbonatado testemunham uma proveniência de formações primárias. Se considerarmos o factor córtex carbonatado associado à textura mais vítrea do sílex, eliminamos a procedência directa das formações jurássicas do MCE, cujos nódulos apresentam textura rugosa. Portanto, sabemos que existe uma pequena fracção de peças com córtex carbonatado macroscopicamente idênticas ao sílex do Cenomaniano da Nazaré mas, a maior parte delas, proveniente de depósitos detríticos secundários. Estes foram assinalados na Nazaré e Cós (Cretácico superior) e Rio Maior (Cenozóico). Se adicionarmos o critério cor ao tipo de córtex verificamos, frequentemente, que o sílex castanho associado a córtices de alteração rolado ferruginizado é característico dos conglomerados do final do Cretácico da Nazaré e de Cós.

Relativamente aos núcleos, material de debitação e material residual não corticais – 89% em 782 exemplares de sílex – são os resultados da observação petrográfica que permitem uma aproximação às fontes de proveniência: existe sílex arqueológico de génese jurássica e cretácica. Significa que não podemos afirmar categoricamente que a matéria-prima de origem mais recente tenha vindo de Norte ou de Este. Se associarmos ainda as características texturais macroscópicas dos nódulos do MCE, com alteração visível, não encontramos, no sítio arqueológico, materiais idênticos. Porém, a direcção de aprovisionamento a partir de Nascente parece bastante plausível. Existe a forte hipótese de terem sido recolhidos clastos de sílex do Jurássico médio em formações detríticas, uma vez que é apontada, genericamente, uma probabilidade de origem jurássica e cretácica dos clastos dos referidos depósitos na zona de Rio Maior (Carvalho 1968 *in* Barbosa 1995). Em conclusão, embora não nos sendo permitido determinar com precisão a zona de ocorrência, a sua formação é, sem dúvida, atribuível ao Jurássico.

## 5. CONCLUSÕES

A existência de sítios especializados na extracção e preparação de sílex no Calcolítico é conhecida na Estremadura, quer sejam orientados para a conformação de núcleos de lâminas, como Casas de Baixo (Zilhão 1994), ou destinados à produção de lascas para posterior transformação em peças foliáceas, como Arruda de Pisões (Forenbaher 1999). Lâminas em bruto, grandes foliáceos e pré-formas dos mesmos, circulariam dos centros de produção para os *habitats*, em cuja rede de povoamento S. Mamede se insere (Fig. 16).

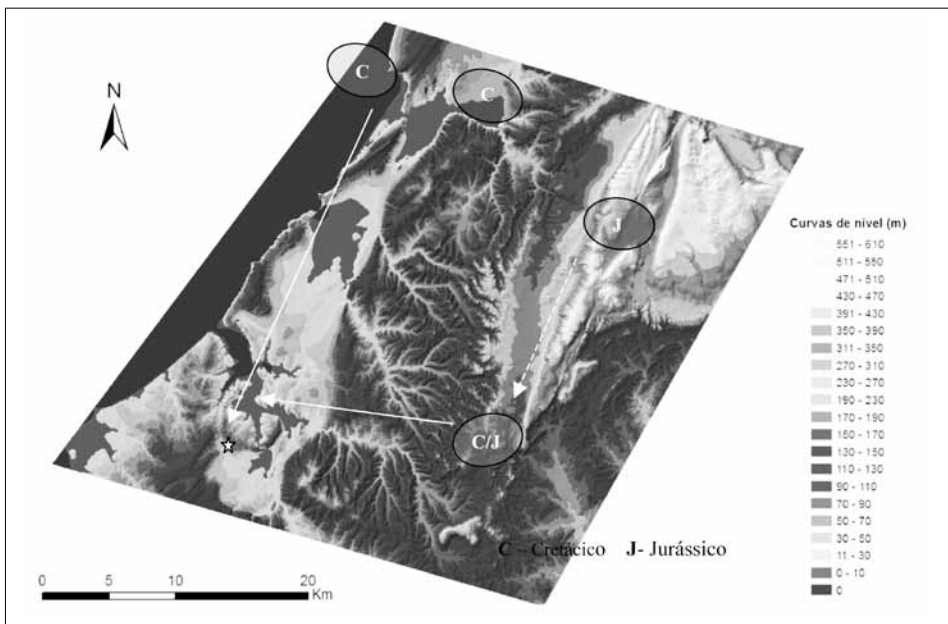
O aprovisionamento de blocos e seixos de sílex destinados à produção de lascas, lamelas, utensílios de fundo comum e também de pontas de seta (Fig. 16), efectuar-se-ia num eixo norte-sul, percorrendo a Depressão de Dagorda, na direcção dos depósitos cretácicos carbonatados e detríticos da Nazaré, e das bacias da ribeira de Cós e Alcoa, que entalham os conglomerados de Cós, embora se desconheçam aqui sítios arqueológicos especializados na exploração e configuração inicial de recursos líticos. Concebemos

Aprovisionamento regional	O que circula?	Indústria de pedra lascada
Até 35 km	Matéria-prima em bruto: blocos e seixos	Lascas e lamelas Utensílios de fundo comum Pontas de seta
+ 35 km	Lâminas Pré-formas Peças foliáceas	Lâminas retocadas Peças foliáceas

**Fig. 16** – Synthesis of management and circulation model of flint in the coastal line between Nazaré and Peniche.

a possibilidade de se processar um tipo de extracção directa, simples, não necessitando de conhecimentos técnicos particulares, seleccionando seixos de sílex, cujo córtex se encontra ferruginizado, mas também a extraindo blocos dos níveis lenticulares siliciosos das bancadas calcárias, de fácil acesso (Fig. 17).

A área-fonte de Rio Maior, a Este do povoado, afigura-se bastante importante, quer na aquisição de sílex cretácico, com córtices de alteração (excepto ferruginizados), quer de sílex jurássico. A presença de litologias com indiscutíveis padrões texturais associados ao Jurássico, impõe a aceitação de um eixo de circulação oeste-este, mas não directamente do MCE. Como referimos anteriormente, consideramos mais provável a existência de materiais provenientes da erosão das camadas do Jurássico médio, provavelmente aflorantes em contextos cenozóicos na bacia de Rio Maior, cuja exploração se faria de forma simples, recolhendo clastos dos conglomerados ou cascalheiras. A existência do



**Fig. 17** – Modelo de circulação de sílex na faixa litoral entre a Nazaré e Peniche há 5000 BP.

**Fig. 17** – Management and circulation model of flint around 5000 BP in the coastal line between Nazaré and Peniche.

sítio especializado, no Calcolítico, de Arruda dos Pisões concorre para valorizar Rio Maior como área-fonte de sílex na Estremadura, não só no que respeita a matéria-prima em bruto como a pré-formas de foliáceos.

Os núcleos de conformação de lâminas não se encontram atestados nestas áreas-fonte, indicando que os locais de obtenção destes produtos e, conseqüentemente da matéria-prima, se encontram a mais de 35 km do Outeiro de S. Mamede. A obtenção de lâminas parece inscrever-se numa rede mais vasta de trocas inter-regionais.

A zona da Nazaré e de Cós, mesmo distando cerca de 30 km do sítio arqueológico, devido à facilidade de acessos através da faixa litoral, integrar-se-ia num âmbito de circulação de carácter “local”. Pelo contrário, a área de Rio Maior, sensivelmente à mesma distância em linha recta, acedida através de uma densa rede hidrográfica com povoamento calcolítico, constituir-se-ia como área periférica, mas integrada nas redes de troca dos povoados da Estremadura. Este papel da sub-bacia de Rio Maior nas redes de circulação de sílex durante o Calcolítico, facto anteriormente apontado por A. Sousa (2010) no que respeita aos povoados da Península de Lisboa, fica reforçado com o presente estudo.

Com o objectivo de estreitar a associação entre os sílices arqueológicos e geológicos das áreas-fonte a Norte e a Este – e conseqüentemente os sentidos de aprovisionamento – será fundamental futuramente, por um lado, aumentar o número de amostras, de modo a caracterizar melhor as microfácies siliciosas. Por outro lado, como neste trabalho se pretendeu realçar, seria importante caracterizar melhor os contextos detríticos miocénicos e quaternários de Rio Maior, de modo a inferir as fontes de deposição primária.

Por último, ainda no sentido de identificar as redes de circulação e fontes de abastecimento de rochas siliciosas no Calcolítico da faixa litoral estremenha, consideramos importante prospectar outras, potenciais, áreas-fonte com grandes elementos siliciosos disponíveis (níveis lenticulares, nodulares ou seixos) – a matéria-prima das grandes lâminas e dos grandes foliáceos.

## BIBLIOGRAFIA

- Almeida F., Araújo A.C. & Aubry T.** 2003. Paleotecnologia lítica: dos objectos aos comportamentos. In: J. Mateus & M. Moreno-Garcia (eds.) *Paleoecologia Humana e Arqueociências: um programa multidisciplinar para a Arqueologia sob a tutela da Cultura*. Trabalhos de Arqueologia 29. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia: 299-349.
- Alves S.D.** 1956-1957. *O Outeiro de S. Mamede. Contribuição para o conhecimento da estação arqueológica e sua integração no neo-eneolítico português*. Dissertação para licenciatura em Ciências Históricas e Filosóficas na Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (policopiado), 214p.
- Azerêdo A.** 1993. *Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica): análise de fácies, micropaleontologia, paleogeografia*. Dissertação de doutoramento apresentada à Universidade de Lisboa. Departamento de Geologia da FCUL. Vol. I e II, 366 p.
- BARBOSA B.** 1995. Alostratigrafia e Litostratigrafia das unidades continentais da Bacia Terciária do Baixo Tejo – Relações com o Eustatismo e a Tectónica. Lisboa: *Instituto Geológico e Mineiro*, 253 p.
- Callapez P.** 1998. *Estratigrafia e Paleobiologia do Cenomaniano-Turoniano. O significado do eixo Nazaré-Leiria-Pombal*. Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade de Coimbra, 491p.

- Cunha P.P.** 1992. *Estratigrafia e Sedimentologia dos depósitos do Cretácico Superior e Terciário de Portugal Central, a Leste de Coimbra*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Dinis J., Henriques V., Freitas M.C. & Andrade C.** 2005. The holocenic evolution of the Óbidos, Alfeizerão and Pederneira lagoons (western Portugal). Natural and anthropic forcing. In: T. Drago & C. Freitas (eds.) *Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental Evolution. Coastal Hope Proceedings*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 24-29 de Julho: 42-43.
- Dunham R.J.** 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (ed.) *Classification of carbonate rocks*. AAPG, Mem. 1:108-121.
- Folk R.L.** 1959. Practical petrographic classification of limestones. *AAPG. Bul.* 43 (1): 1-38.
- Forenbaher S.** 1999. *Production and Exchange of Bifacial Flaked Stone Artifacts during the Chalcolithic*. BAR. Oxford: Archaeopress, 173 p.
- França J.C. & Zbyszewski G.** 1963. *Carta Geológica de Portugal na escala de 1: 50 000: notícia explicativa da folha 26-B: Alcobça*. Lisboa: S.G.P.
- Henriques M.V.** 1996. *A faixa litoral entre a Nazaré e Peniche: unidades geomorfológicas e dinâmica actual dos sistemas litorais*. Dissertação de doutoramento apresentada à Universidade de Évora na especialidade de Geografia Física, 575 p.
- Jordão P.** 2011 (no prelo). Análise de proveniência de matérias-primas: o caso da indústria de pedra lascada do povoado calcolítico de S. Mamede (Bombarral). *JIA 2011*. Faro.
- Jordão P.** 2010. *Análise de proveniência de matérias-primas líticas da indústria de pedra lascada do povoado calcolítico de S. Mamede (Bombarral)*. Tese de Mestrado não publicada. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Jordão P. & Mendes P.** 2000. *Relatório do Projecto de Estudo da Pré-História Recente do Vale Tifónido das Caldas da Rainha (PROVATIS)* apresentado ao IPA.
- Jordão P. & Mendes P.** 2001. *Relatório do Projecto de Estudo da Pré-História Recente do Vale Tifónido das Caldas da Rainha (PROVATIS)* apresentado ao IPA.
- Jordão P. & Mendes P.** 2002. *Relatório do Projecto de Estudo da Pré-História Recente do Vale Tifónido das Caldas da Rainha (PROVATIS)*, apresentado ao IPA.
- Zbyszewski G. & Almeida F.M.** 1960. *Carta Geológica de Portugal na escala de 1: 50 000: notícia explicativa da folha 26-D: Caldas da Rainha*. Lisboa: S.G.P.
- Zilhão J.** 1994. A oficina de talhe neo-calcolítica de Casais de Baixo (Caxarias, V.N. de Ourém). *Trabalhos de Arqueologia da E.A.M.* 2: 35-46.
- Zilhão J.** 1995. *O Paleolítico Superior da Estremadura Portuguesa*. Lisboa: Colibri.





V

**Evolution of Coastal Land**

*Evolução do Litoral*



# MEAN SEA LEVEL AND COASTLINE-LATE QUATERNARY

D. Moura<sup>1</sup>, A. Gomes, S. Gabriel & J. Horta

**Resumo:** As zonas costeiras evoluíram ao longo do tempo geológico em consequência da actividade tectónica, das alterações climáticas e das variações do nível médio do mar. Assim, vastas porções das plataformas continentais presentemente submersas, podem potencialmente preservar informação relevante para a reconstituição do paleo clima e das variáveis oceanográficas. Durante as regressões marinhas forçadas pelo sequestro da água na forma de gelo sobre os continentes, a linha de costa migrou no sentido do oceano. As redes de drenagem prologavam-se em direcção ao bordo continental e, na plataforma continental exposta a ventos fortes favorecidos pela degradação da vegetação, geraram-se campos dunares. Pelo contrário, durante as transgressões, a linha de costa migrou no sentido do continente submergindo as paisagens desenvolvidas na plataforma continental. A preservação de aspectos morfológicos como por exemplo, praias, dunas e restingas arenosas, dependeu dos processos morfodinâmicos, sendo os mais importantes as correntes e as ondas. A relação entre a linha de costa e o nível médio do mar, bem como, as variáveis ambientais envolvidas na preservação ou erosão das paisagens intermitentemente submersas e emersas, são aspectos discutidos no presente trabalho.

**Palavras-chave:** Quaternário; Plataforma continental; Nível médio do mar; Linha de costa.

**Abstract:** Coastal zones modified along the geological time forced by tectonic activity, climatic and mean sea level changes and thereby can preserve relevant information concerning past climatic and oceanographic conditions. During lowstands derived by glacial conditions, the coastline migrated seaward and, wide portions of the continental shelves were exposed to sub aerial evolution, the drainage net extended far away in the shelf and dune fields overspread favoured by dry cold conditions and vegetation scarcity. In contrast, during deglaciations, the mean sea level rose forcing the landward migration of the coastline leading to the landscapes submersion. The preservation of morphological features such as beaches, dunes and spit bars depended on several environmental variables and processes, such as, erosion, remobilization by currents, waves and mass movements and sedimentary burial. The relationship between the coastline and the mean sea level evolution along the Quaternary, as well as the environmental variables on the landscape preservation and remobilization are under discussion in this work.

**Key-words:** Quaternary; Continental shelf; Mean sea level; Coastline.

## 1. INTRODUCTION

The Quaternary is the most recent Geological Period of the Cenozoic Era and is divided in two Epochs: Pleistocene and Holocene. The age of the Pliocene – Pleistocene Boundary (PPB) has been successively adjusted because that boundary should be coincident with

---

<sup>1</sup> Universidade do Algarve. Centro de Investigação Marinha e Ambiental – CIMA. Campus de Gambelas, 8005-139. Faro, Portugal. E-mail: dmoura@ualg.pt

the onset of glaciations in the North Hemisphere (NH), as defined by the Commission for the Plio-Pleistocene Boundary (Aguirre & Pasini 1985). The first PPB was fixed at 1.8 Ma having as principal assumption that the cold fauna appearance at the Calabrian Basin should represent a phase of extreme global cooling. However, once the decrease of temperature and fauna migrations is neither synchronous nor equal-magnitude at the global scale, that assumption raised several problems on stratigraphic correlations. Currently, the PPB is positioned at 2.6 Ma as proposed in 2007 by the International Union of Quaternary Research (INQUA). Accordingly, The Quaternary Period contains the Gelasian Age previously bellowing to the Pliocene. This decision was supported by the climatic proxies pointing to the occurrence of full glacial conditions at the NH between 3.0 and 2.7 Ma (e.g., Sarnthein *et al.* 2009, Anadón *et al.* 2002, Leroy & Dupont 1996). Changes between forest and steppe according the high-frequency climatic changes that characterizes the Quaternary Period, started at 2.6 Ma at the Iberian Peninsula (Jiménez-Moreno *et al.* 2009). Additionally, the 2.6 Ma PPB shows the advantage of being a synchronous event that is the geopolarity reversal Gauss-Matuyama. The Quaternary Period characterizes by high frequency and high-magnitude climatic changes as showed by the marine isotopic stratigraphy. After 2.6 Ma, 104 Marine Isotopic Stages (MIS) compose several warm-cold cycles. The Last Glacial Period (LGP) contains the MIS 4, 3 and 2. The MIS 3 previously assumed as a warm phase, is now accepted as a transitional phase of extreme climatic instability (Bard 2002) and, therefore, bellowing to the LGP together with MIS 4 and 2 (Meerbeeck *et al.* 2009), during which surface water temperature at the Iberian Margin was between 5 and 12°C lower than the current one (Abreu *et al.* 2003).

## 2. MEAN SEA LEVEL

The relative mean sea level (rmsl) is the balance between the ocean basin capacity and the quantity of water, mass water density and oceanic currents. Basins capacity is controlled by tectonics whereas the quantity of water depends mainly on the quantity of ice accumulated in the mainland.

### 2.1.Upper Pleistocene

Unfortunately, data concerning the rmsl during the MIS 3 (60-27 kyr ago) is scarce in a general way and particularly in the Atlantic Iberian Margin. Around 30 ka, the mean sea level was located about 20 m below the current one at the Cadiz Gulf as testified by beach deposits (Gracia *et al.* 2008). By the end of the Last Glacial Period, an extreme cold event named Last Glacial Maximum (LGM) at 18 kyr BP occurred. During the LGM the rmsl was much lower than the present, ca. 120 to 140 m below the current one (e.g. Dias *et al.* 2000) and, the Atlantic Iberian continental shelf which shelf breaks locates between 120 and 160 m below the water surface, was almost completely emerged. During the LGM lowstand, fresh water at the continental shelf provided by rivers, lakes and seeps must have been of fundamental importance for Human occupation, similarly to the present at the continental

areas. Whereas fresh water tables felt at the continental areas as a consequence of msl fall and aridity, its availability increased on the emerged shelf providing coastal oasis (Faure *et al.* 2002). After the LGM, the ice locked on the continental areas began to melt and, as a consequence, the continental shelves began to flood. Between 16 and 13 kyr, msl stabilized at -100 m (Ruddiman & McIntyre 1981). An important cold phase occurred at 11.5 kyr BP-Younger Dryas, due to intense melt waters influx in the Atlantic, leads a new phase of rivers renewed – higher erosional capacity once msl was ca. -40 m below the present. This phase is recorded in the W continental shelf by coarse sediments (Cascalho *et al.* 1994). After the Younger Dryas, the rate of sea level rise was very high during the early Holocene.

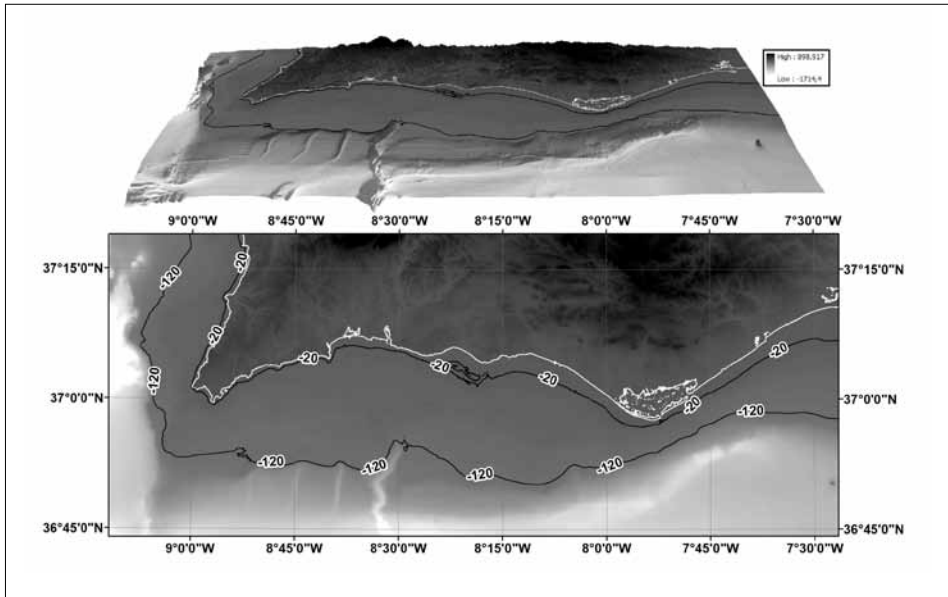
## 2.2. Holocene

The mean sea level (msl) curves for the Holocene are highly variable between different regions seeming that local causes superimpose the eustatic signal. The behaviour of the msl since the LGM is still under debate being far from a global curve. However, authors agree in two points: (i) the Holocene maximum flood was between 6 500 – 5 000 yr BP and, (ii) the rate of the msl rise was faster during the first phase of the Holocene transgression than after the maximum flood (e.g., Fairbanks 1989; Fleming *et al.* 1998; Gehrels 1999; Dabrio *et al.* 2000; Belperio *et al.* 2002; Boski *et al.* 2002; Vött 2007; Zazo *et al.* 2008; Engel *et al.* 2009; Bungenstock & Schäfer 2009). The deglaciation after the LGM was essentially completed by 6000 years ago but sea level went goes changing due to isostatic adjustments even on far field regions where should be expectable a sea level fall due to redistribution of the water in the ocean basins (Peltier 1999). Besides several other authors reported a rmsl above the present one, they concluded that was due to local causes such as crustal movements and elastic rebound or other local processes among them changes in the sedimentary budget, morphological changes or climatic conditions (e.g., Warne & Stanley 1995; Mörner 1999; Li *et al.* 2000; Belperio *et al.* 2002; Razjigaeva *et al.* 2004; Shennan *et al.* 2005; Bungenstock & Schäfer 2009; Schellmann & Radtke 2010). A third scenario was reported by a few authors that describe the existence of local rmsl oscillations inside the present highstand being this effect due to climatic changes, elastic rebound-isostatic uplift and sediment supply (Mörner 1999; Fernández-Salas *et al.* 2003; Lobo *et al.* 2003; Moura *et al.* 2007; Zazo *et al.* 2008). Therefore, a general pattern of global sea-level prevailed during the late Quaternary and since 6000 sea level histories for different regions results from regional effects such as isostatic adjustment and vertical tectonic movement that started to superimpose glacio-eustasy (Fleming *et al.* 1998). Likewise, apart from local oscillations due to changes on sedimentary input as above mentioned, a rmsl higher than the present was never reported at the Atlantic Iberian margin. For instance, at NW Iberia, the Galicia Mud Patch (GMP) is forming in the mid shelf at least after 5320 yr BP meaning that rmsl and hydrographic conditions maintained constant after the Holocene Maximum Transgression, showing only variations of land sediment influx determined by changes in precipitation (Bernardez *et al.* 2008; Lantzech *et al.* 2009).

During the early Holocene, the sea level rose ca. 0.85 m /century (ca. 30 times more than today) until 6500 yr BP when reached -15 to -20 m at the Cadiz Gulf. Between that moment and 5000 yr BP, sea level rise slowed down (0.25 m/century) and the msl approached the present (e.g., Boski *et al.* 2002). Coastal dunes migrated landward, alluviation occurred in the estuaries and coastal lagoons and spit bars began to form in the Atlantic Iberian shelf (e.g., Zazo *et al.* 1994; Freitas *et al.* 2003, Andrade *et al.* 2004; Boski *et al.* 2002). Estuaries began to develop because rivers no longer exported sediment to the outer shelf unless the finer sediments which could reach the inner shelf fossilizing older structures. However, as above referred, the geomorphological evolution of shelf landscapes depended on the space accommodation for sediments, the shelf slope and the balance between the rate of sea level rise and sedimentary input.

### 3. COASTLINE EVOLUTION

The coastline evolution depends on other environmental variables than the mean sea level changes. In other words, the coastal environments behaviour under the same driver may be highly diverse due to local effects. For instance, when the msl was ca. -20 m ca. 6 kyr, as the result of the shelf morphology and the rocks mechanical strength, the coastline was very close to the current one near Sagres. However, the 6 kyr coastline in flatter morphologies is underwater several miles away from the present (see the -20 m bathymetric contour (Fig.1). Additionally, for the same rate of the msl rise, the landward migration rate of rocky cliffs depends not only on the rock strength but also on the marine climate and exposure to the waves (Nunes *et al.* 2009; Bezerra *et al.* 2011; Moura *et al.* 2011). At the place of the Holocene flooding, coastal environments migrated landward in coastal lowlands and barrier-islands and coastal lagoons formed where the available sediments were pushed to the mainland. In this case, when the accommodation space was insufficient, the former lagoon was itself flooded being now submerged. During the rapid sea level rise in the early Holocene, the sediments quickly filled estuaries because the rivers have lost the ability to export them to the continental shelf. However, the depth to which we can find the same time-line depends on the palaeo topography and therefore chronological horizons are not parallel to the topographic surface. Moreover, when the ratio between sedimentary supply and the accommodation space was higher than the unit (an overfilled valley according to Dalrymple (2006), the estuary was filled in an apparently sea level fall (regressive sequence) during slow rising sea level (transgression). Those examples give us the extension of the problem in researching the coastal evolution and raise some questions: The proxies that we are interpreting are suitable for mean sea level reconstructions and they really traduce the coastline evolution? The very different mean sea level curves reflect site effects or local interpretations of local proxies? Several advances on the Holocene sea level curves are based on salt marshes foraminifer's assemblages collected from drilling cores. Some of these curves results from the age-



**Fig. 1** – The Algarve Margin showing the 20 and 120 m bathymetric contour lines. The image was produced using the tools of Mirone Program (Luís 2007).

-altitude analysis, which traces the evolution of the tidal range fringe along the time but are not accurate enough to provide information about mean sea level (Edwards & Horton 2000). Additionally, the age-altitude models enclose several problems like sediments compactation and erosional events. Moreover, transgressive events have been reported based on the increase of the relative percentages of planktonic foraminifera in the salt marshes communities. However, this fact may be related with morphological changes, such as barrier systems formation, inlets' closure, aperture or migration, more than with marine transgressions (Li *et al.* 2000). Beachrocks are among the morphological features used in msl reconstructions but a beachrock in a macrotidal environment give a mean sea level imprecision of at least four metres. Therefore, extremely careful is required on the msl proxy's interpretation.

#### 4. FINAL REMARKS

The relative mean sea level and the coastline changes besides being dependent variables they are not the same and, the scientific research on coastal evolution must correctly interpret the morphodynamic processes. At the continental shelves, landscapes experienced a polygenic evolution, (underwater and aerial) depending on the sea level changes. The landscape degree of preservation is determined by several mechanisms and its possible to address at least four scenarios: (i) Rocky landscape sculpted by aerial weathering during marine regressions were rapidly submerged during the Holocene flood, keeping the original forms; (ii) Rocky landscape sculpted by aerial weathering suffered waves assailing during a long time span and would be total or partially eroded;



(iii) Sedimentary bodies like dunes and beaches were cemented and rapidly flooded maintaining its original characteristics and, (iv) Sedimentary bodies were partial or totally destroyed and the sediment reused to new sedimentary structures.

**ACKNOWLEDGMENTS:** This work is a contribute to the Research Project PTDC/CTE-GIX/111230/2009 (EROS) supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) and to SPLASHCOS, Cost Action TD0902.

## REFERENCES

- Abreu L., Shackleton N.J., Schonfeld J.H.M., Hall M. & Chapman M. 2003. Millenial-scale oceanic climate variability off the western Iberian margin during the last two glacial periods. *Marine Geology* 196:1-20.
- Aguirre E. & Pasini G. 1985. The Pliocene-Pleistocene Boundary. *Episodes* 8 (2): 116-120.
- Anadón P., Burjacks F., Martín M., Rodríguez-Lázaro J., Robles F., Utrilla R. & Vázquez A. 2002. Paleoenvironmental evolution of the pliocene Villarroya Lake, Northern Spain. A multidisciplinary approach. *Sedimentary Geology* 148: 9-27.
- Andrade C., Freitas M.C., Moreno J. & Craveiro S.C. 2004. Stratigraphical evidence of Late Holocene barrier breaching and extreme storms in lagoonal sediments of Ria Formosa, Algarve, Portugal. *Marine Geology* 210: 339-362.
- Bard E. 2002. Climate shock: Abrupt changes over millennial time scales. *Physics Today*, 32-36.
- Belperio B.P., Harvey N. & Bourman R.P. 2002. Spatial and temporal variability in the Holocene sea-level record of the South Australian coastline. *Sedimentary Geology* 150: 153-169.
- Bernardez P., González-Álvarez R., Francés G., Prego R., Bárcena M.A. & Romero O.E. 2008. Late Holocene history of the rainfall in the NW Iberian península-Evidence from a marine record. *Journal of Marine Systems* 72: 366-382.
- Bezerra M., Moura D., Ferreira Ó. & Taborda R. 2011. The influence of wave action and lithology on sea cliff mass movements in central Algarve coast, Portugal. *Journal of Coastal Research* 27 (6A): 162-171.
- Boski T., Moura D., Veiga-Pires C., Camacho S., Duarte D., Scott D. & Fernandes S.G. 2002. Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150: 103-122.
- Bungenstock F. & Schäfer A. 2009. The Holocene relative sea-level curve for the tidal basin of the barrier island Langeoog, German Bight, Southern North Sea. *Global and Planetary Change* 66: 34-51.
- Cascalho J., Magalhães F., Dias J.M.A. & Carvalho A.G. 1994. Sedimentary unconsolidated cover of the Alentejo continental shelf. *GAIA* 8: 113-118.
- Dabrio C.J., Zazo C., Goy J.L., Sierro F.J., Borja F., Lario J., González J.A. & Flores J.A. 2000. Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain). *Marine Geology* 162: 381-404.
- Dalrymple R.W. 2006. Incised-valleys in time and space: an introduction to the volume and an examination of the controls on valley formation and filling. In: R.W. Dalrymple; D.A. Leckie & R.W. Tillman (eds.) *Incised valleys in time and space*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications 85: 5-12.
- Dias J.M.A., Boski T., Rodrigues A. & Magalhães F. 2000. Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present-a synthesis. *Marine Geology* 170: 177-186.
- Edwards R.J. & Horton B.P. 2000. Reconstructive sea-level change using UK salt-marsh foraminifera, *Marine Geology* 169: 41-56.
- Engel M., Knipping M., Bruckner H., Kiderlen M. & Kraft J.C. 2009. Reconstructing middle to late Holocene palaeogeographies of the lower Messenian plain (Southwestern Peloponnese, Greece):

- Coastline migration, vegetation history and sea level change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 284: 257-270.
- Fairbanks R.G.** 1989. A 17,000 year glacio-eustatic sea-level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* 342: 637-642.
- Faure H., Walter R.C. & Grant D.R.** 2002. The coastal oasis: ice age springs on emerged continental shelves. *Global and Planetary Change* 33: 47-56.
- Fernández-Salas L.M., Lobo F.J., Hernández-Molina F.J., Somoza L., Rodero J., Diaz del Rio V. & Maldonado A.** 2003. High-resolution architecture of late Holocene highstand prodeltaic deposits from southern Spain: the imprint of high-frequency climatic and relative sea-level changes. *Continental Shelf Research* 23 (11-13).
- Fleming K., Johnston P., Zwartz D., Yokoyama Y., Lambeck K. & Chappell J.** 1998. Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far and intermediate-field sites. *Earth and Planetary Science Letters* 163: 327-342.
- Freitas M.C., Andrade C., Rocha F., Tassinari C., Munhá J.M., Cruces A., Vidinha J. & Silva C.M.** 2003. Lateglacial and Holocene environmental changes in Portuguese coastal lagoons: 1. *The Holocene* 13 (3): 433-446.
- Gehrels W.R.** 1999. Middle and Late Holocene sea-level changes in eastern Main reconstructed from foraminiferal saltmarsh stratigraphy and AMS <sup>14</sup>C dates on basal peat. *Quaternary Research* 52: 350-359.
- Gracia F.J., Rodríguez-Vidal J., Cáceres L.M., Belluomini G., Benavente J. & Alonso, C.** 2008. Diapiric uplift of an MIS 3 marine deposit in SW Spain: Implications for Late Pleistocene sea level reconstruction and palaeogeography of the Strait of Gibraltar. *Quaternary Science Reviews* 27: 2219-2231.
- Jiménez-Moreno G., Fauquette S. & Suc J-P.** 2009. Miocene to Pliocene vegetation reconstruction and climate estimates in the Iberian Peninsula from pollen data. *Palaeobotany & Palynology*, doi: 10.1016/j.revpalbo.2009.08.001.
- Lantzh H., Hanebuth T.J.J., Bender V.B. & Krastel S.** 2009. Sedimentary architecture of a low-accumulation shelf since Late Pleistocene (NW Iberia). *Marine Geology* 259: 47-58.
- Leroy S.A.G. & Dupont L.M.** 1997. Marine palynology of the ODP site (N-W África) and its contribution to the stratigraphy of Late Pliocene. *Geobios* 30 (3): 351-359.
- Li L., Gallagher S. & Finlayson B.** 2000. Foraminiferal response to Holocene environmental changes of a tidal estuary in Victoria, Southeastern Australia. *Marine Micropaleontology* 229: 229-246.
- Lobo F.J., Fernández-Salas L.M., Hernández-Molina F.J., González R., Dias J.M.A., Díaz de Río V. & Somoza L.** 2005. Holocene highstand deposits in the Gulf of Cadiz, SW Iberian Peninsula: A high-resolution record of hierarchical environmental changes. *Marine Geology* 219 (2-3): 109-131.
- Luís J.M.F.** 2007. Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers & Geosciences* 33: 31-41.
- Meerbeeck C.J., Renssen H. & Roche D.M.** 2009. How did Marine Isotope Stage 3 and Last Glacial Maximum climates differ? Perspectives from equilibrium simulations. *Climate of the Past* 5: 33-51.
- Mörner N-A.** 1999. Sea level and climate: rapid regressions at local warm phases. *Quaternary International* 60: 75-82.
- Moura D., Veiga-Pires C., Albardeiro L., Boski T., Rodrigues A.L. & Tareco H.** 2007. Holocene sea level fluctuations and coastal evolution in the central Algarve (Southern Portugal). *Marine Geology* 237: 127-142.
- Moura D., Gabriel S. & Jacob J.** 2011. Coastal Morphology along the Central Algarve rocky Coast: Driver Mechanisms. *Journal of Coastal Research* SI 64: 790-794.
- Nunes M., Ferreira Ó., Schaefer M., Clifton J., Baily B., Moura D. & Loureiro C.** 2009. Hazard assessment in rock cliffs at Central Algarve (Portugal): a tool for coastal management. *Ocean & Coastal Management* 52: 506-515.

- Peltier W.R.** 1999. Global sea level rise and glacial isostatic adjustment. *Global and Planetary Change* 20: 93-123.
- Razjigaeva N.G., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Mokhova L.M. & Bazarova V.B.** 2004. The role of global and local factors in determining the middle to late Holocene environmental history of the South Kurile and Komandar islands, Northwestern Pacific. *Palaeogeogr. Palaeocl.* 209: 313-333.
- Ruddiman W.F. & McIntyre A.** 1981. The North Atlantic ocean during the last glaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 35: 145-214.
- Sarnthein M., Bartoli G., Prange M., Schmittner A., Schneider B., Weinelt M., Andersen N. & Garbe-Schonberg D.** 2009. Mid-Pliocene shifts in ocean overturning circulation and the onset of Quaternary-style climates. *Climate of the Past* 5: 269-283.
- Schellmann G. & Radtke U.** 2010. Timing and magnitude of Holocene sea-level changes along the middle and south Patagonia Atlantic coast derived from beach ridge systems, littoral terraces and valley-mouth terraces. *Earth-Science Reviews*, doi:10.1016/j.earscirev.2010.06.003.
- Shennan I., Hamilton S., Hillier C. & Woodroffe S.** 2005. A 16000-year record from near-field relative sea-level changes, northwest Scotland, United Kingdom. *Quatern. Int.* 133-134: 95-106.
- Vött A.** 2007. Relative sea level changes and regional tectonic evolution of seven coastal areas in NW Greece since mid-Holocene. *Quaternary Science Reviews* 26: 894-919.
- Warne A.G. & Stanley D.J.** 1995. Sea-level change as critical factor in development of basin margin sequences: New evidence from late Quaternary record. *Journal of Coastal Research Sp. Issue* 17: 231-240.
- Zazo C., Dabrio C.J., Goy J.L., Lario J., Cabero A., Silva P.G., Bardaji T., Mercier N., Borja F. & Roquero E.** 2008. The coastal archives of the last 15 ka in the Atlantic-Mediterranean Spanish linkage area: Sea level and climate changes. *Quaternary International* 181: 72-87.
- Zazo C., Goy J.L., Somoza L., Dabrio C.J., Belluomini G., Impronta S., Lario J., Bardaji T. & Silva P.G.** 1994. Holocene sequence of sea level highstand-lowstand in the Atlantic-Mediterranean linkage coast: forecast for future coastal changes and hazards. *Journal of Coastal Research* 10 (4): 933-945.

# UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS SIG PARA O ESTUDO DA MORFOLOGIA SUBMERSA DA BAÍA DE ARMAÇÃO DE PÊRA (ALGARVE)

Leandro Infantini<sup>1</sup>, Delminda Moura<sup>2</sup> & Nuno Bicho<sup>1</sup>

**Resumo:** Durante o Último Máximo Glacial (UMG) vastas porções das plataformas continentais encontravam-se emersas devido à regressão marinha de grande amplitude. Deste modo, uma grande parte da paisagem e consequentemente do património pré-histórico e paleoambiental está presentemente submerso e potencialmente preservado, sendo necessárias investigações no sentido de o estudar e recuperar. Neste contexto, e de forma a contribuir para o conhecimento de paisagens submersas, o objetivo deste trabalho é apresentar e discutir os dados preliminares da investigação efetuada na área submersa da Baía de Armação de Pêra (Sul de Portugal). Devido a dificuldades inerentes ao trabalho em zonas submersas, desde a caracterização morfológica à recolha de amostras para análise textural, foram necessárias novas abordagens metodológicas para a caracterização da área de estudo. A caracterização e análise morfológica da área de estudo, foi realizada em ambiente SIG utilizando um Modelo Digital de Terreno (MDT) da região construído a partir de dados batimétricos obtidos por deteção remota. Com base nesta análise, a zona submersa da Baía de Armação de Pêra apresenta uma morfologia compatível com o desenvolvimento de um sistema lagunar durante o Plistocénico, abrigado por uma restinga arenosa. Tal como observado nas análises sedimentológicas e petrográficas preliminares, realizadas em amostras colhidas em mergulho, as areias da restinga sofreram uma rápida cimentação por carbonato de cálcio que lhes conferiu resistência mecânica à erosão pelas ondas e correntes.

**Palavras-chave:** SIG; Modelo Digital de Terreno; Morfologia; Linha de Costa; Pré-história.

**Abstract:** SIG tools usage for the study of the Armação de Pêra bay (Algarve) submerged morphology

During the Last Glacial Maximum (LGM) wide portions of the continental shelves were emerged due to a wide marine regression. Accordingly, the landscape and therefore prehistoric heritage and palaeoenvironmental indicators are currently submerged and potentially preserved, being necessary investigations in order to study and restore this heritage. Aiming to contribute for the understanding of underwater landscape, this work presents preliminary data about research in the submerged area of the Armação de Pêra bay (Southern Portugal). Due to difficulties of working in underwater areas, from the morphological characterization to sampling for textural analysis, new approaches were needed to investigate this area. Characterization and morphological analysis of the study area was performed in GIS environment using a Digital Terrain Model (DTM) built from bathymetric data obtained by remote sensing. Based on this analysis, the submerged area of the Armação de Pêra Bay has a morphology compatible with the development of a coastal lagoon system during the Pleistocene, sheltered by a spitbar. As observed in preliminary petrographic and sedimentological

---

<sup>1</sup> FCHS (Faculdade de Ciências Humanas e Sociais) – Universidade do Algarve.  
E-mail: leandroinfantini@hotmail.com

<sup>2</sup> CIMA (Centro de Investigação Marinha e Ambiental) – Universidade do Algarve.

analysis carried out on samples taken from diving, the sands of the sedimentary body have suffered a rapid cementation by calcium carbonate that preclude erosion by waves and currents.

**Key-words:** GIS; Digital Terrain Model; Morphology; Coastline; Prehistory.

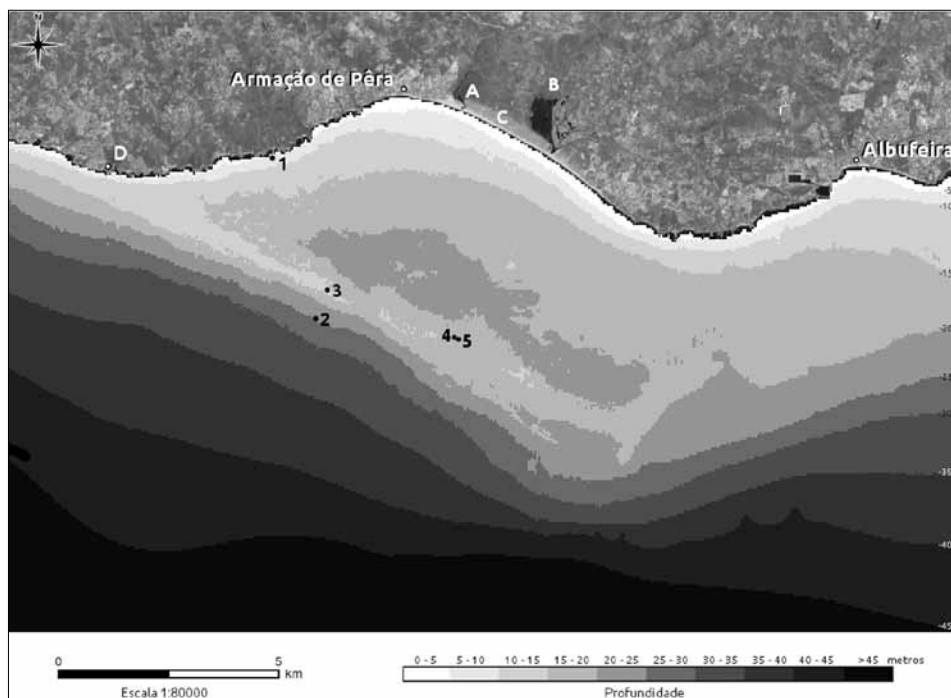
## 1. INTRODUÇÃO

As alterações do nível médio do oceano e as alterações climáticas encontram-se entre os fenómenos naturais de maior impacto geológico e ambiental, ocorridos durante o Quaternário. A expansão das calotes polares e glaciares continentais durante as grandes glaciações do Plistocénico teriam provocado uma diminuição no volume de água dos oceanos provocando o rebaixamento do nível do mar. Por outro lado, em períodos mais quentes, a fusão parcial dos glaciares provocaram um aumento no nível do mar (eg. Ponzi 2004). As migrações da linha de costa no passado resultaram de processos de erosão, transporte e deposição. Várias evidências geomorfológicas como plataformas litorais, arribas, ruturas de declive e praias antigas, podem ser indicadoras de antigas linhas de costa. Muitos destes elementos podem ser identificados utilizando sistemas de deteção remota (Bird 2008).

O presente trabalho tem como objetivo investigar a zona submersa da baía de Armação de Pêra onde ocorre um relevo compatível com o desenvolvimento de uma restinga arenosa. Uma restinga arenosa pode ser definida como um tipo de barreira, formada na direção predominante da deriva longilitoral pela acumulação de sedimentos e moldada em grande parte pelo padrão dominante das ondas. A formação de uma restinga arenosa ocorre quando a capacidade de transporte do sedimento decresce devido a fatores como a morfologia do fundo ou a mudança de direção da linha de costa e que induzem a refração e reflexão das ondas, permitindo a deposição do sedimento transportado. Algumas restingas, à semelhança da que ocorre na área de estudo, têm a extremidade encurvada, devido à deposição do sedimento na sua parte final e podem indicar tanto a posição da linha de costa quanto a evolução da própria restinga (Ciavola 1997; Davis Jr & Fitzgerald 2004; Jewell 2007; Lindhorst *et al.* 2008). Estes sistemas de barreira podem proteger baías, lagunas e sapais que constituem habitats de grande importância para a reprodução de organismos marinhos, além de uma importante fonte de nutrientes (Davis Jr & Fitzgerald 2004). Deste modo, a identificação destes paleoambientes, para além de fornecer um indicador da evolução da linha de costa, das correntes e direção preferencial das ondas, pode contribuir para o conhecimento da exploração de recursos aquáticos para a dieta das comunidades humanas pré-históricas.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A baía de Armação de Pêra (Fig. 1) situa-se ao largo da vila de Armação de Pêra, no Algarve. É uma baía em forma de zeta, onde se acumula uma praia contínua de, aproximadamente, 6 km paralelamente à linha de costa, interrompida apenas pelas desembocaduras das ribeiras de Alcantarilha e Espiche. A praia é limitada no lado



**Fig. 1** – Localização da zona de estudo, utilizando o modelo digital de terreno (MDT) para a zona submersa e a imagem em infravermelho próximo (Banda 4) do Landsat7 para a zona continental. No MDT as profundidades foram agrupadas em 10 classes de profundidades. Na imagem Landsat, os alvos de maior absorção dos infravermelhos, como as ribeiras, lagoas e vegetação densa estão em tons escuros enquanto alvos de maior refletância, como as dunas, praias e construções, estão em tons claros. Em: **A** – Ribeira de Alcantarilha; **B** – Ribeira de Espiche; **C** – Campo dunar; **D** – Cabo Carvoeiro; **1** – Amostras AL-01 e AL-02; **2** – Amostras PT-1F e PT-1S; **3** – Amostra PT-2B; **4** – Amostras PC-SP e PC-SL; **5** – Amostra AP-01.

**Fig. 1** – Location area, using the Digital Terrain Model (DTM) for submerged zone and panchromatic image (Band 8) of Landsat7 for continental zone. In DTM, depths were classified into 10 classes depths. In: **A** – Alcantarilha creek; **B** – Espiche creek; **C** – Dune field, **D** – Cape Carvoeiro; **1** – Samples AL-01 and AL-02; **2** – Sample PT-1F and PT-1S; **3** – Sample PT-2B; **4** – Sample PC-SP and PC-SL; **5** – Sample AP-01.

continental por um campo dunar ativo que atinge 200-300 metros de largura sobreposto a um paleo sistema dunar, que, associado à ocorrência de rochas de praia testemunham um paleolitoral holocénico resultante da estabilização do nível do mar desde há aproximadamente 5000 anos (Teixeira 2002; Moura *et al.* 2007).

Na zona submersa adjacente ocorre uma crista rochosa com cerca de 1 km de largura e, tal como a linha de costa atual, também orientada no sentido NW-SE, situada entre os 14 e 25 metros de profundidade, formada por calcarenitos de grão médio com cimento carbonatado (Teixeira 2002). Uma depressão que representa provavelmente uma paleo laguna, separa o referido relevo da linha de costa. De acordo com trabalhos anteriores (Teixeira 2002; Teixeira & Pinto 2002) a formação deste relevo teria ocorrido no Plistocénico final.

A costa do Algarve tem um regime de marés mesotidal, variando entre 1.3 e 3.5 m em marés mortas e vivas respetivamente. As ondas aproximam-se da costa predominantemente de WSW (72 % de ocorrências) sendo a sua altura significativa geralmente inferior a 1 m podendo raramente atingir alturas superiores a 3 m (2% de ocorrência anual) durante as tempestades (Costa *et al.* 2001).

### 3. METODOLOGIA

A zona em questão foi identificada e selecionada para investigação, no âmbito do projeto *SIGPAL* (Infantini, no prelo), devido à potencial preservação de paleolinhas de costa. Este projeto tem como objetivo a recolha, tratamento e gestão de informações geoespaciais como imagens e Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de sítios arqueológicos Paleolíticos e Mesolíticos do Algarve.

#### 3.1. Análise morfológica

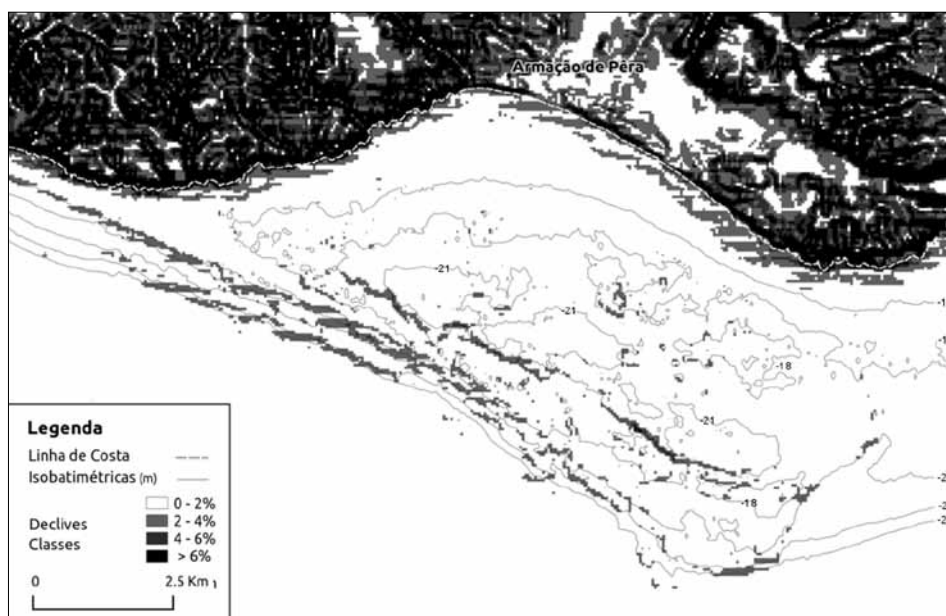
Devido a dificuldades logísticas de se investigar em zonas submersas, foi necessário o desenvolvimento de duas abordagens de pesquisa. Por um lado, foi necessário desenvolver uma metodologia para a recolha de amostras em contexto subaquático, e por outro lado, o desenvolvimento e gestão de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a caracterização, análise morfológica e para a definição de um plano de amostragem na região a ser investigada.

Numa primeira abordagem, recorreu-se a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por serem ferramentas computacionais do geoprocessamento e que permitem a realização de análises complexas, ao integrar diversas fontes de dados e a criação de bases de dados georreferenciadas (Câmara *et al.* 2001). Neste contexto, utilizaram-se diversas ferramentas computacionais de acesso livre, como o sistema operativo GNU/Linux Ubuntu e os softwares SPRING (Câmara *et al.* 1996), Mirone (Luís 2007) e Quantum GIS (Quantum GIS Development Team 2011). Também foram utilizados dados de diversas fontes de acesso livre como imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 com uma resolução de 15 (banda pancromática) e 30 metros, e os Modelo Digitais de Terreno compilado por Luís (2010) com uma resolução espacial de 50 metros para a caracterização altimétrica e batimétrica do leito marinho e o MDT do SRTM (Jarvis *et al.* 2008) com uma resolução espacial de 90 metros para a caracterização altimétrica.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) ou Modelo Numérico de Terreno (MNT) pode ser definido como um conjunto de dados em suporte numérico que permite associar, em qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico, um valor correspondente à sua altitude (Matos 2008). As vantagens destes modelos, neste projeto, residem tanto na capacidade de apresentar, além da sua altitude em qualquer ponto, perspetivas em três dimensões que auxiliam em simulações de paisagem e na identificação de morfologias relacionadas a paleoambientes. Neste sentido, várias operações foram realizadas

a partir do modelo digital do terreno (MDT), como o cálculo de declives, reconstrução da rede de drenagem da região e o planeamento de missões de recolha de amostras subaquáticas.

O mapa de declives (Fig. 2) da zona emersa e submersa foi construído a partir do MDT (Luís 2010), e foi reclassificado em quatro classes entre os 0 a 2%, 2 a 4%, 4 a 6% e maior que 6%, a fim de se identificar os principais conjuntos de declives, ruturas de declive e plataformas litorais. A rede de drenagem foi construída a partir de um modelo hidrológico de escoamento tendo como base o mesmo MDT, e deste modo foi construído a rede na zona emersa e submersa.



**Fig. 2** – Mapa de declives da área em estudo em conjunto com as isobatimétricas dos -14, -18, -21 e -26 metros de profundidade.

*Fig. 2* – Slope map of continental and submerged area, with depth contour of -15m, -18m, -21m, -24m and -26 meters depth.

### 3.2. Amostragem

Vários mergulhos foram realizados para a recolha de amostras, visando a identificação e caracterização da litologia. Nesses mergulhos, para além de amostras superficiais, foram recolhidas amostras de rocha por meio de um sistema pneumático de perfuração. Este sistema é autónomo, uma vez que utiliza a pressão de ar de um cilindro de ar secundário e independente. Aplica-se, portanto, o mesmo princípio do sistema SCUBA de mergulho autónomo, ao utilizar um regulador de pressão (primeiro estágio) para a redução da pressão de ar do cilindro de mergulho até uma pressão intermédia para a utilização do amostrador. Neste sistema de amostragem, utilizou-se um perfurador pneumático e optou-se pela utilização de brocas de 30 mm de espessura



e com comprimentos variáveis para permitir a extração de amostras mais profundas. Porém, devido a questões técnicas do equipamento e limites de mergulho, as amostras utilizadas tem um comprimento entre 4 a 5 cm.

Os locais de amostragem foram selecionados em perfis batimétricos previamente elaborados a partir do SIG e do MDT. Utilizaram-se um total de oito amostras subaquáticas (Tabelas 1 e 2) provenientes de cinco locais distintos (Fig. 1).

**Tab. 1** – Profundidade das amostras, percentagem de carbonato de Ca, e análise estatística (método de Folk & Ward) realizada através do Gradistat (Blott 2010)

**Tab. 1** – *Depth of samples, proportion of calcium carbonate and statistical analysis (Folk & Ward method) performed by Gradistat (Blott 2010)*

Amostras	Prof. (m)	CaCO <sub>3</sub> %	Média $\Phi$	Calibragem $\sigma$	Assimetria $S_k$	Kurtose $K$
AL-01	-7	80,7	2,78 Areia Fina	0,75 Moderadamente calibrada	-0,36 Muito negativa	1,59 Muito leptocúrtica
AL-02	-7	76,11	2,55 Areia Fina	0,92 Moderadamente calibrada	-0,36 Muito negativa	1,14 Leptocúrtica
PT-2B	-15	61,35	2,44 Areia Fina	0,52 Moderadamente bem calibrada	-0,26 Negativa	1,38 Leptocúrtica
PC-SP	-18	63,03	1,84 Areia média	0,81 Moderadamente calibrada	-0,26 Negativa	0,70 Platicúrtica
PC-SL	-18	57,09	1,15 Areia média	0,69 Moderadamente bem calibrada	0,71 Positiva	2,75 Muito leptocúrtica
PT-1F	-25	60,16	1,19 Areia média	0,64 Moderadamente bem calibrada	0,60 Positiva	0,82 Platicúrtica
PT-1S	-25	63,18	2,08 Areia fina	0,89 Moderadamente calibrada	-0,35 Muito negativa	0,83 Platicúrtica

**Tab. 2** – Resultado da datação obtida pelo Laboratório de Radiocarbono de Waikato, Nova Zelândia

**Tab. 2** – *Result of <sup>14</sup>C dating by Waikato Radiocarbon Dating Laboratory, New Zealand.*

Amostra	Referência	Prof. (m)	Material	Método	Resultado (BP)
AP-01	Wk-30540	-18	Cimento (CaCO <sub>3</sub> )	AMS	17581 ± 56

### 3.3. Análises texturais

Foram selecionadas sete amostras (Tab. 1) para análises texturais que foram tratadas com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 110 v. para a limpeza de organismos marinhos vivos. Posteriormente, foram emersas numa solução de HCl a 20% para determinar a quantidade de carbonato de cálcio total (por diferença de peso, antes e depois da digestão em ácido). A fra-

ção detrítica foi peneirada mecanicamente num jogo de crivos com intervalo de malha de  $\frac{1}{2} \Phi$ . A análise estatística foi realizada através da aplicação Gradistat (Blott 2010).

### 3.4. Datação

Uma das amostras (AP-01) foi datada por radiocarbono no laboratório Waikato, Nova Zelândia (Tab. 2), sendo datado o cimento. As restantes amostras de rocha não foram enviadas para datação, pois, por observação macroscópica verificou-se que os traços de atividade da endofauna, como por exemplo, tubos carbonatados de poliquetas afeta toda a amostra. Deste modo, será necessário recolher amostras até maior profundidade (pelo menos 30 cm) no substrato rochoso para o melhor enquadramento temporal da forma estudada.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Morfologia

A estrutura sedimentar submersa aproximadamente paralela à linha de costa (praia de Armação de Pêra) e dela afastada de cerca de 4 km apresenta fisiografia compatível com uma paleo restinga arenosa (posteriormente litificada) construída aproximadamente a partir do Cabo Carvoeiro, onde se encontra ancorada (Fig. 1).

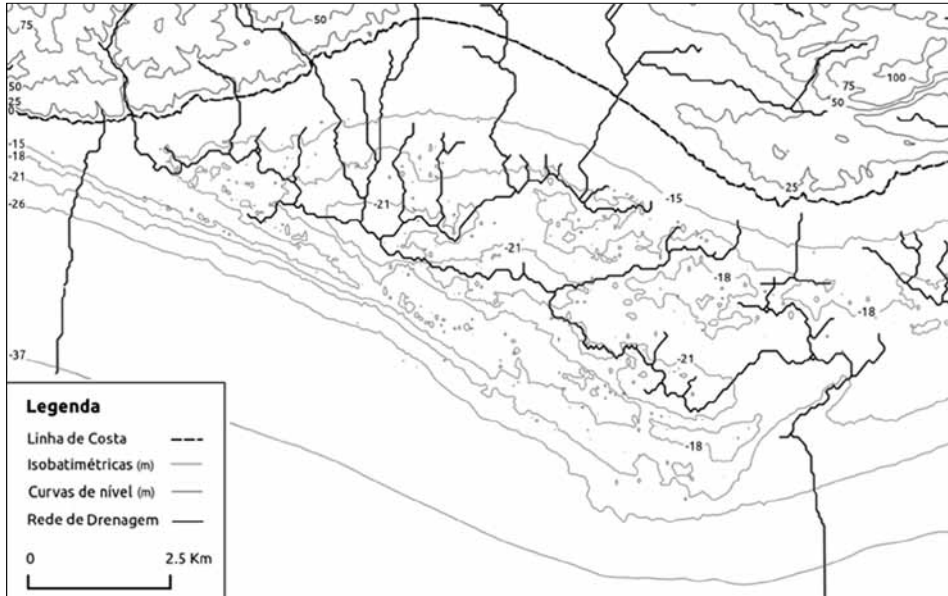
A zona submersa é composta predominantemente por classes de declive entre os 0 a 2%, sendo este um gradiente comum em plataformas continentais. Contudo, ruturas no pendor, com declives entre os 2% a 4% estão associados às profundidades de -15, -18, -21 e -26 m.

Na rede de drenagem (Fig. 3) foi colocada em evidência a existência de paleocanais da rede de drenagem na zona submersa da baía, que foram possivelmente esculpidos quando o nível médio do mar estava mais baixo que o presente, provavelmente em fase posterior a litificação deste relevo. Ainda, em mergulho, foram observadas várias formas cársticas designadamente algares (Fig. 4).

### 4.2. Análises texturais

A percentagem de carbonato de cálcio total das amostras analisadas varia entre 47% a 80% (Tab. 1). As amostras com teor em carbonato mais elevado são AL-01 e AL-02 localizadas em Praia de Albandeira a uma profundidade de -7 metros (Fig. 1 e Tab. 1). A média granulométrica variou entre 1,14 e 2,78  $\Phi$ , isto é entre areia fina e areia média, variando de moderadamente calibrada a moderadamente bem calibrada (Tab. 1) e a assimetria situa-se entre 0.7 e -3.6.

Foi realizada uma análise morfoscópica dos grãos de quartzo, nas frações granulométricas 0.500, 0.355 e 0.250 mm. Nas amostras PT-1F, PT-1S, PT-2B, PC-SL e PC-SP (Tab. 1) o quartzo é principalmente hialino com precipitação de óxidos de ferro na superfície. Os grãos de quartzo são sub-angulosos a muito angulosos. Após limpeza



**Fig. 3** – Rede de drenagem, gerada por modelação numérica através do Modelo Digital de Terreno, em conjunto com as isobatimétricas dos -15m, -19m, -21m, -26m e curvas de nível com espaçamento de 25 metros.

*Fig. 3* – Drainage network, generated by numerical modeling using the Digital Terrain Model (DTM), with depth contour of -15m, -18m, -21m, -26m and contour lines (continental zone) spaced by 25 meters.



**Fig. 4** – Imagens subaquáticas próximas aos pontos 4 e 5 (Fig. 1), a aproximadamente -18 m de profundidade, mostrando evidências de carsificação (algares).

*Fig. 4* – Underwater images near to items 4 and 5 (Fig. 1), approximately -18m depth, showing evidences of karstification.

com ultra-sons, os grãos revelaram-se brilhantes com frequentes marcas de dissolução e marcas de impacto em crescente e em cúpula com figuras de cisalhamento em feixe (Azevedo 1983). No interior de algumas cavidades de dissolução ocorrem ocasionais inclusões de pirite. Não foram observados minerais pesados nestas frações granulométricas. Foram estudadas lâminas delgadas produzidas numa sub-amostra da amostra que foi datada. Os cristais de calcite entre os grãos de quartzo são de pequenas dimensões e irregulares. As amostras AL-01 e AL-02 (Tab. 1) são compostas por areia fina vasosa (11.8% de silte e argila) cinzenta com ocasionais grãos de pirite e abundantes tubos de vermes construídos com o sedimento detrítico aglutinado.

### 4.3. Datação

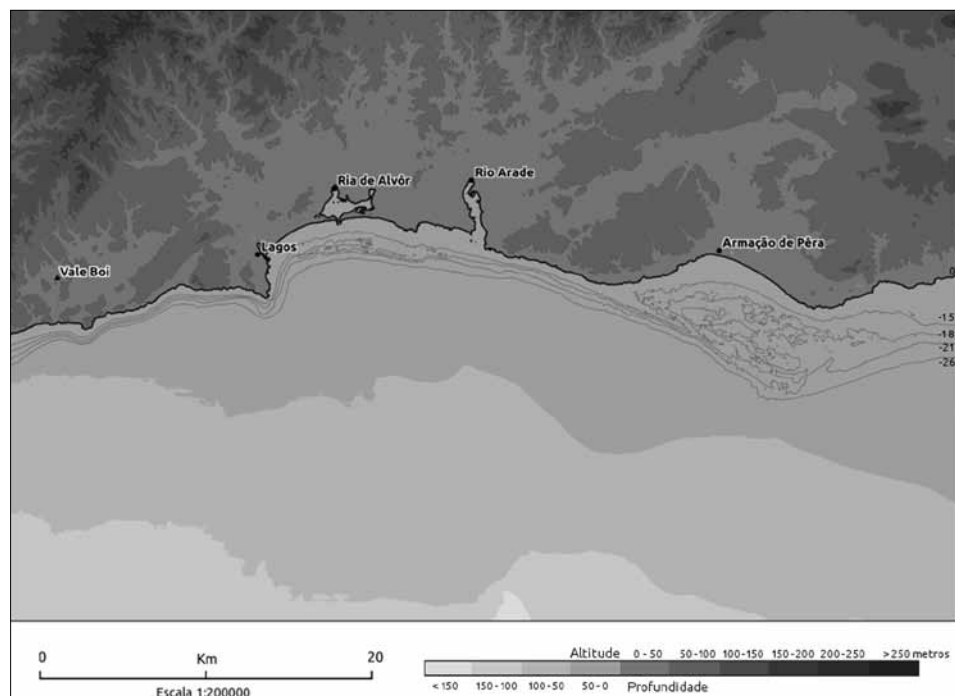
Sobre uma amostra recolhida a -16 metros de profundidade (AP-01) foi obtida a idade 14C que aponta a formação do cimento a  $17\ 581 \pm 56$  BP (Tab. 2). Foi datada a rocha total pelo que esta datação tem que ser interpretada com precaução, uma vez que há uma série de problemas associados à datação deste contexto, como por exemplo, contaminação por atividade biogénica, assim como efeitos de carbonatos fósseis. Tal como referido na secção 3.4, existem tubos carbonatados de endofauna atual que contribuem para subestimar a idade radiocarbono.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Morfologia

As restingas arenosas resultam da acreção sedimentar em meio subaquático abaixo do nível de base das ondas (profundidade abaixo da qual não se verifica movimento) e encontram-se frequentemente a barlar de desembocaduras de rios (Ciavola 1997; Simms *et al.* 2006; Costas & FitzGerald 2011). O Cabo Carvoeiro é um obstáculo natural à deriva longilitoral predominantemente de W (Dias 1988) pelo que, a perda de eficácia de transporte teve como consequência a acumulação de uma restinga arenosa até aproximadamente ao paleo estuário das ribeiras de Alcantarilha e de Espiche onde encurva para o continente, condicionada pela descarga fluvial que constituiu uma barreira hidrodinâmica e sedimentar á deriva longilitoral (Fig.1 e 3). De facto, analisando o prolongamento subaquático da rede de drenagem aérea, pode situar-se localização da principal descarga fluvial na extremidade leste da restinga. A instalação desta restinga teve como consequência o desenvolvimento de uma laguna abrigada das ondas, bem marcada na morfologia, a uma profundidade máxima de aproximadamente -23 metros.

Os declives associados as profundidades de -15, -18, -21, -24 e -26 provavelmente foram esculpidos pelas mudanças do nível do mar depois da consolidação deste cordão, uma vez que a diferença entre as profundidades corresponde aproximadamente ao regime de marés da região. Destaca-se ainda que os declives na zona interna da barreira, em direção ao continente, estão associados à profundidade de -18 m, e que foram formados provavelmente durante a exposição direta da zona ao mar, uma vez que a



**Fig. 5** – Localização do Sítio arqueológico de Vale Boi, em conjunto com as isobatimétricas dos -15, -18, -21 e -26 m ao longo de parte da plataforma continental do Algarve.

*Fig. 5* – Location of the archaeological site of Vale Boi, with the depth contour of -15m, -18m, -21m, -26m and part of continental shelf of the Algarve. In Lagos Bay, depth between -18m and -21m shows a submerged relief that could be related with paleoenvironmental context of Armação de Pêra bay.

partir de -19 m a zona interna se encontraria completamente abrigada (Fig. 3). Além disso, é possível perceber o perfil curvado deste cordão, que indica que as condições de corrente longilitoral e direção preferencial das ondas eram semelhantes as atuais.

Além disso, em termos morfológicos, há uma correspondência entre as profundidades citadas anteriormente com outras zonas da plataforma continental do Algarve, nomeadamente na foz do Alvor e Baía de Lagos e que podem apontar um contexto semelhante ao de Armação de Pêra, possivelmente indicando uma paleolinha de costa (Fig. 5).

## 5.2. Características do sedimento

Assimetrias inferiores a 0.1 tais como a das amostras PT-2B; PC-SP; PT-1S são características de sedimentos de praia (Tanner 1995). As assimetrias positivas, superiores a 0.1 (amostras PT-1F e PC-SL) são características de sedimentos eólicos ou bacias marinhas restritas (Tanner 1995). Porém, a conjugação das marcas de impacto em crescente e em cúpula com figuras de cisalhamento em feixe tal como identificadas em morfoscopia, são características de meios aquáticos de elevada energia (Azevedo

1983). Se bem que algumas dessas marcas possam também surgir em grãos de transporte eólico, a calibragem e as marcas de dissolução são características incompatíveis com este tipo de transporte. A dissolução dos grãos de quartzo caracteriza ambientes marinhos sub-saturados em sílica principalmente em ambientes energéticos (Azevedo 1983). O desvio padrão entre 0.3 e 0.5 é característico de praias maduras, isto é com sedimento longamente trabalhado pelas ondas. Contudo, nenhuma das amostras está nestas condições. De facto, os grãos de quartzo são maioritariamente sub-angulosos a muito angulosos, mais compatíveis com a rápida deposição a partir de um fluxo desacelerado do que com o sucessivo transporte pelas ondas. Segundo Allen (1965) e Fleming (1977) médias granulométricas entre 2,3 e 3,2  $\Phi$  estão associadas a sedimentos que resultam da deposição da carga de fundo partir de um fluxo que desacelera para velocidades inferiores a  $24 \text{ cm/s}^{-1}$ . O valor obtido para a curtose nas amostras analisadas é inferior a 3.25 (Tab. 1) o que, segundo Allen (1965), é indicativo de que foram depositadas durante uma subida do nível médio do mar, uma vez que este parâmetro granulométrico é função da energia sendo que, existe uma relação inversa entre a curtose e a energia do meio. De acordo com o anteriormente expresso, os sedimentos analisados (amostras PT-2B; PC-SP, PT-1S, PT-1F e PC-SL) são compatíveis com a deposição em restinga arenosa. O cimento carbonatado de grãos não equigranulares e de pequenas dimensões é compatível com rápida cimentação em ambiente sub-aéreo.

Contudo, as amostras AL-01 e AL-02 foram sedimentadas em ambiente completamente distinto das amostras acima descritas. São areias finas vasosas cinzentas, nas quais se encontram preservados abundantes tubos diretos de poliquetas construídos com sedimento aglutinado. Estes vermes concentram seletivamente os grãos de sedimento de acordo com a sua granulometria e aglutinam-nos com um muco orgânico. São comuns nas planícies litorais intermareais onde vivem em colónias (Fournier *et al.* 2010). Nestas amostras ocorrem, embora raros, grãos de pirite. Atendendo às características descritas, são compatíveis com ambiente marinho restrito, como por exemplo, baía abrigada adjacente a um estuário.

### 5.3. Evolução paleoambiental

O índice de rebentação das ondas definido como a razão entre a altura da onda e a profundidade da coluna de água, varia entre 0.78 e 0.82 (Goda 2010). Se considerarmos as ondas de 3 m que caracterizam presentemente as tempestades associadas a agitação de WSW (Costa *et al.* 2001), a coluna de água sobre a restinga arenosa em formação deveria ter sido pelo menos de 4 m para que os sedimentos não fossem remobilizados. Assumindo que não se verificou movimentação tectónica nem eventos erosivos significativos, durante a fase final de acreção sedimentar da restinga arenosa em análise, cujo topo se encontra a -14 m, o NMM teria de estar pelo menos a cerca de -10 m relativamente ao presente.

Uma vez que a paleo-restinga arenosa se encontra cimentada por carbonato de cálcio e carsificada, teve necessariamente de ter ficado exposta a alteração sub-aérea

após a sua formação. Durante o Último Glacial (18 ka) a plataforma continental ficou emersa, pelo que a fase de cimentação e carsificação deverá ter ocorrido nesse período, o que remete a gênese da restinga arenosa para um evento climático anterior. Uma possível hipótese é a de que a formação da restinga arenosa tenha ocorrido durante o OIS3, entre os 25 ka e os 30 ka associado a um nível elevado do mar. Gracia *et al.* (2008) indica que entre 20-30 ka, o nível médio do mar estaria acima de -30 m relativamente ao atual no golfo de Cádiz. Além disso, Dabrio (Dabrio *et al.* (2000) também indica um nível do mar elevado entre os 25-30 ka para o sudoeste espanhol (Cádiz e Huelva), sem atingir a cota atual. Ainda, o preenchimento sedimentar do estuário do Rio Guadiana revelou que os primeiros sedimentos estuarinos anteriores a ca. 17 ka BP (ca. 23m abaixo do NMM), são provavelmente do OIS3 ou OIS 5 (Boski *et al.* 2002). Na costa atlântica dos EUA, encontram-se formações associadas ao *middle Wisconsin* (OIS3) que apontam o nível do mar a uma cota próxima da atual (-15 m) (Rodrigues *et al.* 2000).

Assim, a idade obtida de 17581 BP para a cimentação da paleorestinga está provavelmente sub estimada, o que pode ser explicado por contaminação da amostra por atividade biogénica. Deste modo, é necessário investir em novas campanhas de amostragem a fim de se colher um maior número de amostras, tanto para a obtenção de novas datações como para caracterização e análise textural.

Em termos arqueológicos, esta hipótese poderia explicar as explorações de recursos marinhos no sítio de Vale Boi, situado no concelho de Vila do Bispo, defendido previamente por Bicho (2004). O sítio arqueológico de Vale Boi (Fig. 5) situa-se a cerca de 2,5 km da atual linha de costa, num declive de uma zona de vale fluvial aberto, e caracteriza-se por diferentes explorações de recursos alimentares marinhos ao longo da pré-história. O sítio é composto por uma longa sequência cronológica, incluindo todo o Paleolítico Superior desde o Gravetense Inicial ao Magdalenense Tardio (Bicho & Haws 2007, 2008).

Nos níveis Gravetenses, situados temporalmente entre 33-24 ka Cal BP (Bicho *et al.* no prelo), há uma grande utilização de recursos marinhos, sobretudo moluscos, diminuindo durante o Solutrense, já próximo do último máximo glacial, retornando a ter grande importância apenas durante o Mesolítico, há aproximadamente 9 ka (Bicho & Haws 2007, 2008).

Neste sentido, esta questão indicaria que as explorações dos recursos marinhos estariam, entre outras questões, relacionadas com as distâncias entre o sítio arqueológico e a linha de costa, sendo que durante o gravetense o nível do mar estaria mais elevado e a linha de costa deveria estar ainda próximo o suficiente para a exploração destes recursos, declinando nas etapas posteriores devido ao rebaixamento do nível do oceano e sua consequente maior distância entre o sítio arqueológico e a linha de costa.

Utilizando o SIG e o MDT do Algarve e simulando um nível médio do mar durante o Gravetense na cota atual dos -25 m de profundidade (valor mínimo), a paleolinha de costa estaria nestas condições a pouco mais de 1 km da linha de costa atual devido a morfologia submarina da zona próxima ao sítio de Vale Boi, composta por um declive

mais acentuado. Por outro lado, aplicando o mesmo princípio a profundidade de -10 m, a linha de costa estaria a pouco menos de 0,5 km da linha de costa atual. Desse modo, aplicando a hipótese discutida anteriormente, permite-se supor que para o Gravetense, a linha de costa estaria a aproximadamente 3 km de distância do sítio de Vale Boi (Fig. 5).

## 6. CONCLUSÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica são uma ferramenta de extrema importância para a investigação paleoambiental, na medida em que permite a deteção de morfologias de interesse para investigação, como plataformas e ruturas de declives, assim como a identificação de paleocanais do sistema de drenagem de um determinado local de análise.

Este trabalho foi desenvolvido, sobretudo, sobre um modelo digital de terreno. Neste sentido, este apresentou-se de grande importância, possibilitando revelar mais pormenores da zona de pesquisa. Contudo, seria de grande importância, a fim de fornecer maiores detalhes da região, a construção de modelo de terreno com maior definição, principalmente em relação a batimetria, através de utilização de sistemas de deteção remota de maior resolução espacial.

No entanto, os dados preliminares aqui apresentados, baseados sobretudo na morfologia da região e nas análises granulométricas, que o cordão litoral identificado na Baía de Armação de Pêra deve ter se formado antes do Último Máximo Glacial. Pelas diversas evidências apontadas, parece razoável supor que a formação deste sistema se deu no MIS3, a aproximadamente 30 ka BP, num período onde poderíamos situar o nível do mar entre -25 e -10 m de profundidade.

Deste modo, tendo em conta os dados e conclusões preliminares aqui apresentados, a região de Armação de Pêra apresenta grande potencial para a reconstrução paleoambiental, sobretudo acerca do nível do mar e da linha de costa, além de sua grande importância para a relação com a Arqueologia durante a pré-história, sendo necessárias maiores investigações nesta região.

**AGRADECIMENTOS:** Este trabalho insere-se no projeto de investigação – *A evolução da linha de costa algarvia sob uma perspectiva arqueológica* (SFRH/BD/47538/2008), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal.

Agradecimentos a Miguel Rodrigues (Divespot Lda – [www.divespot.com.pt](http://www.divespot.com.pt)) e Pedro Neves (Centro de Mergulho da Universidade do Algarve) pela cedência de amostras e imagens subaquáticas da zona de estudo e Projecto PTDC/CTE-GIX/111230/2009 (EROS).

## BIBLIOGRAFIA

Allen J.R.L. 1965. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology* 5: 89-191.

Azevedo M.T.M.1983. *Exoscopia. Textos e Documentos de Apoio ao Ensino*. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 24 p.



- Bicho N.** 2004. As comunidades humanas de caçadores-recolectores do Algarve Ocidental: Perspectiva Arqueológica. In: L.C. Cardoso, A.A.Tavares & M.J.F. Tavares (eds.) *Evolução Geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*, Lisboa: Europress: 359-396.
- Bicho N.F. & Haws J.** 2007. Sea level changes and the impact on Late Pleistocene and Early Holocene Portuguese Prehistory. In: N. Bicho (ed.) *From the Mediterranean basin to the Portuguese Atlantic shore: Paper in Honor of Anthony Marks. Actas IV congresso de arqueologia peninsular*. Promontoria monográfica 07. Faro: Universidade do Algarve: 37-56.
- Bicho N.F. & Haws J.** 2008. At the land's end: Marine resources and the importance of fluctuations in the coastline in the prehistoric hunter-gatherer economy of Portugal. *Quaternary Science Reviews* 27 (23-24): 2166-2175.
- Bicho N.F., Haws J. & Marreiros J.** no prelo. Desde el Mondego al Guadiana: la ocupación Gravetiense de la fachada atlántica portuguesa. *Actas do congresso El Gravetiense Cantábrico*. Altamira: Museo de Altamira.
- Bird E.** 2008. *Coastal Geomorphology: an introduction*. Second Edition. Chichester: Wiley ed.
- Blott S.** 2010. *GRADISTAT: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer* (v. 4.0).
- Boski T., Moura D., Veiga-Pires C., Camacho S., Duarte D., Scott D. & Fernandes S.G.** 2002. Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150: 103-122.
- Câmara G., Davis C. & Monteiro A.M.V.** 2001. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, DPI/INPE.
- Câmara G., Souza R.C.M., Freitas U. M. & Garrido J.** 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics* 20 (3): 395-403.
- Ciavola P.** 1997. Coastal dynamics and impact of coastal protection works on the Spurn Head spit (UK). *Catena* 30: 369-389.
- Costa M., Silva R. & Vitorino J.** 2001. Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *2<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Sines: Associação Nacional de Navegação, 20 p.
- Costas S. & Fitzgerald D.** 2011. Sedimentary architecture on a spit-end (Salisbury Beach, Massachusetts): The imprints of sea-level rise and inlet dynamics. *Marine Geology* 284: 203-216.
- Dabrio C.J., Zazo C., Goy J.L., Sierro F.J., Borja F., Lario J., Gonzales J.A. & Flores J.A.** 2000. Depositional history of estuary infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain). *Marine Geology* 162: 381-404.
- Davis Jr, R. & Fitzgerald D.** 2008. *Beaches and coasts*. Oxford: Blackwell publishing.
- Dias J.M.A.** 1988. Aspectos geológicos do Litoral Algarvio. *Geonovas*, 10: 113-128.
- Dias J.M.A., Boski T., Rodrigues A. & Magalhães F.** 2000. Coast line Evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until Present – A Synthesis. *Marine Geology* 170: 177-186.
- Dias J.A.** 2004. A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios. In: L.C. Cardoso, A.A. Tavares & M.J.F. Tavares (eds.) *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*. Lisboa: Europress: 157-170.
- Flemming B.W.** 1977. *Depositional processes in Saldanha Bay and Langebaan Lagoon*. PhD thesis, Faculty of Science, University of Cape Town, 215 p.
- Fournier J., Etienne S. & Le Cam J.B.** 2010. Inter- and intraspecific variability in the chemical composition of the mineral phase of cements from several tube-building polychaetes. *Geobios* 43:191-200.
- Goda Y.** 2010. Reanalysis of regular and random breaking wave statistics. *Coastal Engineering Journal* 52 (1):71-106.

- Gracia F.J., Rodríguez-Vidal J., Cáceres L.M., Belluomini G., Benavente J. & Alonso C.** 2008. Diapiric uplift of an MIS 3 marine deposit in SW Spain: Implications for Late Pleistocene sea level reconstruction and palaeogeography of the Strait of Gibraltar. *Quaternary Science Reviews* 27: 23-24.
- Infantini L.R.** no prelo. Sistema de Informação Geográfica para a Pré-história do Algarve. *Actas da IV Jornadas de Jovens em Investigação Arqueológica*, Faro: Universidade do Algarve.
- Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A. & Guevara E.** 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m. Disponível em: <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Jewell P.W.** 2007. Morphology and paleoclimatic significance of Pleistocene Lake Bonneville spits. *Quaternary Research* 68: 421-430.
- Lindhorst S., Betzler C. & Hass H.C.** 2008. The sedimentary architecture of a Holocene barrier spit (Sylt, Germany Bight): Swash-bar accretion and storm erosion. *Sedimentary Geology* 206: 1-16.
- Komar P. D.** 1976. *Beach processes and sedimentation*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Luís J.F.** 2007. Mirone: a multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers & Geosciences* 33: 31-41.
- Luis J.F.** 2010. GMT grid with the topo and bathymetry of the Algarve at ~50 m. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~jluis>.
- Matos J.** 2008. *Fundamentos da Informação Geográfica*. Lisboa: Lidel Edições Técnicas, 5ª edição.
- Moura D., Veiga-Pires C., Albardeiro L., Boski T., Rodrigues A.L. & Tareco H.** 2007. Holocene sea level fluctuations and coastal evolution in the central Algarve (southern Portugal). *Marine Geology* 237: 127-142.
- Ponzi V.R.A.** 2004. Sedimentação Marinha. In: J.A.B. Neto, V.R.A. Ponzi & S.E. Sichel (eds.) *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- Quantum Gis Development Team** 2011. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Rodriguez A.B., Anderson J.B., Banfield L.A., Taviani M., Abdulah K. & Snow J.N.** 2000. Identification of a -15 m middle Wisconsin shoreline on the Texas inner continental shelf: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 159:25-43.
- Simms A.R., Anderson J.B. & Blum M.** 2006. Barrier-island aggradation via inlet migration: Mustang Island, Texas. *Sedimentary Geology* 187 (1-2): 105-125.
- Tanner W.F.** 1995. *Environmental clastic granulometry*. Florida Geological Survey. Special publication N° 40.
- Teixeira S.B.** 2002. Geomorfologia da zona submarina ao largo de Armação de Pêra (Algarve-Portugal). *Actas da V Jornadas de Silves, 30-31 de Outubro de 1999*. Silves: Associação de Estudos e Defesa do Património Histórico-Cultural do Concelho.
- Teixeira S.B. & Pinto C.A.** 2002. Idades radiocarbono de calcarenitos emersos e submersos na Baía de Armação de Pêra (Algarve-Portugal). *Actas do XI Seminário Ibérico de Química Marinha*. Faro: Universidade do Algarve.
- Vanney J. & Mougenot D.** 1981. *La plateforme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: Analyse geomorphologique*. Memória dos Serviços Geológicos de Portugal 28. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 145 p.



# GUIDOIRO AREOSO. MEGALITHIC CEMETERY AND PREHISTORIC SETTLEMENT IN THE RÍA DE AROUSA (GALICIA, NW SPAIN)

José Manuel Rey García<sup>1</sup> & Xosé Ignacio Vilaseco Vázquez<sup>1,2</sup>

*“We could have fancied ourselves the first of men  
taking possession of an accursed inheritance”*

Joseph Conrad

**Abstract:** Guidoiro Areoso, a small islet in the middle of the Ría de Arousa, the bigger of the Galician estuaries, has many signs of occupation during prehistoric times. There are at least five megalithic structures (mounds) from Neolithic, and an Early Bronze Age settlement. Most of these remains are in the intertidal zone, since a dune occupies the inner part of the island. This position on the foreshore suggests that there has been a significant variation in the sea level over the past millennia. In this paper we describe all the structures that have been located by now, and analyze the possibility of the islet forming part, in mid-Holocene times, of a peninsula attached to the continent.

**Key-words:** Mid-Holocene; Neolithic; Bronze Age; Sea level change.

**Resumo:** Guidoiro Areoso, um pequeno ilhote no meio da Ría de Arousa, apresenta numerosos indícios duma importante ocupação durante a pré-história. Documentaram-se, pelo menos, cinco estruturas megalíticas (mamoas) do Neolítico e um povoado da Idade do Bronze Inicial. A maior parte das evidências acham-se na área entre marés, já que o interior da ilha está ocupado por uma duna. Esta posição, na beira-mar, permite supor que se produziu uma importante variação no nível do mar nos últimos milénios. Neste trabalho apresentam-se as estruturas arqueológicas descobertas e avalia-se a possibilidade de que o ilhote formasse parte, durante o Holocénico médio, de uma península unida ao continente.

**Palavras-chave:** Holocénico médio; Neolítico; Idade do Bronze; Variação do nível do mar.

## 1. GUIDOIRO AREOSO 1988-2011. STORY OF AN EROSION

Guidoiro Areoso (municipality of A Illa de Arousa, Pontevedra province) is a small islet placed in the middle of the Ría de Arousa, being the largest of all that belong to what has been called Ría and Os Guidoiros archipelago. Placed nearly 1.400 m off Illa de Arousa, it is just 600 m long from north to south, less than 200 m at its wider point from east to west and only 9 m over the sea level in its highest spot. It has two different

---

<sup>1</sup> Servizo de Arqueoloxía. Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria. Xunta de Galicia. San Domingos de Bonaval, s/n. 15703 Santiago de Compostela. Spain. E-mail: jose.manuel.rey@xunta.es

<sup>2</sup> Grupo de Estudos para a Prehistoria do NW Peninsular. Departamento de Historia I. Universidade de Santiago de Compostela. Praza da Universidade, 1. 15782 Santiago de Compostela. Spain. E-mail: ignacio.vilaseco@usc.es

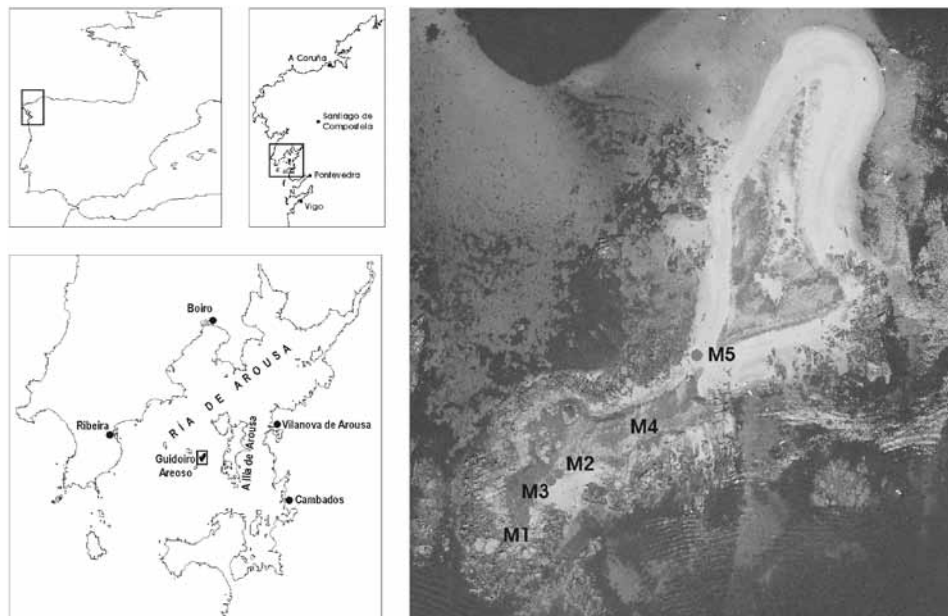


Fig. 1 – Location of the islet of Guidoiro Areoso and position of the mounds which are known in the area.

parts separated by a narrowing of its width: the northern, which is nearly completely covered by an active sand dune, and the southern, in which granite outcrops mixture with a vegetated dune, apparently inactive.

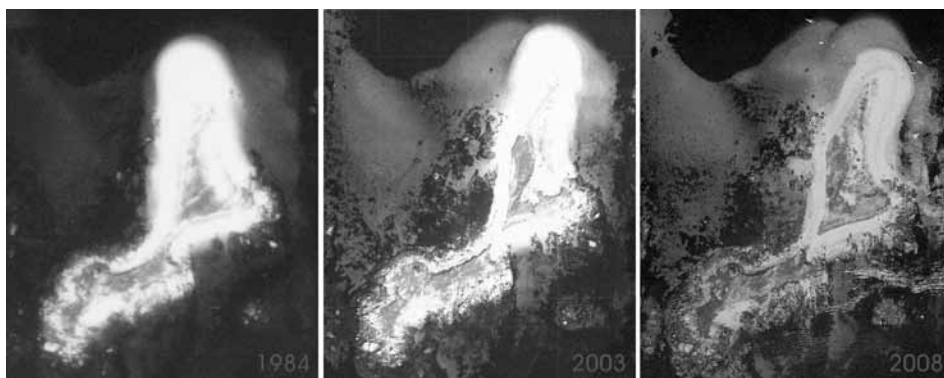
Several references on oral megalithic chamber and on a few pottery sherds, including bell beaker, have called attention to the archaeological importance of the site. The islet was the aim of a research project conducted between 1988 and 1990 by one of us (Rey 2011). It involved surface and underwater field survey, test pits, and two small open area excavations. Three phases were defined in the occupation of the site: 1) a funerary use in Late Neolithic, with three mounds related to the megalithic local tradition, two of which were investigated. Some pottery sherds found in several places of the islet may be evidences of contemporary inhabitation that could not be valued conclusively; 2) a Bronze Age seasonal occupation, with evolved forms of beaker pottery, metal artefacts and plentiful food waste and 3) a natural sedimentation process without human intervention that masks the structures, and involves the accumulation of bones of rodents and coastal birds. Part of roman amphorae was found on top of the sequence, probably from a nearby flotsam, and marks the end to the sequence.

There is no later evidence of human occupation at Guidoiro Areoso, although the site was frequently visited, as the numerous traces of traditional granite quarrying prove, probably, belonging to recent times, not older than medieval ages.

For the last ten years the islet has been the subject of an important alteration, as its sands are very variable, corresponding to a sand dune environment. Tidal and storm action are changing dramatically the site and as a consequence of this, at least since 2005 the top

of two standing slabs could be seen on the western beach, apparently a new megalithic construction covered by the sand, as we could see ourselves in 2007.

At the beginning of summer 2011 was reported that a full dolmen was visible in a profile of Guidoiro Areoso. This information took us back to the islet, allowing to check the important reduction of the sandy areas, both on the northern sand dune, which had been significantly reduced in height and extension, and on the southern beaches, where more than 40 cm of sand had disappeared only from 2007. The sequence of aerial photographs in figure 2 is clear enough to understand this heavy erosion process.



**Fig. 2** – Aerial photographs showing the evolution of the degradation of sandy areas in Guidoiro Areoso from 1984 to 2008.

Throughout summer 2011 we could identify in our visits that there are at least five megalithic structures at Guidoiro Areoso, most in a very precarious condition due to the erosion in recent years. Three were previously known, but the one found but not excavated in 1988-1990 project had lost nearly half of the mound, and the megalithic chamber was totally exposed to the action of the sea. The fourth corresponds to the two standing slabs at the beach known from 2005, but as most of the sand had disappeared, now all the structure of the tomb could be seen in the foreshore. The fifth is a totally new structure located virtually next to one of the open area excavations made in the 80's, emerging now in the sand because of the intensive erosion. Moreover, all over the borders of the islet there are small areas of paleosols, under the sand dunes and in the intertidal zone, all with large numbers of prehistoric pottery, bones and shells, evidence of a significant prehistoric occupation of the islet.

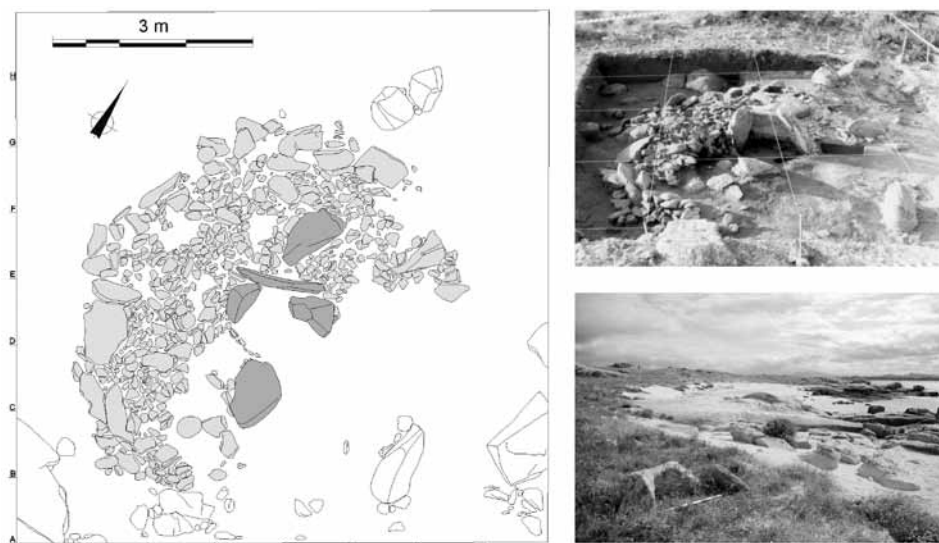
No archaeological fieldwork has taken place in 2011 but the documentation of the new structures and finds. Trying to avoid the sea erosion over the megalithic chamber in the profile (mound 4) a stone wall protection was built in September by the Servicio Provincial de Costas de Pontevedra from Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Gobierno de España), owner of the island, under the surveillance of the Servizo de Arqueoloxía from Xunta de Galicia.

## 2. THE MEGALITHIC NECROPOLIS

At least the southern area of Guidoiro Areoso was used in prehistoric times with a clear funerary purpose. As mentioned, there are, at least, five different megalithic monuments, or better yet, mounds, all in its southern part, but might be possible that the sand is masking other similar structures. In fact, just as we are finishing this paper it has been reported the presence of a small stone structure that could be a funerary cist (Manuel Gago, pers. inf.). As monuments 1 and 2 are already published (Rey 2011), we are specially focusing on the new architectures.

### Mound 1

Located on a small platform in the southeast of the islet, the chamber of mound 1 was perfectly visible on the surface in 1988, as is today. It was investigated in 1989, revealing a small polygonal funerary structure, only 1.10 m wide, formed by six slabs, only three in its original position, and possibly a capstone, that was missing. A small barrow, also very low, surrounded it, made of earth and covered with a layer of embedded stones (cuirass). Sea erosion had made disappeared half of it, even though the monument is relatively far from the intertidal zone. Despite of this, it can be inferred a diameter of only 5,80 m, which is too small for a chamber of that size. No significant finds were found related to it.



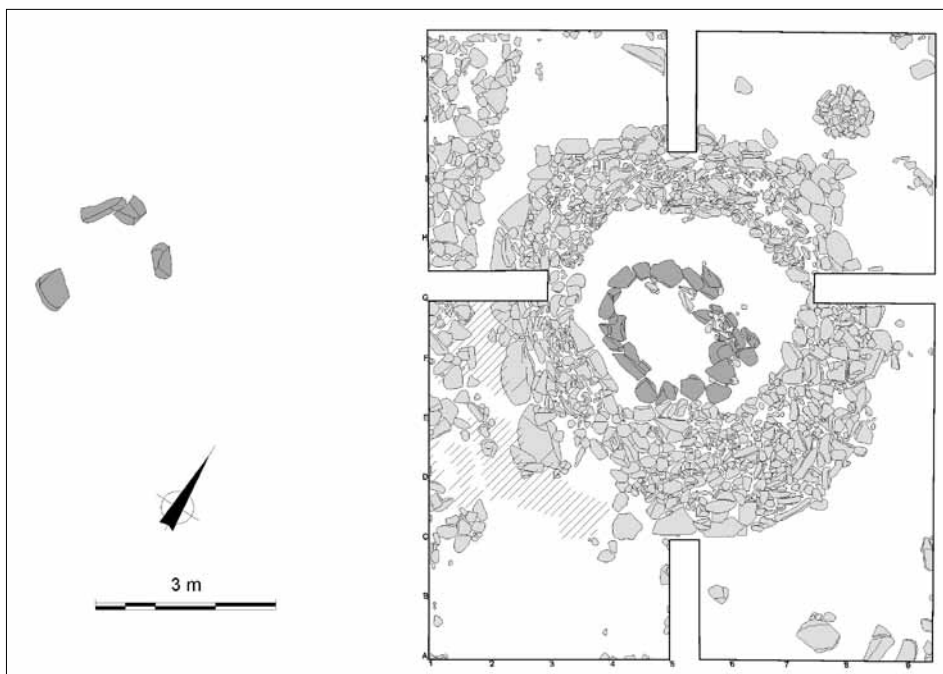
**Fig. 3** – Mound 1: plan and photography of the excavation area, and present position, out of the intertidal zone.

### Mound 2

One of the test pits made in 1988 exposed a stone structure two meters deep under a thick sandy sediment, so there was no evidence of it on the surface.

Subsequent open area excavation revealed that it was part of another tiny funerary monument, with only 7 m in diameter, and not known parallels in NW Iberia. Over twenty small granite slabs, between 20 cm and 50 cm in size, and disposed lying down, formed the small chamber, slightly oblong in plan (1.73 m x 1.50 m). The structure seems unable to bear a big stone cover, as usual, so it is possible that there was no cover, or, as it has been proposed for some megaliths in central Spain, that it was made of perishable materials.

A small barrow, covered by a dense cuirass of embedded stones, with bigger ones on the periphery, surrounded this strange chamber. Although the structure itself was empty, the monument was related to several pottery vessels, some of them with an incised decoration that is well known in the local Late Neolithic (or Chalcolithic), clearly of a pre-beaker period, and dating more or less to the first half of the III millennium cal BC (*Penha* ware). It seems as if the chamber was looted in prehistoric times, and the offerings were thrown in the periphery of the monument.



**Fig. 4** – Plan of the excavation of mound 2 (right), with the relative position of the chamber of mound 3 (left).

### Mound 3

Because of the loss of sand occurred in recent years in the beach where mound 2 was located, at least from summer 2011 a new megalithic chamber is visible. Four slabs emerge about 40 cm over the sand, arranged in a sub circular disposition of more than 1 m in diameter; the one on the NW is probably the backstone of the chamber. But the most remarkable issue is that one of the slabs is slanted on the contrary as it must be,



in a similar way as they appear in NW Iberian mounds when they have been moved by looting. And this despite the fact that the chamber was until recent years under 1 m of sand. East of the slabs, where the sea continues to erode the beach, there were many pebbles spread in the surface, probably part of the stone cuirass of its mound.

The new structure is just next to the previously known monument, as parts of the plastic that covered the bottom of the area at the end of the excavation were also perfectly visible at that moment. The border of the digging area is in fact less than 4.50 m from the nearest slab of the new chamber. In fact, it is possible that a stone structure that appeared in the excavation, west of mound 2, and without contact with it, is really the edge of the new mound, although evidence is not clear as no slope was detected on the disposition of the boulders. Even if this is not true, we have again a small monument, less than 10 m in diameter.

In our first visits to the islet the chamber was surrounded by vegetated sand, and the spring tide did not reach it. But erosion has been increasing and in January 2012 the chamber was well into the foreshore, and apparently the top of a fifth slab could be seen in the sand.

#### Mound 4

What we call now mound 4 was first detected in 1988, by cleaning a profile on the west of the islet. Although not investigated later, its presence was perfectly clear, as it



Fig. 5 – Detail of the chamber of mound 4, and, in the inset, the barrow in 1988.

was identified the stone cuirass of the structure (Rey 1991). In recent years the sea has been eroding the monument so nearly half of it has disappeared, and now one of the sides of the central funerary structure is perfectly visible in the profile.

It consists surely of an elongated, nearly rectangular, chamber, with 2,60 m long, a width unknown as part of the structure is still covered by the barrow, and 1,50 m in high. Three slabs in one of the longest side, the only one that is completely exposed, compose it. To the right there is another one, only its edge visible, in perpendicular disposition to the rest, the backstone, as it is in the NW, disposed with an important inclination so that the other slabs rest on it. On the left, the edge top of another big slab is visible, probably the one that worked as door when the tomb was sealed. Some small slabs lay on the sand near the structure, and were probably used to seal the interstices between the orthostats.

Over the standing stones comes out the capstone of the chamber. It is 1.80 m long, and only lies over the lateral slabs, not over the capstone or the door. It seems that has completely fallen inside the chamber, breaking at least in two pieces, because of the weight of the sand dune over it. Although the chamber has been partially emptied by the sea action, as spring tides reached it, there is no evidence of desecration at all, so it seems undisturbed since its original sealing in prehistoric times.

To the right of the chamber, the profile shows a precise section of the mound, made of black earth. The cuirass can be distinguished as a line of stones starting at mid-height of the backstone and descending to the ground as it recedes from it. Apparently, it seems no bigger than 10 m in diameter, and 1.20 m high, so the backstone projects over it in 80 cm. Over the mound, there had been some sedimentation before the establishing of the dune.

## Mound 5

At least from 2005 two slabs standing at a right angle were visible in the western beach, virtually in the isthmus that joins the two parts of the islet. In summer 2011 more than 40 cm of sand were missing, and all the preserved structure of the mound was visible in the intertidal zone. The megalithic chamber was formed at least by six granite orthostats, although only two stand in its original position. The tallest is 1.25 m

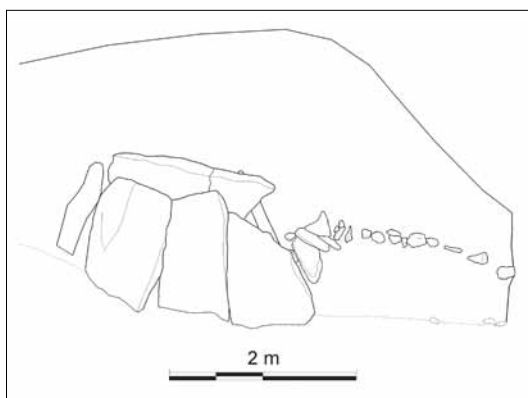


Fig. 6 – Section of mound 4 as seen in the profile of the islet in summer 2011.

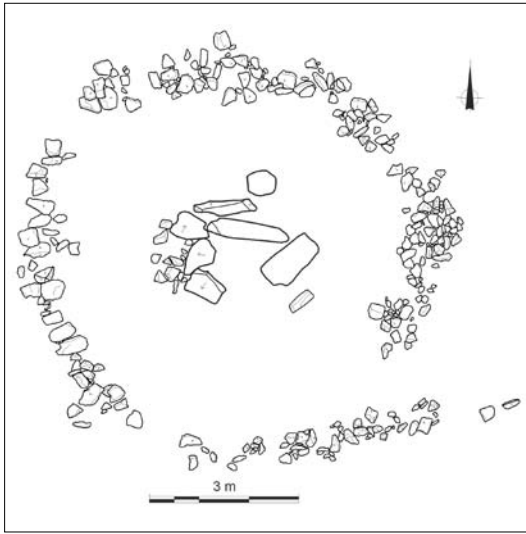


Fig. 7 – Plan of the structures of Mound 5, emerging from the sand of the beach in the summer of 2011.

high from the soil, and appears to be again the backstone. The other four, together with another small slab, lie fallen north of them. As one is 1.50 m high, it is not possible that, at least this was in a vertical position when the mound was first identified. All the slabs are in the centre of a ring of small stones, 30-50 cm in size, which was surely the limit of a mound of only 8.50 m in diameter, as some of them are still arranged with some slope. All the earth had disappeared, apparently not in recent years, as the stones were still partially covered by sand.

### Guidoiro Areoso in NW Iberian megalithic context

The features of the mounds located in the islet make them outstanding when compared to what we know about this kind of monuments in the NW (Fábregas & Vilaseco 2006). Some of them, obviously, are common with the rest of the area: the presence of a cemetery of at least five mounds in less than 250 m in a straight line is not strange, as is also nearly a norm the construction of circular mounds, built with earth and small stones. Polygonal (M1) and elongated (M4) chambers are also common.

The first striking characteristic is the small size of all barrows, between 6 and 10 m, as normally they are more diverse and, as far as we know, bigger when holding megalithic chambers similar to mounds 4 and 5, or even mound 1. In two cases (1 and 4) the megalithic structure is not completely covered by the mound, a situation that we only normally have in the biggest passage graves of the area, not in the smallest and without corridor like these. Their limited monumentality is also decreased by their construction very near to granite outcrops. All this makes them have a limited presence in the landscape. Moreover, mound 2 is completely unusual, as no parallels are currently known for this peculiar structure.

The atypical features mentioned make it difficult to establish a hypothetical chronology for the mounds, as scarce finds have been retrieved related to them, and three have not been investigated yet. This is more delicate as barrow construction is in NW Iberia a long-spanning tradition, starting in the second half of the V millennium cal. BC, and extending throughout the next centuries nearly to the end of the Bronze Age, at the end of the II millennium cal. BC (Fábregas & Vilaseco 2006). And, what

is more, in this timespan new monuments are often raised next to the previous ones, setting the present cemeteries.

We have already mentioned that the strange structure of mound 2 was related to pre-beaker Late Neolithic pottery. If the stone structure found west of it is part of mound 3, it is possible that this could have been built later than the former, based on the partial stratigraphic evidence of 1990 excavation. Nevertheless, the chamber seems in fact a more classical structure, even earlier than mound 2. No chronological information was retrieved from the digging of mound 1, and little can be said about mound 5, because of its condition. Chamber of mound 4 seems an ancient monument, belonging to the V or IV millennia, but this cannot be stated with certainty, as we know very few later well-preserved structures.

### 3. THE PREHISTORIC SETTLEMENT

Although a natural sedimentation covers most of the island, hindering the observation of archaeological remains, it is common to find prehistoric sherds scattered on the beaches of the south of Guidoiro Areoso, as a result of tidal action. The presence of animal bones and shells is also frequent. They are always related to the emergence of paleosols, both under the sand dunes in the foreshore, and in the intertidal zone. It is probable that its presence in the northern part of the islet is masked by the active sand dune.



**Fig. 8** – Mound 5 from south; the black area in the background is a big fragment of paleosol with prehistoric material. In the inset, the slabs as emerging in the sand in 2007.

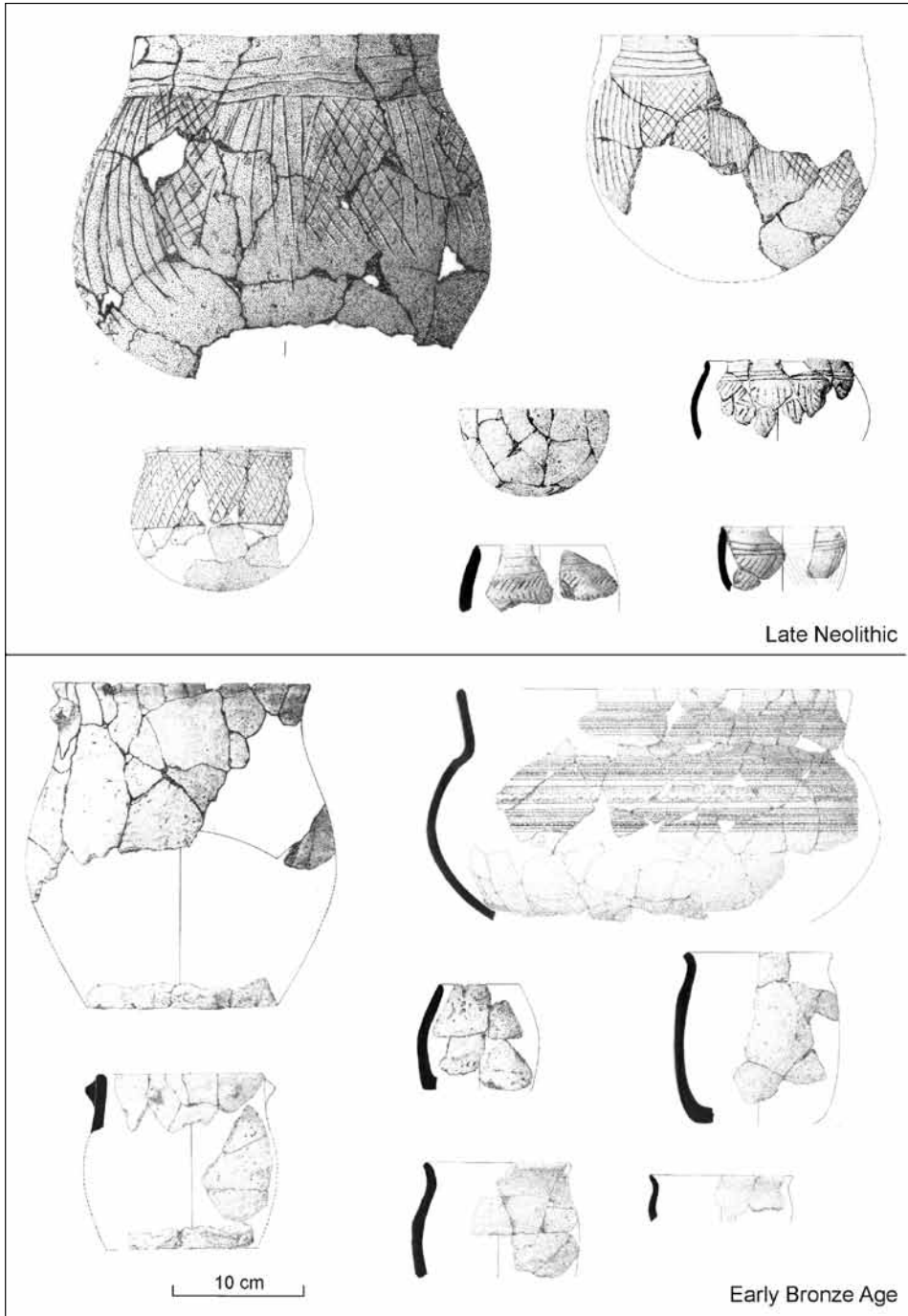
The relationship of prehistoric finds to these paleosols was clearly established with the test pits opened in several points of the islet in 1988 investigation, as they were always found in a buried dark-black in colour soil, varying between 5 and 30 cm depth. All of them can be related to Late Prehistory; considering some sherds retrieved in the pits, and one big fragment of an incised decorated vessel found south of barrow 4 in 2011, it is possible that there was a settlement contemporary to mound 2, from the first half of the III millennium cal BC. But occasional or permanent occupation of the site lasted at least to Early Bronze Age.

The excavation of the area where mound 2 was found revealed that over the structure, once it was looted, derelict, and partially covered by the sand, a prehistoric settlement was placed at this point. Pottery is completely different to the one related to the mound, with a lesser quality except for the Beaker decorated fragments. Textures are little homogeneous, with non-plastic inclusions big in size. Capacity is also different, and several vessels have been exposed to fire, indicating a cooking purpose. Forms are now composed and bigger, including large containers. Decoration is plastic, and, less frequently, there are impressed beakers and some organizations that remember the *Penha* style.

Apart from pottery, some other objects were retrieved, like a small bone awl and lithics, including some polished tools, a small flint blade and several granite stones with one cup-mark in one or two of their sides. There were also two small metallic awls, that brought the site among those with the earliest bronzes in the Iberian Peninsula, together with others known in the NW, like Fixón-A Costa da Seixeira in Galicia, and Sola, Fraga dos Corvos or Bouça da Cova da Moura in Northern Portugal (Comendador *et al.* 2008), all dating to the first half of the II millennium cal BC. A first analysis using Energy Dispersive X-ray Fluorescence (ED-XRF) showed tin percentages higher than 20wt%, but a revision using time-of-flight (TOF) neutron diffraction measurements revealed that in fact they are about 10wt%.

Food waste was also plentiful, which is unusual in NW Iberian contexts, and allowed us to get some information about the diet in the site. Meat came from the mean domestic animals –cow, ovicaprines and pig–, which were usually slaughtered as adults. Although bones are badly damaged, butchery marks and evidence of fire have been identified. Bones of two wild species were also identified, a lagomorph and a Mediterranean monk seal, but they are probably intrusions, as no human manipulation was recognized on them. Shellfish formed also part of the diet, mostly two bivalves (*Ostrea edulis* and *Mytilus galloprovincialis*) and one univalve (genus *Patella*), which could be collected in sandy bottoms or rocky areas next to the site.

Pottery finds and metal objects are clearly related to the Early Bronze Age. Unfortunately, only one radiocarbon date was obtained for this settlement, from shells of *Ostrea edulis* (GrN-16108: 4020±40 BP). Considering the problems of dating shells, we have calibrated it using the  $\Delta R$  value estimated by Rubinos *et al.* (1999) for the I millennium cal BC in another site of the Ría de Arousa, setting the occupation between



**Fig. 9** – Some of the pottery vessels related to Mound 2 (Late Neolithic) and to the Bronze Age occupation.

2225-1950 cal BC ( $2\sigma$ )<sup>3</sup>. A similar result, with a wider span, was obtained by Antonio Monge Soares using another  $\Delta R$  value (Comendador & Bettencourt, forthcoming).

As we have mentioned, this is the later stage known of inhabitation in Guidoiro Areoso, although some occasional activities were made by humans in the next millennia, like shellfishing or quarrying.

#### 4. GUIDOIRO AREOSO IN THE CONTEXT OF THE *RÍA DE AROUSA* DURING THE LAST 7000 YEARS

Despite its limited extent, Guidoiro Areoso provides ample evidence of a dense occupation in prehistoric times, and shows itself as a terrific spot to study sea level changes in the last millennia, as most of the evidence is now on the intertidal zone, in a position that obviously was not the original. It is well known that the Galician *rías* (estuaries) are the result of marine flooding of valleys all over the Holocene, because of deglaciation since the last maximum (Pagés 2000). Despite this, there is no agreement about the evolution of this process, when the present mean sea level (MSL) was reached, or even if this has been higher than now (Dias 2004). Archaeologists, meanwhile, have seen the site, since it was first published, as if it were an island also in prehistoric times, forgetting the important changes that must have happened in the coastline from then.

Nevertheless, in recent years a reconstruction of the relative sea curve evolution during the deglaciation for the NW Iberian Peninsula has been published (Alonso & Pagés 2010). This study shows that the rise of sea level was extremely fast until 7500 cal BP, when the MSL stabilized at about 5 to 7 m below present position. Sea level remained stabilized till 4200 cal BP, with a new acceleration until 3100 BP, when there is a period of 500 years of stabilization before the final rise. Similar information has been recorded with different methodology (Fernández-Mosquera *et al.* 2007). We must remember that most of the megalithic constructions in NW Iberia were raised between 6500 and 4000 cal BP (Fábregas & Vilaseco 2006), and that radiocarbon chronology of the Early Bronze Age settlement in Guidoiro is probably 2225-1950 cal BC (4175-3900 cal BP).

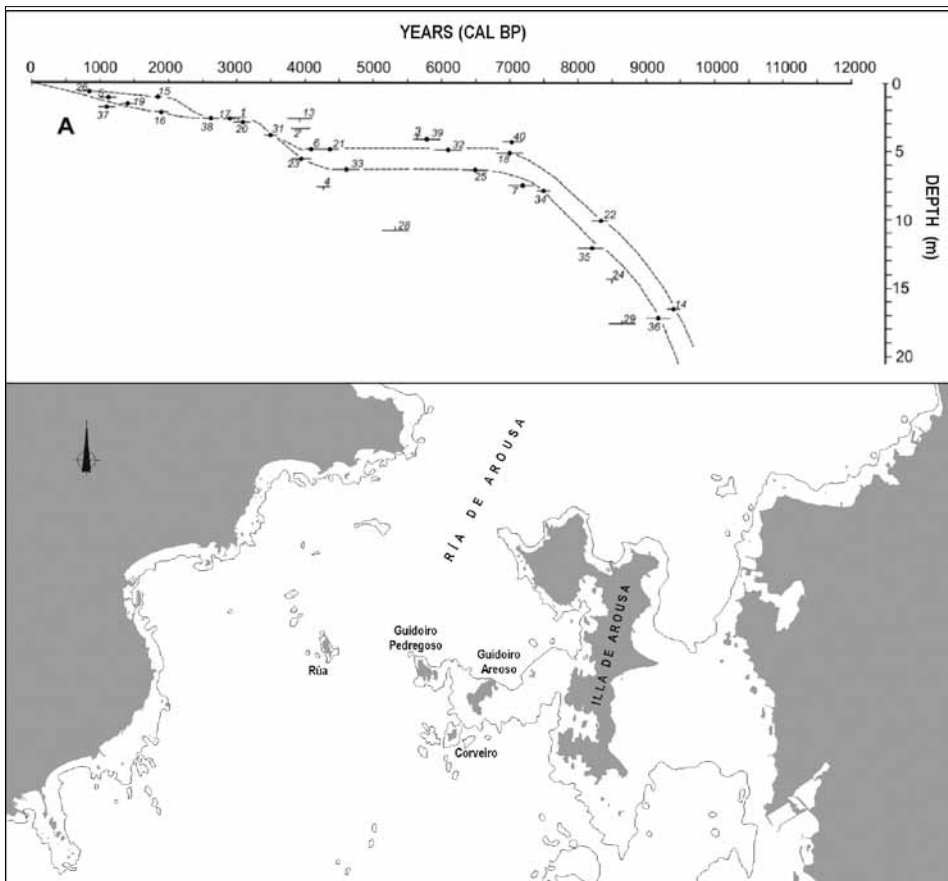
Unfortunately, all the cores studied for the reconstruction of the published curve are in the northern coast of NW Iberia, far from the *Rías Baixas*. Despite this objection, all the information we have for this area seems to confirm the proposed curve. In the *Ría de Vigo*, for example, the presence of a lower MSL has been identified for Roman times (Martínez & Costa, 1997), and fossil trunks dating from about 4600 cal BP were found in the foreshore at Praia de Patos (cit. by Costas 2008). Older information was obtained from Lagoa dos Nenos, the coastal barrier-lagoon system in Illas Cíes, in front of *Ría de Vigo* (Costas 2008; Costas *et al.* 2009). The origin of the lagoon has

---

<sup>3</sup> Calibration has been calculated with the OxCal computer programme, v4.1.7 (Bronk Ramsey 2009) with marine data from Reimer *et al.* (2009). A different value that has been previously published (Fábregas & Vilaseco 2003; Rey 2011) was the consequence of a bad use of the calibration process.

been established about 7700 cal BP as a fresh-water pond in an upland depression, without any marine influence. For this to happen it is necessary that the MSL was at least 4 m below present level, which is similar to results in the northern coast. Marine influence is first detected about 3700 cal BP, moment in which the MSL seems to be for the first time in the Holocene over  $-4$  m from present.

The Ría de Arousa also shows strong evidence of the important changes that have happened in the coast all over the last 7.000 years. A Roman site, Praia do Naso, is now placed at the foreshore of the northern coast of Illa de Arousa, been eroded by the tidal action. In Ladeira do Chazo (Boiro) standing tree-trunks were found under the foreshore, associated with prehistoric pottery, including Beaker, and dating from 4000-4500 cal BP (Fábregas & Rodríguez 2012). And in Os Pericos (Ribeira), the outermost point of the northern bank of the estuary, many changes have been detected for the last millennia (Costa-Casais *et al.* 2012). The site is now a rocky point surrounded by



**Fig. 10** – *Up*: Recent part of the relative sea curve during the deglaciation in NW Iberia (Alonso & Pagés 2010, fig. 5). *Down*: Plan of the Ría de Arousa in the proximity of Guidoiro Areoso showing the present land surface (grey) and the  $-5$  m depth contour. (Source: Mapa Topográfico Nacional de España. S: 1:25.000).



the sea, but at least two sand dunes existed in the past: the western dune was active at least from about 6800 cal BP to 4000 BP, whereas the eastern one was formed in a short period of time, between 2850 and 2700 cal BP. Nowadays there is nearly no evidence of these two sand-dunes, eroded by the sea action, as it is almost lost the Second Iron Age site (probably a hill fort) that was settled over the second one about 2300 cal BP (Vilaseco 2012).

If we have a look now to the topography of Ría de Arousa in the proximity of Guidoiro Areoso, we can see that the 5 m depth contour under the present main sea level surrounds not only Illa de Arousa, but also our islet and Guidoiro Pedregoso, where also prehistoric pottery has been found, and leaves apart Rúa islet, which is in the other side of the channel of the estuary. Taking this into consideration, it is quite probably that in mid Holocene existed in the middle of Ría de Arousa a big peninsula similar to the one there is nowadays in the other bank (Boiro), and so Guidoiro Areoso was in fact linked to the continent during the construction and use of the megalithic cemetery all over Neolithic and Late Neolithic, probably between 6500-4500 cal BP (4500 and 2500 cal BC).

It is also probable that the site was still accessible by foot in the Early Bronze Age, despite the sea level having risen, and thus it is not strange the presence of the livestock that was consumed in the settlement. Probably it became an islet not far from that moment, at the time that a sand dune covered the archaeological remains, protecting them. In all the historical maps of the area both Guidoiro Areoso and Illa de Arousa are always represented as islands, although a sand bar, known as *Areal do Vao* and still practicable during spring tides until the third quarter of the 20th century, linked the second with the mainland.

But we must mention that Guidoiro Areoso also shows signs suggesting that the MSL has been at some time a bit higher than now. We have mentioned that mounds 3 and 5, despite being under the sand until recent years, seem to have been exposed previously, the first one even with evidence of looting, and the second because of the fallen slabs of the chamber. But the clearest evidence is mound 1, with nearly half of the barrow disappeared because of the sea action although it is actually far from the intertidal zone, even now that the sandy areas had reduced significantly.

Guidoiro Areoso has turned thus not only into a splendid archaeological site, but also a great, although unstable, record for the changes occurred in the coast in the last millennia. Unfortunately, if we don't hurry all this information may be hopelessly lost soon, eaten by the force of the sea.

**ACKNOWLEDGMENTS:** The 1988-1990 investigations on the island were conducted by Jose Manuel Rey García as part of the research program of the Museo de Pontevedra, and funded by Concellería de Cultura of Xunta de Galicia. Metal objects have been studied by Beatriz Comendador Rey, and analyzed, first by ED-FRX in the project *Arqueometalurgia de la Península Ibérica*, and later with TOF in Rutherford Appleton Labs., Didcot (UK). Carlos Fernández Rodríguez studied the macrofauna recovered in excavation, and Carlos M<sup>a</sup>. Rodríguez López made the archaeomalacology analysis.

In the 2011 documentation of the new elements we had the invaluable help of Beatriz Comendador Rey, which made most of the field drawings, and María José Bóveda Fernández, with their digitization. We are also grateful to Manuel Gago for his information about the possible new cist he found on January 2012. Andrés Santiago Anaya has revised the English version of the text, but all errors and mistakes are obviously ours.

## REFERENCES

- Alonso Millán A. & Pagés Valcarlos J.L.** 2010. Evolución del nivel del mar durante el holoceno en el noroeste de la Península Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 23 (3-4): 157-167.
- Bronk Ramsey C.** 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51(1): 337-360.
- Comendador B. & Bettencourt A.M.S.** 2011. Nuevos datos sobre la primera metalurgia del Bronce en el Noroeste de la Península Ibérica: la contribución de Bouça da Cova da Moura (Ardegães, Maia, Portugal). *Estudos do Quaternário* 7: 19-31.
- Comendador B., Reboreda S., Kockelmann W., Macdonald M., Bell T. & Pantos M.** 2008. Early Bronze technology at land's end, North-Western Iberia. In: S.A. Paipetis (ed.) *Science and Technology in Homeric Epics. History of Mechanism and Machine Science* 6. Springer: 113-138.
- Costa-Casais M., Martínez Cortizas A., Pontevedra-Pombal X., Berasategui Vinagre I., Ferro-Vázquez C. & Rodríguez Racedo J.** 2012. Evolución holocena del sector costeiro de punta dos Pericos (Ribeira a Coruña). In: R. Fábregas Valcarce & C. Rodríguez Rellán (eds.) *A arte rupestre no Norte do Barbanza*. Santiago de Compostela: Andavira: 153-174.
- Costas S.** 2008. *Origen y evolución del conjunto playa-duna-lagoon de Cíes: (Parque Nacional marítimo terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia)*. Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Costas S., Muñoz Sobrino C., Alejo I. & Pérez-Arlucea M.** 2009. Holocene evolution of a rock-bounded barrier-lagoon system, Cíes Islands, Northwest Iberia. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 1575-1586.
- Dias J.M.** 2004. A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios. In: A.A. Tavares; M.J.F. Tavares & J.L. Cardoso (eds.) *Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenómenos Correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*. Lisboa: Universidade Aberta: 157-170.
- Fábregas Valcarce R. & Rodríguez Rellán C.** 2012. A Prehistoria Recente do Barbanza. In: R. Fábregas Valcarce & C. Rodríguez Rellán (eds.) *A arte rupestre no Norte do Barbanza*. Santiago de Compostela: Andavira: 35-60.
- Fábregas Valcarce R. & Vilaseco Vázquez X.I.** 2003. El Neolítico y el megalitismo en Galicia: problemas teórico-metodológicos y estado de la cuestión. In: V.S. Gonçalves (ed.) *Muita gente, poucas antas? Origens, espaços e contextos do Megalitismo. Actas do II Colóquio Internacional sobre Megalitismo (Reguengos de Monsaraz, 2000)*. Lisboa: Ministério de Cultura: 281-304.
- Fábregas Valcarce R. & Vilaseco Vázquez X.I.** 2006. En torno al megalitismo gallego. In: R. Fábregas Valcarce & F. Carrera Ramírez (eds.) *Arte Parietal Megalítico en el Noroeste Peninsular. Conocimiento y conservación*. Santiago de Compostela: Tórculo: 11-36.
- Fernández-Mosquera D., Vidal-Romani J.R., Sanjurjo-Sánchez J. & Granja H.** 2007. Cronología por OSL del eólico costero y evolución del nivel del mar en el NW Ibérico durante el Cuaternario superior. In: J. Lario Gómez & P.G. Silva Barroso (eds.) *Contribuciones al Estudio del Periodo Cuaternario. Resúmenes XII Reunión Nacional de Cuaternario*. Ávila: 185-186.
- Martínez Cortizas A. & Costa Casais M.** 1997. Indicios de varaciones del nivel el mar en la ría de Vigo durante los últimos 3000 años. *Gallaecia* 16: 23-47.
- Pagés Valcarlos J.L.** 2000. Origen y evolución geomorfológica de las rías atlánticas de Galicia. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 13 (3-4): 393-403.

Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Burr G. S., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac F.G., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., Van der Plicht J. & Weyhenmeyer C.E. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51 (4): 1111-1150.

**Rey García J.M.** 1991. Guidoiro Areoso (Vilanova de Arousa, Pontevedra). *Arqueoloxía. Informes 2. Campaña 1988*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia: 29-32.

**Rey García J.M.** 2011. Guidoiro Areoso (Illa de Arousa, Pontevedra): un pequeno islote con una intensa ocupación entre el Neolítico Final y la Edad del Bronce. In: P. Prieto Martínez & L. Salanova (coord.) *Las comunidades campaniformes en Galicia: cambios sociales en el III y II milenios BC en el NW de la Península Ibérica*. Pontevedra: Deputación de Pontevedra: 201-210.

**Rubinos Pérez A., Fábregas Valcarce R., Alonso Mathías F., Concheiro Coello A.** 1999. Las fechas C-14 del castro de O Achadizo (Boiro, A Coruña): problemática de la calibración de conchas marinas. *Trabajos de Prehistoria* 56 (1): 91-114.

**Vilaseco Vázquez X.I.** 2012. Os Pericos (Ribeira, A Coruña). Bronce Final e segunda Idade do Ferro no extremo meridional da península do Barbanza. In R. Fábregas Valcarce & C. Rodríguez Rellán (eds.) *A arte rupestre no Norte do Barbanza*. Santiago de Compostela: Andavira: 137-152.

# EVOLUÇÃO RECENTE (DÉCADAS DE 1950-2010) DA MORFOLOGIA DOS DELTAS DO CATUMBELA E CAVACO (BENGUELA, ANGOLA)

Pedro A. Dinis<sup>1,2</sup>, Luís S. Silva<sup>1</sup>, João Huvi<sup>1,2</sup>,  
Jorge M. Dinis<sup>1,2</sup> & Pedro P. Cunha<sup>1,2</sup>

**Resumo:** Os deltas do Catumbela e Cavaco estão geneticamente relacionados com o afluxo sazonal de sedimentos fluviais e sua redistribuição sob acção das ondas, revelando uma sucessão de cordões de praia que testemunham anteriores posições da linha de costa. Procedemos a uma análise geomorfológica dos deltas com base em imagens de detecção remota de diferentes idades e perfis topográficos levantados na faixa costeira. A análise morfológica permite propor um modelo evolutivo que envolve fases de intenso acarreo fluvial e fases de redistribuição sedimentar. As fases fluviais, especialmente evidentes durante a estação das chuvas dos anos mais pluviosos, são responsáveis por progradação localizada nas proximidades da embocadura do canal fluvial. Dada a migração da embocadura dos sistemas fluviais, a mais intensa progradação sedimentar teve lugar em diferentes sectores dos deltas. As fases de redistribuição sedimentar são responsáveis pela erosão dos lóbulos deltaicos gerados nas fases fluviais anteriores com consequente afeiçoamento do traçado da linha de costa.

**Palavras-chave:** Delta do Catumbela; Delta do Cavaco; Cordões de praia; Ondulação.

**Abstract: Recent evolution (1950 – 2010 decades) of the morphology of Cavaco and Catumbela deltas (Benguela, Angola)**

The deltas of Catumbela and Cavaco are genetically related to seasonal fluvial sediment supply and its redistribution under the action of waves, being characterized by a succession of beach ridges that testify previous positions of the coastline. We carried out a geomorphological analysis of the river deltas based on remote sensing images of different ages and topographic profiles surveyed in the coastal strip. Morphological analysis allows us to propose an evolutionary model that involves phases of intense river supply stages and of sediment redistribution. The fluvial phases, especially evident during the rainy season of rainy years, are responsible for localized progradation near the outlet. Due to the migration of the river mouth, the most intense progradation took place in different sectors of the deltas. The phases of sediment redistribution are responsible for erosion of the delta lobes generated in previous phases, with consequent smoothing of the coastline.

**Key-words:** Catumbela Delta; Cavaco Delta; Beach ridges; Waves.

## 1. INTRODUÇÃO

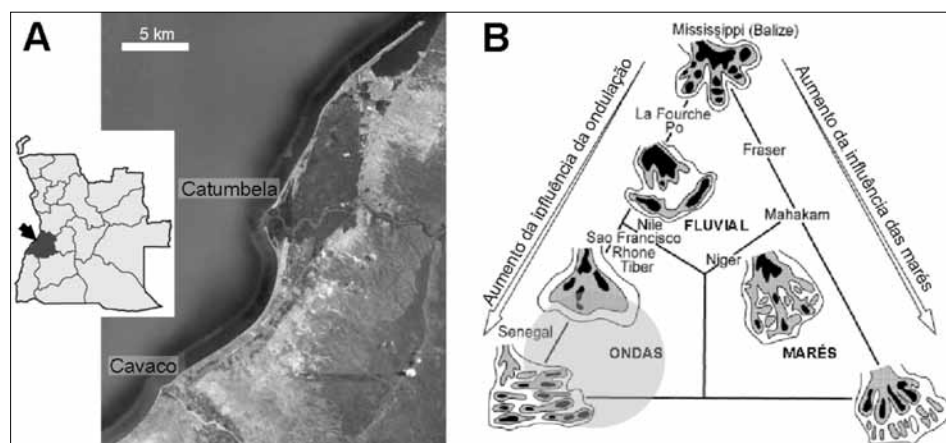
Os deltas do Catumbela e do Cavaco (província de Benguela, Angola) estão associados a rios com grande sazonalidade de caudais, reflectindo as condições climáticas da região, caracterizadas por uma concentração da precipitação numa estação das chuvas que geralmente decorre entre dezembro e abril. Para além da sazonalidade, nos

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

<sup>2</sup> IMAR-Centro do Mar e Ambiente, Coimbra. Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra; E-mail: pdinis@det.uc.pt

últimos anos também se têm notado grandes oscilações na precipitação média anual. As bacias de drenagem do Cavaco e Catumbela (3.930 Km<sup>2</sup> e 16.532 km<sup>2</sup>, respectivamente) estendem-se para o interior de Angola, alcançando áreas elevadas (próximo de 2000 m), onde a precipitação média anual tende a ser muito mais intensa do que no litoral.

Ambos os deltas apresentam uma ligeira assimetria, mais notória no caso do delta do Catumbela (Fig. 1). A assimetria destes deltas é induzida por uma deriva litoral dominante para norte em resposta à orientação prevalente da ondulação (W a WNW, azimutes entre 265° e 295°, com moda de cerca de 278; Abecassis, 1958), também indutora do desenvolvimento da restinga do Lobito (Fig. 1). É também possível inferir períodos de transporte por deriva litoral para sul nos troços costeiros a sul da foz dos dois rios. A génese dos dois deltas relaciona-se, assim, com o afluxo (sazonal) de sedimentos fluviais que, posteriormente são intensamente retrabalhados e redistribuídos sob acção das ondas.



**Fig. 1** – A: Localização da província de Benguela em Angola e dos deltas do Catumbela e Cavaco (imagem do Google Earth); B: Classificação dos deltas do Cavaco e Catumbela (círculo cinzento) segundo o modelo de Bhattacharya & Walker (1992).

*Fig. 1* – A: Location of Benguela province in Angola and of Catumbela and Cavaco deltas (Google Earth image); B: Classification of Cavaco and Catumbela deltas (grey patch) according to the model of Bhattacharya and Walker (1992).

No presente trabalho apresenta-se uma análise geomorfológica das acumulações deltaicas do Cavaco e Catumbela partindo da interpretação de imagens de detecção remota de diferentes idades e de perfis topográficos levantados ao longo da faixa costeira. Com base na análise morfológica propomos um modelo evolutivo para as duas acumulações deltaicas.

## 2. MÉTODOS

A análise morfológica envolveu uma interpretação de unidades morfosedimentares das acumulações deltaicas visíveis em imagens de detecção remota. Foram utilizadas

imagens do Landsat 7 de 1990 e 2000, imagens do Google Earth de 2004 (delta do Cavaco) e 2010 (delta do Catumbela) e fotografia aérea de 1988. As características morfológicas na década de 1950 baseiam-se no esboço geomorfológico de Carvalho (1960) e nas cartas topográficas na escala 1/100.000 do Lobito (nº 228-229 de 1959) e de Benguela (nº 251 de 1958), publicadas pelo antigo Ministério do Ultramar.

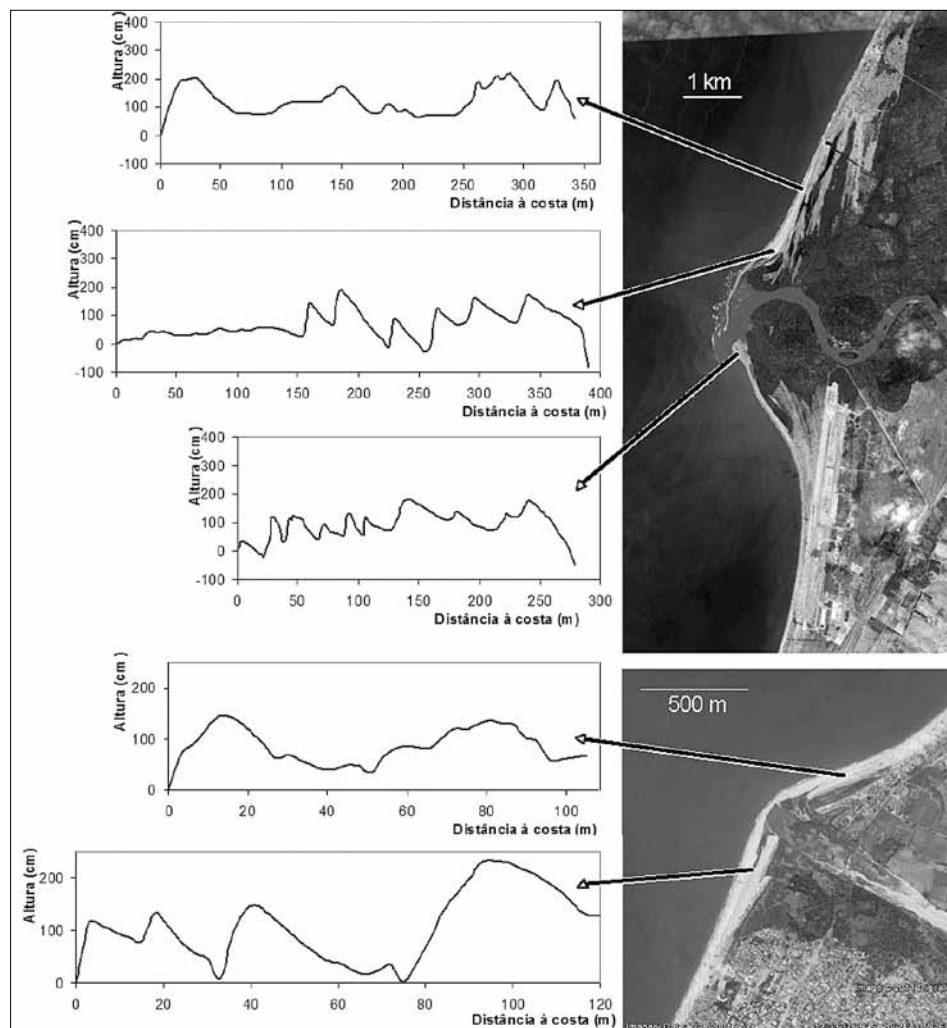
Foram levantados oito perfis topográficos transversais à linha de costa em troços litorais onde se observam vários cordões de praia: dois no delta do Cavaco, em Setembro de 2011; seis no delta do Catumbela entre Abril e Junho de 2011. Para levantar estes perfis topográficos recorreu-se à técnica apresentada em Andrade e Ferreira (2006).

### 3. RESULTADOS

Os deltas do Cavaco e Catumbela revelam uma sucessão de cordões de praia, interrompida nos sectores sob maior influência do canal fluvial (Fig. 2). Para oriente destes cordões litorais tem-se uma área aplanada, geralmente urbanizada ou com ocupação agrícola. Nas proximidades da embocadura podem ocorrer ambientes lagunares ao longo dos sectores deprimidos entre os cordões mais ocidentais. Os sedimentos arenosos são espacialmente dominantes nos sectores mais ocidentais dos deltas, inclusive nos espaços deprimidos entre cordões litorais.

Os cordões de praia identificados nas imagens de satélite integram, por sua vez, uma sucessão de cordões menores que se alargam e individualizam nas proximidades do canal fluvial (até cerca de 75 m de largura) e apresentam uma face mais inclinada virada ao Atlântico, bem preservada nos sectores mais próximos do canal fluvial activo (Fig. 2). Localmente é ainda possível identificar formas menores (barras) desenvolvidas sobre estes cordões. Por vezes existe uma faixa de praia sub-actual relativamente aplanada e larga (> 150 m a norte da foz do Catumbela) a ocidente da sucessão de cordões e nas proximidades da foz dos rios. Em posições mais afastadas do canal fluvial ou mais condicionadas por eventos erosivos recentes (p. ex., a norte da foz do Cavaco), os cordões surgem amalgamados e a sua morfologia assimétrica (face virada ao Atlântico mais inclinada) não é tão evidente (Fig. 2).

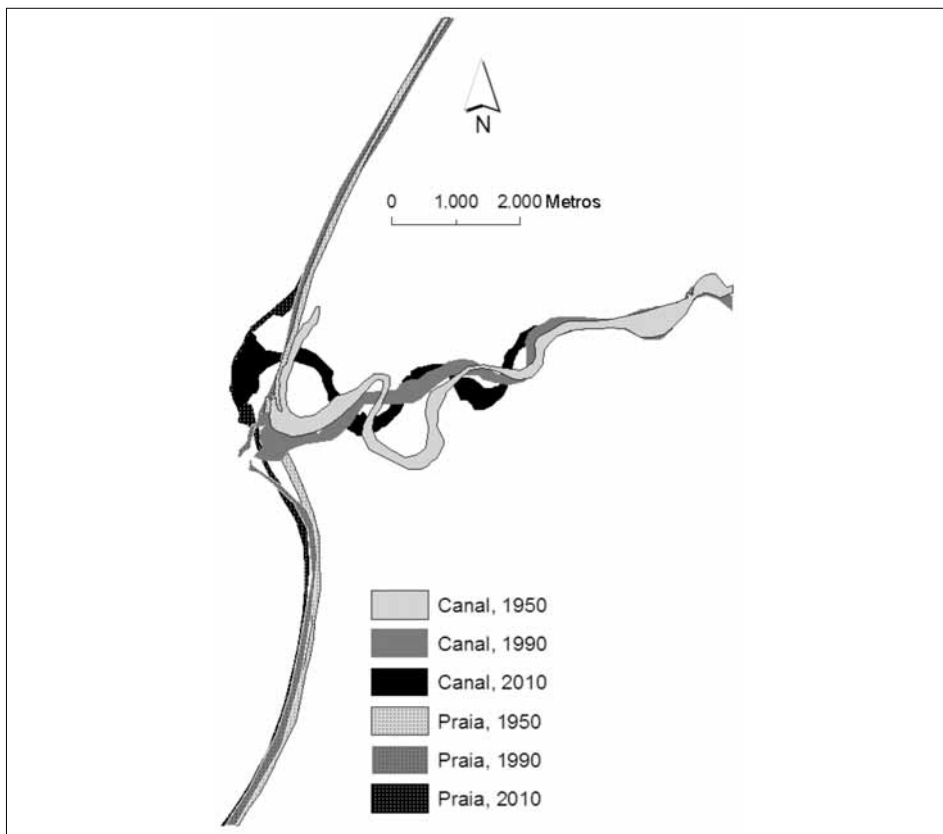
Ambos os deltas são alimentados por canais fluviais simples, sem um sistema distributário. Nas proximidades da foz, os canais do Cavaco e Catumbela são, respectivamente, de tipo entrançado e meandriforme. Os troços distais (ocidentais) dos canais migraram significativamente durante o período de 1950 a 2010. No caso do delta do Cavaco, nota-se uma progressiva deslocação da foz para norte. No delta do Catumbela, os meandros têm divagado na planície deltaica, assumindo diferentes níveis de sinuosidade; conseqüentemente, a foz do Catumbela tanto migrou para norte como para sul (Fig. 3). Em sintonia com a migração da foz dos dois rios ocorreram alterações no traçado da linha de costa, sendo possível reconhecer um alargamento do delta (deslocação da linha de costa para ocidente) nos sectores costeiros imediatamente a norte e a sul da embocadura (Fig. 3). Por outro lado, os locais mais



**Fig. 2** – Imagens de satélite do Google Earth de 2004 (delta do Cavaco, abaixo) e de 2011 (delta do Catumbela, acima), com localização dos perfis topográficos transversais à linha de costa, onde se evidencia a sucessão de cordões de praia.

*Fig. 2* – Google Earth satellite images from 2004 (Cavaco delta, below) and from 2011 (Catumbela delta, above), with the location of topographic profiles transversal to coastline; note the succession of beach ridges.

afastados da embocadura revelam, por vezes, evidências de erosão e recuo da linha de costa. No caso do delta do Catumbela é evidente que o recuo da linha de costa foi especialmente elevado nas áreas em torno de posições anteriores da embocadura (Fig. 3).



**Fig. 3** – Alterações na posição do canal do Catumbela e da faixa de praia adjacente entre 1950 e 2010.

*Fig. 3* – Changes in the position of the channel of Catumbela and the neighbouring shoreline between 1950 and 2010.

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Segundo o modelo de classificação de Bhattacharya e Walker (1992), os deltas do Catumbela e do Cavaco têm características morfológicas típicas de deltas dominados pela ondulação (Fig. 1). Os vários cordões de praia testemunham posições anteriores da linha de costa que tem migrado para ocidente em resposta à progradação deltaica.

A análise morfológica sugere que a evolução dos dois deltas envolve fases de intenso acarreo fluvial e fases de redistribuição desses sedimentos sob acção das ondas, com ritmo sazonal. As fases fluviais são relativamente curtas, ocorrendo em alguns períodos da estação das chuvas, quando os caudais fluviais são maiores. São responsáveis por intensa progradação nas proximidades da embocadura do canal fluvial, desenvolvendo-se então protuberâncias sedimentares que, no caso do Catumbela, avançaram por algumas centenas de metros no sentido do oceano. Devido à migração dos canais fluviais, as maiores taxas de progradação sedimentar ocorreram em diferentes sectores dos deltas. As fases de redistribuição sedimentar serão sazonalmente



mais prolongadas e responsáveis pela erosão dos lóbulos de progradação gerados nas fases fluviais anteriores, com consequente afeiçoamento de irregularidades no traçado da linha de costa. A escassez de sedimentos lodosos entre cordões de praia pode ser explicada por uma grande eficácia dos processos de remobilização sedimentar sob acção das ondas (Bhattacharya & Giosan 2003), com os finos a serem mantidos em suspensão e arrastados para *offshore*.

É de prever que a progradação sedimentar durante a estação das chuvas e localizada nas proximidades da embocadura seja especialmente elevada durante os anos mais pluviosos e de pouca relevância nos anos com menor precipitação. Para testar esta hipótese, os autores têm em curso a monitorização dos processos de progradação localizada e de redistribuição sedimentar e da sua variabilidade sazonal e inter-anual.

## BIBLIOGRAFIA

- Abecasis F.M.** 1958. Les flèches de sable de la côte d'Angola. *Mem. LNEC* 140, 21p.
- Andrade F. & Ferreira M.A.** 2006. A simple method of measuring beach profiles. *J. Coastal Research* 22: 995-999.
- Bhattacharya J.P. & Giosan L.** 2003. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology* 50: 187-210.
- Bhattacharya J.P. & Walker R.G.** 1992. Deltas. *In*: R.G. Walker & N.P. James (eds.) *Facies Models: Response to Sea-Level Change*. St Johns: Geological Association of Canada: 157-177.
- Carvalho G.S.** 1960. Alguns problemas dos terraços quaternários do litoral de Angola. Sep. *Boletim Serv. Geol. Mineiro*, 10p.

# LAND USE EVOLUTION OF THE COAST BLANC CAP TO CANTIN CAP (MOROCCAN ATLANTIC COAST): CARTOGRAPHY BY AERIAL PHOTOGRAPHY ANALYSIS

Khalid El Khalidi<sup>1</sup>, Abdenaim Minoubi<sup>1</sup>,  
Bendahhou Zourarah<sup>1</sup> & Ahmed Aajjane<sup>1</sup>

**Abstract:** The requirement of recent and adequate land use information concerning the Moroccan Atlantic coastal area located between Blanc Cap and Cantin Cap require the development of a land use plan (ULP) adapted to the regional scale. In this study, the interest of the cartography by photo-interpretation analysis allows the acquisition of old data with the aerial photographs from 1954 and also recent data with 2006 aerial photographs. These last are coupled by investigation missions during the 2009 and 2010 years. The resulting ULP allow more accurate results. The comparison between the ULP 1954 and 2006 enabled us to show that human flow was particularly high during this period in this attractive portion of the Moroccan littoral. The type of human activity changes spatially according to the needs of the occupying population.

**Key-words:** Land use plan; Cartography; Photo-interpretation; Coastal area; Human activity; Blanc Cap; Cantin Cap.

**Resumo:** A necessidade de informação recente e adequada sobre o uso do solo na área costeira atlântica marroquina, entre os cabos Blanc e Cantin, requer um plano de uso do solo (ULP) adaptado às escalas regionais. Neste estudo, o interesse da cartografia por análise de foto-aéreas permite a comparação de dados antigos, obtidos a partir das fotografias aéreas de 1954, com dados recentes obtidos a partir das fotografias aéreas de 2006. Estas últimas estão emparelhadas por missões de investigação durante os anos 2009 e 2010. O ULP resultante permite resultados mais precisos. A comparação entre o ULP de 1954 e de 2006 habilita-nos a mostrar que as pessoas se deslocaram intensamente, durante este período, em direção a esta porção atrativa do litoral marroquino. O tipo de atividade humana varia espacialmente, de acordo com a população ocupante.

**Palavras-chave:** Plano de uso do solo; Cartografia; Foto-interpretação; Área costeira; Atividade humana; Cabo Blanc; Cabo Cantin.

## 1. INTRODUCTION

Morocco has a littoral of almost 3500 km, bordered in North by the Mediterranean Sea and in the West by the Atlantic Ocean. In a few decades, because of the strong demographic growth, the rural migration and the successive years of dryness, the Moroccan society become more urban than rural and strongly littoralized. The population has naturally followed this movement to occupy the littoral area and it did not cease increasing, passing from 19% in 1936 to 54% in 2000 (Berriane 2007).

---

<sup>1</sup> Laboratory of Marines Geosciences & Soil Sciences, Unit associated with CNRST (URAC 45). University Chouaib Doukkali, B.P. 20, 24000 El Jadida, Morocco. *E-mail:* elkhalidi\_khalid@yahoo.fr

The cartography by photo-interpretation analysis of the natural environments and human occupation is beneficial because it gives information for a better understanding and management of the coast (Sawadogo *et al.* 2008).

The objective of this cartographic is to achieve the following functions:

- to provide a detailed knowledge of the distribution of the natural environments and installations, on a scale relevant for management;
- to serve as geographical “base reference” with a ecological relevance, for the localization of the human activities in the territory and the description of their interactions;
- to allow an appreciation the major changes of the land use between 1954 and 2006.

## 2. PRESENTATION OF THE STUDY AREA

The area of our study is part of the Moroccan Atlantic coast. It is limited to the West by the Atlantic Ocean and located between Blanc Cap (Jorf Lasfar) and Cantin Cap (Bedouza), on an extent of approximately 100 km of long. This area has approximately a north-eastern/south-west direction. The area comprises diversified geofoms; it is a succession of rectilinear and bay sandy beaches, cliffs which can reach sixty meter height, and two lagoons (Sidi Moussa and Oualidia, considered in 2005 as RAMSAR areas). The study area belongs to the great structural unit named Western Moroccan Meseta. It comprises sedimentary sequences of the primary substratum (base) until Miocene, covered by transgressive Plio-Quaternary deposits (Gigout 1951). The Quaternary is mainly represented by sandy beach deposits.

The sandy beaches alternate with rock headlands (Plio-Quaternary). They are sometimes isolated from the sea by a beach-dune sandy barrier which protects lagoons. The back-country is generally formed by recent sandy dunes, more or less consolidated, locally fixed by vegetation. Followed by a inter-dune depression called ‘Oulja’ it has a high socio-economic importance because it shelters fertile soils.

Near the coast is located the Sahel, constituted of Plio-Quaternary consolidated dunes, in the form of SW-NE oriented long crests that are parallel to the coastline (Aboumaria 1993).

After the Sahel, the plain of Doukkala shows low reliefs with Quaternary silts. This plain presents remarkable agricultural potentialities because there are good quality grounds soils of ‘tirs’ (ground rich in organic matter).

## 3. MATERIAL AND METHODS

The cartography was made according to a method sufficiently standardized and reproducible to provide a better comparison in time. The nomenclature used is that adopted by the ONEM (National Office of the Energy and the Mines, Morocco) with modifications as well as possible compatible with our study area.

The ULP is obtained from the black and white aerial photographs of the 1954 year (64 photographs with the scale 1/10 000) and of the 2006 year (20 photographs on the scale 1/20 000). The ULP corresponding to 2006 was actualized by some reconnaissance missions of the various components of the area of study in 2009 and 2010. Many of the available photographs can not be used to produce a cartography with a stable width of coastal strip. For example, for 2006, this width varies between 800 m and 3000 m.

The operations of digitalization, geo-referencing and calculation of the areas of the various types of land use were carried out using the ArcGis software.

Two sites were selected to visualize the evolution of the land use. The first area is the Sidi Abed bay and the other is the Oualidia lagoon. To allow the comparison of the ULP between 1954 and 2006, we fixed the dimensions of the selected sites. The length is of 6 km for Sidi Abed bay and 16 km for the Oualidia lagoon; the width is of 1 km for the two sites.

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

The actual position of the land use of the coastal area between Blanc Cap and Cantin Cap shows that this one is divided into 15 occupation types (Tab. 1). Six of them are representative of the natural environments (15% of the total surface). Agricultural surface and pasture area represent the highest percentage (74% of the total surface). Human installations and the salt-water marshes account for 10% of

**Tab. 1** – Surface (ha) of 15 occupation types on the littoral of The Doukkala region

TYPE OF OCCUPATION	AREA (ha) year 2006
Intensive agriculture	7 113
Lawns and pastures	2 781
Beach	869
Salt marshes	656
TPOP agriculture	649
Dune	593
Discontinuous urban tissue	478
Interior marshes	316
Lagoon	265
Marshes	204
Port area	129
Industrial area	101
Peripheral fallow land	53
Continuous urban tissue	6
Forest and shrub	2
<b>Total</b>	<b>14 215</b>

studied entire surface. Between 1954 and 2006, the results obtained emphasize notable exchanges in the configuration of the littoral occupation. Over the period off 52 years ULP evolution, three different areas off human occupation were thus indentified. These three principal sites are near the port of Jorf Lasfar, Sidi Abed bay and Oualidi lagoon.

In Sidi Abed (Fig. 1), a new urban center is installed which is the village of Sidi Abed village as well as a multitude of houses scattered not far from it. They are built on more than 35 ha (approximately 6% of the studied zone).

More in the South of the study area, the Oualidia village (Fig. 1) knew, it also, an increase in the habitation grounds. Their surface passed from 26 ha in 1954 to more than 137 ha in 2006. This was accompanied by an increase in the agricultural land (it changed from 44% to 56%), on the other hand the surface of the grass land and pastures knew a regression (from 29% to 13%) (Fig. 3).

With regard to the natural environments, the more important report, during the studied period, is the fixing of the coastal dunes by the vegetation and the reduction in the sand dunes surface (Fig.3). The dunal barrier was stabilized by suitable vegetations

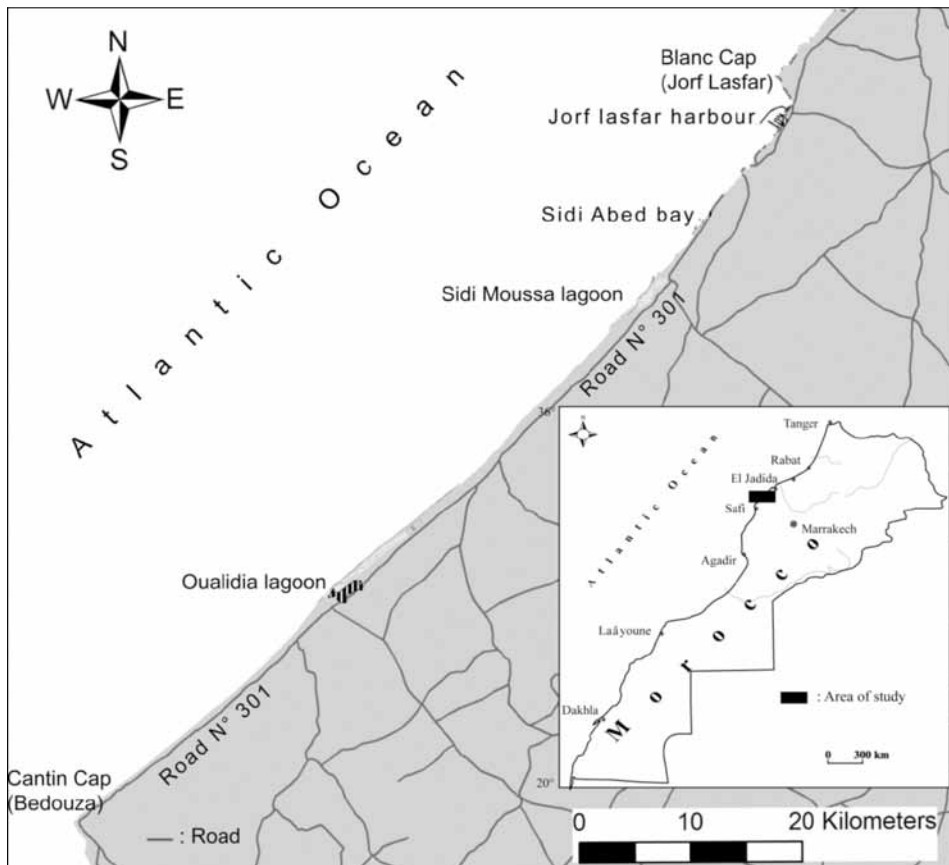
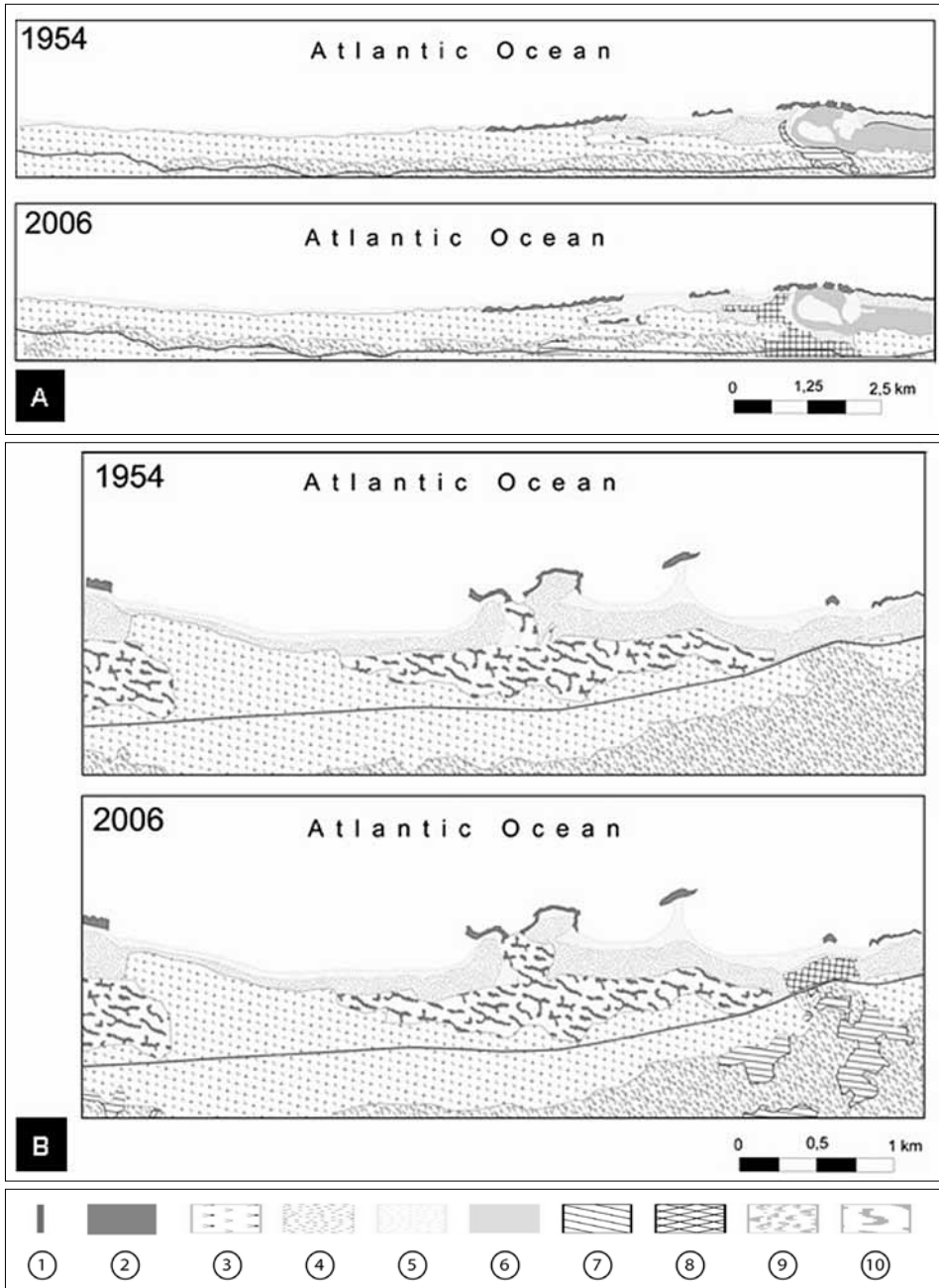
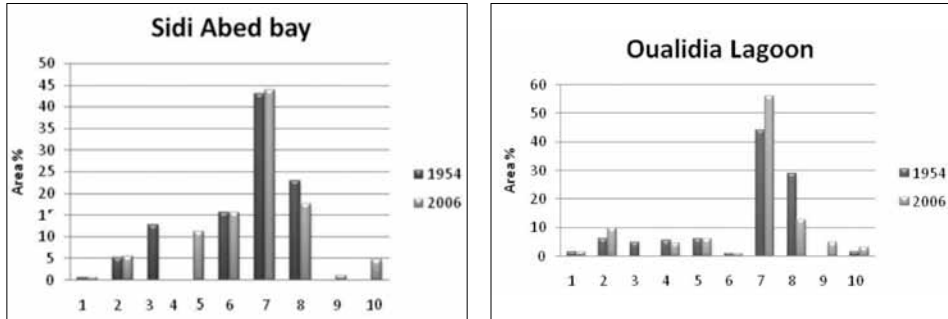


Fig. 1 – Geographic location map of the study area.



**Fig. 2** – Evolution of land use between 1954 and 2006 in Sidi Abed (A) and Oualidia (B) (Moroccan Atlantic coast). 1 – Road; 2 – Rocky barrier beach; 3 – Arable land; 4 – Vegetated coastal dunes; 5 – Coastal dune; 6 – Lagoon; 7 – Discontinuous urban tissue; 8 – Continuous urban tissue; 9 – Grass land and pasture; 10 – Saltmarsh.



**Fig. 3** – Comparison between occupation types area in 1954 and 2006 in Sidi Abed bay and Oualidia lagoon. 1 – Rocky barrier beach; 2 – Sand beaches; 3 – Coastal dunes; 4 – Vegetated coastal dunes; 5 – Lagoon; 6 – Saltmarsh; 7 – Arable lands; 8 – Grass land and pasture; 9 – Continuous urban occupation; 10 – Discontinuous urban occupation.

(*Acacia cyclops*, *Acacia cyanophylla* and *Eucalyptus gomphocephala*). These operations are realized between 1962 and 1965 by the Provincial Delegation of Water Affairs and Forestry of El Jadida town. We noted, however, a real regression of this dune barrier because of the sand exploitation, sometimes authorized but often abusive and not controlled. The back-country of the studied coastal area consists of grounds of Doukkala plain, known by its agricultural vocation. Population of the area at a long time counted on this activity. The succession of the years of drynesses and the salinization of the groundwater by the marine intrusion pushed this population to seek more productive places. The dynamics of the ecosystems are in direct relationship with climatic disturbances and anthropic activities. The world knows nowadays, a phenomenon of climate change corresponding to a modification in the global and regional climates (FFEM 2004). The Doukkala plain does not escape from this reality.

The *Oulja* (coastal depression between dunes) offers to the local population a complement to the agriculture of the back-country. This depression contains, indeed, the most fertile land of the area, also favoured by particularly good climatic conditions (frequent moisture). It allows also the development of salt-water marshes. Fishing, the aquiculture in the lagoons and the collecting of the benthic marine algal with great economic interest (5500 persons employed in 2009), constituted together the principal factors having contributed to the creation of new urban centers between 1954 and 2006 (20854 inhabitants in Sidi Abed and 15433 inhabitants in Oualidia according to last census of 2004, source: Moroccan Office of the High Commission in the Plan). However, he should not forget the part of the Jorf Lasfar port and the landscape attractivity in the development of the area.

## 5. CONCLUSION

The study of the ULP evolution by photo-interpretation analysis of the coastal area between Blanc Cap (Jorf Lasfar) and Cantin Cap (Bedouza) enabled us to identify

principal areas of human attraction. They are two different areas vocations; industrial in the North and tourist in the centre and South.

The construction of the Jorf Lasfar harbor (built between 1974 and 1982) and before them the creation of the his industrial park considered the most important universally site for the development of the mined phosphate products, has played an important role in the installation of the workers, giving rise to anarchistic and disperse dwelling houses near of this industrial park.

The study area has great natural potentialities, offering various assets. Its nice sandy beaches, natural ecosystems, attractivity and its accessibility allowed the proliferation of urban center like that in the Sidi Abed or the others in Oualidia. This last offers a splendid panoramic view on the lagoon and of the interesting possibilities of economic activities (fishing, tourism, aquiculture, collecting of algae, etc). But land use of these areas needs a good management, not disturbing nature and offering to the inhabitants a life better organized.

This increasingly anthropized littoral, is used by a great number of activities, producing conflicts of interests and leading to strong degradations of the natural environment, on land and on sea. The ecological and social problems noted require a rational management of space and activities.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This work was completed thanks to various supports: Project CNR-CNRST SH01 and the LagMar program of REMER Network in Morocco.

## REFERENCES

- Arias C.A.** 2003. *Spatio-temporal analysis of Texas shoreline changes using GIS technique*. Thesis A & M University, Texas, USA. 106p.
- Berriane M.** 2007. *Suivi de la stratégie méditerranéenne pour le développement durable – Rapport: promouvoir un tourisme durable au Maroc*. Etude nationale du Maroc. Plan Bleu, 87p.
- FFEM** 2004. *Fonds Français pour l'Environnement Mondial ; 2e édition du guide des mécanismes de projets prévus par le protocole de Kyoto ; Mission Interministérielle de l'effet de Serre*. France: Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie, République Française, Novembre 2004. 49p.
- Mainguet M.** 2003. *Les Pays Secs, Environnement et Développement*. Collection Carrefours. Paris: Ed Ellipses.
- Sawadogo H., Zombre N.P., Bock L. & Lacroix D.** 2008. Evolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photos aériennes. *Revue Télédétection* 8 (1): 59-73.







 **CITCEM**  
CENTRO DE INVESTIGAÇÃO TRANSDISCIPLINAR  
CULTURA, ESPAÇO E MEMÓRIA

**FCT**  
Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



Universidade do Minho  
Faculdade de Ciências Sociais

**CEGOT**  
Centro de Estudos de Geografia  
e Ordenamento do Território



CENTRO DE  
GEOLOGIA  
DA UNIVERSIDADE  
DO PORTO



**U. PORTO**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
UNIVERSIDADE DO PORTO

CENTRO  
DE CIÊNCIAS  
DA TERRA



Universidade do Minho  
Escola de Ciências

  
COMPETE

**QR** QUADRO  
DE REFERÊNCIA  
ESTRATÉGICO  
NACIONAL  
2007-2013



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

ISBN: 978-989-97140-1-4



9 789899 714014