

LIVRO DE RESUMOS

LIBRO DE RESÚMENES

IX REUNIÃO DO QUATERNÁRIO IBÉRICO

*Mudanças em sistemas ambientais e
sua expressão temporal*

IX REUNIÓN DEL CUATERNARIO IBÉRICO

*Cambios en sistemas ambientales
y sus escalas temporales*

Universidade do Algarve
19 - 23 Outubro de 2017

Editores
ANA GOMES, CÉLIA GONÇALVES
LINO ANDRÉ, NUNO BICHO &
TOMASZ BOSKI

Grupo de Trabalho Português para o Estudo do Quaternário (GTPEQ)
&
Asociación Española para el Estudio del Cuaternario (AEQUA)



IX REUNIÃO DO QUATERNÁRIO IBÉRICO IX REUNIÓN DEL CUATERNARIO IBÉRICO

Mudanças em sistemas ambientais e sua expressão temporal
Cambios en sistemas ambientales y sus escalas temporales

Universidade do Algarve
19 - 23 de Outubro de 2017

LIVRO DE RESUMOS LIBRO DE RESÚMENES

Editores

Ana Gomes, Célia Gonçalves, Lino André, Nuno Bicho & Tomasz Boski



Comissão Organizadora:

Tomasz Boski (CIMA, Universidade do Algarve)
Nuno F. Bicho (ICArEHB, Universidade do Algarve)
Célia Gonçalves (ICArEHB, Universidade do Algarve)
Ana Gomes (ICArEHB, Universidade do Algarve)
Delminda Moura (ICArEHB, Universidade do Algarve)
Cristina Veiga-Pires (CIMA, Universidade do Algarve / Centro de Ciência Viva do Algarve)

Comissão Científica:

Alberto Gomes (Universidade do Porto)
Ana Ramos Pereira (Universidade de Lisboa)
César Andrade (Universidade de Lisboa)
Daniel Garcia Rivero (Universidad de Sevilla)
Francisco J. G. Tortosa (Universidad de Salamanca)
Inmaculada G. Amador (Universidad de Sevilla)
Javier Baena Preysler (Universidad A. De Madrid)
João Cabral (Universidade de Lisboa)
João Luis Cardoso (Universidade Aberta)
João M. A. Dias (Universidade do Algarve)
Lúcio J. S. Cunha (Universidade de Coimbra)
Luis M. Cáceres Puro (Universidad de Huelva)
M^a Conceição Freitas (Universidade de Lisboa)
Pedro Dinis (Universidade de Coimbra)
Pedro Huerta (Universidad de Salamanca)
Pedro Proença Cunha (Universidade de Coimbra)
Penélope G. Samperiz (Instituto Pirenaico de Ecología)
Simon E. Connor (University of Melbourne)

Secretariado Técnico:

Lino André (ICArEHB, Universidade do Algarve) & Zélia Coelho (CIMA, Universidade do Algarve)

Título:

Mudanças em Sistemas Ambientais e sua Expressão Temporal - Livro de Resumos da IX Reunião do Quaternário Ibérico

Editores:

Ana Gomes, Célia Gonçalves, Lino André, Nuno Bicho & Tomasz Boski

Imagem da Capa:

Dunas de Rosado (2014)
Créditos: Tomasz Boski (CIMA, Universidade do Algarve)

Edição Gráfica

Célia Gonçalves & Ana Gomes

ISBN: 978-989-8859-20-4

Para citar livro:

Gomes, A., Gonçalves, C., André, L., Bicho, N. & Boski, T., 2017. Mudanças em Sistemas Ambientais e sua Expressão Temporal - Livro de Resumos da IX Reunião do Quaternário Ibérico. Universidade do Algarve, Faro. ISBN 978-989-8859-20-4, 178 p. DOI: <http://hdl.handle.net/10400.1/10066>

© Interdisciplinary Center for Archaeology and Evolution of Human Behaviour (ICArEHB) & Centre For Marine and Environmental Sciences (CIMA)
Universidade do Algarve
Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

ÍNDICE

Prefácio

PALESTRAS TEMÁTICAS 9

The Middle-to-Upper Paleolithic transition in southern and western Iberia

J. Zilhão..... 11

Clima, meteorologia e sociedade

J. Alveirinho Dias..... 12

Short-lived U- and Th-series isotopes: Tracers and chronometers of Earth surface processes though Anthropocene to global change time frames

C. Hillaire-Marcel..... 14

APRESENTAÇÕES ORAIS 15

Arqueologia e Geoarqueologia 17

Presença de *Paleoloxodon antiquus* no Plistocénico de Portugal: estado atual dos conhecimentos

S. Figueiredo; P.P. Cunha; C.N. de Carvalho; F. Sousa 19

Padrões de povoamento da Idade da Pedra no Vale do Lunho (Niassa, Moçambique)

C. Gonçalves; J. Cascalheira; J. Haws; M. Raja; N. Bicho 21

A Jazida da Idade da Pedra Superior de Txina Txina, bacia do Rio Limpopo, Moçambique

N. Bicho; J. Cascalheira; J. Haws; C. Gonçalves; M. Raja; L. André; M. Benedetti; A. Gomes; M. Carvalho; B. Zinsious; I. Benedetti; E. Skosey-LaLonde 24

Aves plistocénicas da Gruta da Furninha (Peniche): abordagem paleontológica e paleoecológica

S.D. Figueiredo; P.P. Cunha; A.A. Martins; M.P. Gouveia 26

O canto das aves nos recintos do Neolítico e Calcolítico de Portugal. Estudo dos restos arqueofaunísticos de aves

C. Costa..... 28

Geoarqueología de *Onoba Aestuaria* y la delimitación de su línea de costa en el tránsito de la ProtoHistoria a la Época Romana

J. Rodríguez-Vidal; J. Campos; J. Bermejo; P. Gómez; L.M. Cáceres 31

Sistemas Continentais 33

La glaciación en la Sierra de Xistral (NW de Iberia)

M. Valcárcel; A.L. Vázquez-Rodríguez; J.R. Sampedro-Guimarey; J. Hall-Riaza; X. Pontevedra-Pombal..... 35

Paleomagnetismo en terrazas altas del Río Guadalquivir (Sectores Campana y Carmona, Sevilla)	
<i>R. Baena-Escudero; I. Guerrero-Amador; J.J. Fernández-Caro</i>	37
Speleothem shape influence on the recorded magnetic directions: a paleomagnetic study in a Holocene age speleothem from Algarve	
<i>J. Ponte; E. Font; C. Veiga-Pires; C. Hillaire-Marcel; B. Ghaleb</i>	41
Holocene climate inferences from multiproxy studies of lake sediment and a Spodosol profile from Atlantic Forest, Southeastern Brazil	
<i>A.A.B. Junior; L.C.R. Pessenda; F.L. Lorente</i>	43
Tectónica e Vulcanismo	47
El escenario sísmico del terremoto de Arenas del Rey de 1884 (España)	
<i>M.A. Rodríguez-Pascua; P.G. Silva; M.A. Perucha; J.L. Giner Robles; J. Elez; E. Roquero</i> .	49
Earthquake environmental effects of the AD 1755 Lisbon-Earthquake-Tsunami in Spain	
<i>P.G. Silva; P.V. Gómez-Diego; J. Elez; J.L. Giner-Robles; M.A. Rodríguez-Pascua; E. Roquero; A. Martínez-Graña; T. Bardají; B. Bautista</i>	53
Geometria da unidade alostratigráfica SLD13 (ca. 3,7 - 1,8 Ma) no Algarve – interpretações deposicionais e tectónicas	
<i>P.P. Cunha; A.A. Martins; A.A. Gomes; M.P. Gouveia; T. Tominic</i>	58
Sistemas de Interface Oceano-Continente	61
Sedimentología y cambios del nivel del mar en el Islote Guidoiro Areoso, Ria de Arousa, NO de la Peninsula Iberica	
<i>R. Blanco-Chao; M. Costa-Casais; T. Taboada-Rodriguez; R. Tallón-Armada</i>	63
Nível do mar durante os últimos 13.5 ka inferido dos registos sedimentares estuarinos do Atlantico Sul e Norte	
<i>T. Boski</i>	65
Evolution of the Sado estuary limit over the last 8400 years: implications for the Mesolithic communities	
<i>A.M. Costa; M.C. Freitas; M. Leira; C. Andrade; R. Mota; J. Duarte; A. Rodrigues; M. Diniz; P. Arias</i>	67
Holocene evolution of the Catumbela delta (Angola): from a deflected to asymmetric wave-dominated delta	
<i>P.A. Dinis; J. Huvi; J.M. Azevedo</i>	69
Sensitivity of saltmarsh platforms for sediment supply reduction due to regulation of fluvial discharge into the Guadiana Estuary in the context of sea-level rise	
<i>D.M.R. Sampath; T. Boski</i>	71
Geomorphology of a Mediterranean barrier lagoon system. Subsidence, climate change and human action (Castelló, Eastern Spain)	
<i>P. Carmona; J.M. Ruiz; A. Pérez Cueva</i>	73

Holocene evolution of the Ria Formosa barrier island system: a study based on 3D architecture and depositional record

C. Sousa; T. Boski; L. Pereira 77

Coastal evolution at the northern margin of Valencia lagoon related to channel changes of the Turia River delta since the Ibero-Roman Epoch

J.M. Ruiz; P. Carmona 79

Modelling sediment infilling of the Ludo sub-basin of the Ria Formosa Lagoon system in response to eustatic sea-level rise during the Holocene

D.M.R. Sampath; T. Boski; C. Sousa 83

Origin and composition of organic matter in intertidal depth-profiles sediments from Ria Formosa salt marshes ecosystem (South, Portugal) by analytical pyrolysis (Py-GC/MS)

M. Kumar; T. Boski; F.J. González-Vila; J.A. González-Pérez 85

A influência das surgências de água doce na concentração das diatomáceas em litorais rochosos

A. Gomes; D. Moura; S. Oliveira 88

Último interglacial: terraços na costa rochosa do Algarve central

D. Moura; S. Oliveira; J. Horta; A. Gomes; A. Nascimento 90

Registro de las relaciones entre depósitos marinos y continentales del pleistoceno en acantilados costeros: caso de Pessegueiro (Alentejo, Portugal)

E. Roquero; J.L. Goy; C. Dabrio; T. Bardají; C. Zazo; T. Boski; A. Martínez-Graña; D. Moura 92

Sea-level high-stand during the last interglacial stage: sedimentary characterization and luminescence dating of the Oyambre coastal terrace (Cantabrian coast, Spain)

E. Sainz de Murieta; A. Cearreta; P.P. Cunha; J.-P. Buylaert; A.S. Murray 96

Geometria da unidade alostratigráfica SLD13 (Zncleano Sup. - Gelasiano) no sector SW da Bacia Cenozóica do Baixo Tejo (Alpiarça - Península de Setúbal) – Interpretações deposicionais e tectónicas

P.P. Cunha; M.P. Gouveia; A.A. Martins 98

Sistemas Marinhos 101

Geomorphology and evolutive processes of the Algeciras submarine canyon

J.T. Vázquez; D. Casas; D. Palomino; L.M. Fernández-Salas; O. Tello; M. Farran; N. López-González; M.P. Mata; J. Nespereira; E. Moya; J. Urrea; B. Alonso; G. Ercilla 103

The record of a high-energy event in a mud entrapment on the inner shelf off the Guadiana River

I. Mendes; F.J. Lobo; J. Schönfeld; S.L. Lebreiro; T. Hanebuth; H. Lantzsch; M.I. Reguera; L. Antón; Ó Ferreira 105

O Efeito de Reservatório Oceânico para a Costa Atlântica da Península Ibérica. Inferências Paleo-Oceanográficas e Calibração de Datas Convencionais de Radiocarbono de Organismos Marinhos

A.M. Monge Soares; P.J.C. Portela 107

PÓSTERES 109

Arqueologia e Geoarqueologia 111

A ocupação Neanderthal no sul de Portugal: a Gruta da Companheira, Portimão.

N. Bicho; J. Cascalheira; F. Tátá; P. Horta 113

Companheiros na vida e na morte: os mamíferos em contexto funerário e não funerário da Idade do Bronze do Baixo Alentejo (Portugal)

M. Senra; C. Costa; A.M.S. Bettencourt 115

Los efectos del terremoto de Lisboa de 1755 en el hospital de Tavera, Toledo (España)

M.A. Rodríguez-Pascua; J. Morín de Pablos; M.A. Perucha; I. Sanchez Ramos; P.G. Silva; J.R. González de la Cal 117

3D electrical imaging of subsurface seismic deformations affecting the late roman archaeological site of la Magdalena (central Spain)

P.G. Silva; P. Carrasco García; M.A. Rodríguez-Pascua; J.L. Giner-Robles; J. Elez; E. Roquero; C. Heras; M.A. Perucha; A.B. Bastida; O. Peña Pérez 121

Los deslizamientos en la Serra dos Ancares (Noroeste Península Ibérica): la huella del Imperio Romano

A.L. Vázquez-Rodríguez; X. Pontevedra-Pombal; M. Valcárcel Díaz 125

Tectónica e Vulcanismo 131

Análisis preliminar de los efectos ambientales del terremoto de Ademuz de Junio de 1656 (Valencia, España)

J.L. Giner-Robles; P.G. Silva; J. Elez; M.A. Rodríguez-Pascua; T. Bardaji; M.A. Perucha; R. Pérez-López; E. Roquero; P. Huerta; E. Rodríguez-Escudero 133

Sedimentary record of pre-Quaternary tsunamis in the Gibraltar strait area after the Zanclean flood

P.G. Silva; J. Elez; P. Huerta; J. Civis; M.A. Perucha; E. Roquero; M.A. Rodríguez-Pascua; A. Martínez-Graña; T. Bardaji; K. Reicherter 137

Métodos e Tecnologias de Investigação 141

Projecto SHELLS - a utilização de conchas de *Patella* e *Mytilus* na reconstrução de paleotemperaturas da água do mar

A.M. Monge Soares; P.J.C. Portela; I. Gutiérrez-Zugasti; J. Zilhão; M.F. Araújo; P.M. Carreira; D. Nunes; P. Callapez; M. Nabais 143

Three-dimensional visualization of mesofossil plants using the non-destructive synchrotron radiation X-ray tomographic microscopy (SRXTM)

M.M. Mendes; P.A. Dinis 145

Sistemas de Interface Oceano-Continente 149

Cambios eustáticos en el Marjal de Almenara durante el holoceno

A. Rodríguez-Pérez; A.M^a. Blázquez Morilla; J. Usera Mata 151

Caracterización sedimentaria de facies tempestíticas en barreras arenosas del estuario de Huelva (SO España)

P. Gómez; J. Rodríguez-Vidal; M.L. González-Regalado; M.J. Clemente; L.M. Cáceres; A. Toscano; M. Abad; T. Izquierdo; F. Ruiz 155

Anthropogenic impact in the Suances estuary (Cantabria, N. Spain): microfaunal and geochemical evidences in its recent geological record

H. Serrano; A. Cearreta; M.J. Irabien; J. Gómez Arozamena 157

Foraminifera assemblages in coastal palaeoenvironments in the Valencia lagoon

M. López-Belzunce; A. María Blázquez; P. Carmona; J. Miguel Ruiz 161

Alterações ambientais na costa moçambicana, durante o holocénico

A. Gomes; E. Skosey-LaLonde; B. Zinsious; C. Gonçalves; N. Bicho; M. Raja; J. Cascalheira; J. Haws 165

Palaeogeographical evolution of coastal systems of SW Portugal

M. Leira; M.C. Freitas; C. Andrade 167

Sistemas Marinhos 169

Geomorphometry of mud volcanoes in the Gulf of Cadiz

O. Sánchez-Guillamón; M.C. Fernández-Puga; L.M. Fernández Salas; J.T. Vázquez; D. Palomino; L. Somoza; T. Medialdea; N. López-González; R. León, F.J González 171

LISTA DE AUTORES 173



PREFÁCIO

O CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental associa-se ao ICARHEB – Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano para acolher, pela segunda vez na Universidade do Algarve, a Reunião do Quaternário Ibérico. Esta associação é ditada pela crescente necessidade de integrar os dados obtidos acerca dos amplamente entendidos sistemas ambientais nos domínios de ciências humanas, naturais e económicos. Na realidade voltamos aos princípios de naturalismo integrador do Século XIX num contexto de complexidade infinitamente maior que exige um diálogo interdisciplinar tão necessário como difícil.

No decorrer do Século XXI acumularam-se evidências claras de que a população humana do nosso Globo tornou-se um fator de alteração – forçador em praticamente todos os sistemas ambientais do Planeta. Vários destes sistemas aproximam-se de pontos-de-não-retorno e de novos equilíbrios físico-químicos, com consequências para as nossas sociedades que são difíceis de prever, embora os últimos relatórios de IPCC tracem já perspectivas quantitativas de elevada verossimilhança.

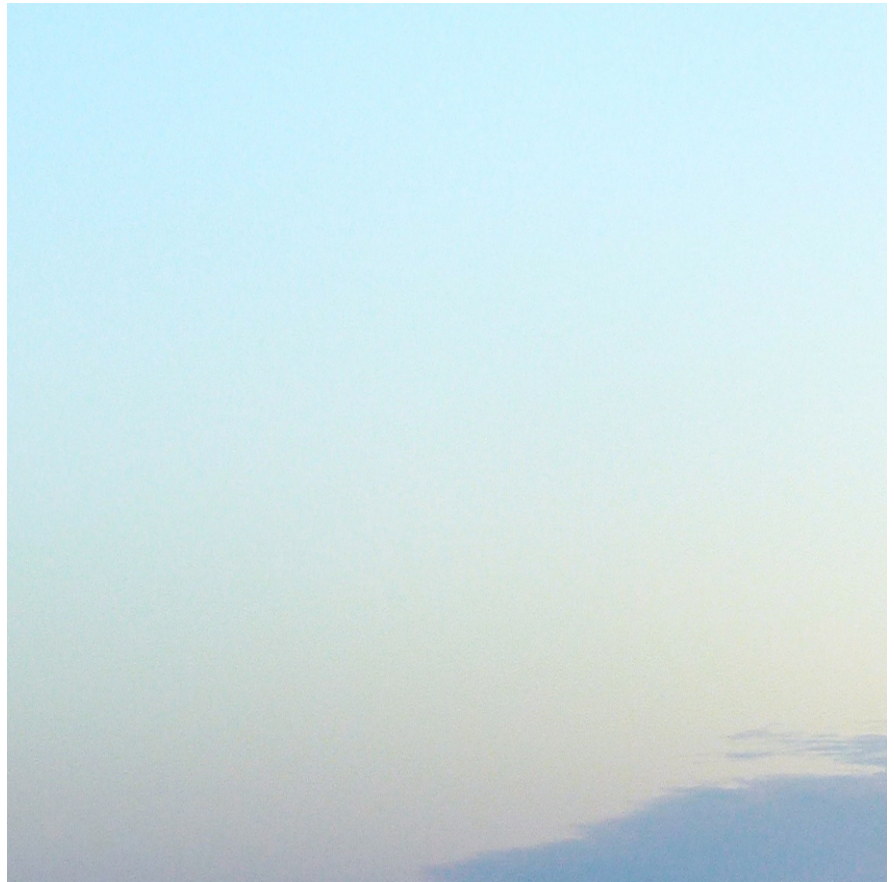
O reconhecimento da dimensão do impacto antrópico foi possível graças ao desenvolvimento das novas tecnologias de superfície e espaciais que permitem obter, em tempo real, dados acerca do estado da atmosfera, hidrosfera, criosfera e biosfera em quase toda a superfície da Terra. Os dados acumulados abrangem, na maior parte dos casos, duas a três décadas, permitindo a monitorização da dinâmica e da evolução de sistemas na escala de tempo de decênios. Discernir o impacto antrópico da mudança/dinâmica natural dos sistemas nesta escala de tempo é impossível.

Graças à abundância de proxies, da crescente firmeza das escalas temporais e das condições limites para os modelos dos sistemas terrestres, torna-se possível acoplar as mudanças observadas em escalas de tempo entre 10^2 e 10^6 anos com as observações instrumentais acima referidas. Assim, o principal desafio que se coloca perante a comunidade dos estudiosos do Quaternário é o de fornecer um quadro cada vez mais preciso das alterações inferidas dos arquivos naturais: marinhos, glaciais, costeiros, continentais, arqueológicos... para avaliar corretamente a dimensão do forçador antropogénico em escalas global, regional e local. Esta investigação, associada a crescentes contributos de arqueologia, cria uma base do conhecimento acerca da evolução da espécie humana e da sua expansão, bem como do seu impacto na esfera terrestre.

Pela Comissão Organizadora

Tomasz Boski & Nuno Bicho





PALESTRAS TEMÁTICAS

PONENCIAS TEMÁTICAS

THE MIDDLE-TO-UPPER PALEOLITHIC TRANSITION IN SOUTHERN AND WESTERN IBERIA

J. Zilhão¹

¹ Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA), Universidade de Barcelona, Barcelona, Espanha.
joao.zilhao@ub.edu

The late persistence in Southern Iberia of a Neandertal-associated Middle Paleolithic is supported by the archeological stratigraphy and the radiocarbon and luminescence dating of three newly excavated localities in the Mula basin of Murcia (Spain). At Cueva Antón, Mousterian layer I-k can be no more than 37,100 years-old. At La Boja, the basal Aurignacian can be no less than 36,500 years-old. The regional Middle-to-Upper Paleolithic transition process is thereby bounded to the first half of the 37th millennium, in agreement with evidence from Andalusia, Gibraltar and Portugal. Elsewhere in Europe, that transition and the associated process of Neandertal/modern human admixture took place between 40,000 and 42,000 years ago. This lag has significant paleoanthropological implications.

CLIMA, METEOROLOGIA E SOCIEDADE

J. Alveirinho Dias¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000 FARO, Portugal.
jdias@ualg.pt

É indubitável que o clima influencia de forma muito relevante as comunidades humanas. No passado, quando as sociedades eram fortemente dependentes da agricultura local ou regional, alterações climáticas que provocassem perda recorrente de colheitas conduziam a fortes perturbações sociais e, por vezes, mesmo a colapsos civilizacionais. Se ocorria o inverso, isto é, se a produtividade agrícola aumentava, tal tinha como consequência maior riqueza e, em geral, progresso civilizacional. Aponta-se como exemplo, entre os muitos que poderiam ser aludidos, o caso do Império Romano, cuja ascensão ocorreu num período de melhoria climática verificado há cerca de 2 500 anos e marcou o início do “Período Quente Romano”. Por volta de 300 a 400 A.D. o clima começou a degradar-se, transitando para o “Período Frio Medieval”, altura em que se dá a Queda do Império Romano. Na perspectiva de Roma, é designado por período das invasões bárbaras e cientificamente é referido, com frequência, por “Período das Migrações”.

Porém, apesar da grande importância que tem, a noção que temos de clima é indefinida, e baseia-se em médias que fazemos intuitivamente sem estabelecimento de qualquer intervalo temporal preciso. Cientificamente, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) convencionou, no início do século XX, que o clima é caracterizado pelos valores médios dos vários elementos climáticos num período de 30 anos. São as chamadas “normais climatológicas” que, aliás são bastante contestadas, quer por se considerar que esse intervalo temporal é curto (não esbatendo de forma eficaz os eventos meteorológicos extremos), quer por se entender que é muito longo (sendo, portanto, afectado por variações climáticas entretanto ocorridas). Independentemente desta problemática, subsistem as questões relacionadas com o clima do passado em que não é possível estabelecer médias dos diferentes elementos climáticos. Nesse caso, o termo clima continua a ser utilizado de forma indefinida e, por consequência, com baixa precisão científica.

Há ainda que ter em consideração que, se o clima no médio longo prazo influencia, como se referiu, de forma muito relevante as sociedades, as perturbações sociais não decorrem propriamente do clima. O clima é definido por médias (sejam elas intuitivas, ou baseadas em definições temporais específicas), e estas não induzem directamente acontecimentos sociais. O que pode realmente ocasionar perturbações sociais são os estados do tempo (eventos meteorológicos), mesmo que estes não se reflectam no clima (nas médias dos sucessivos estados do tempo ao longo de um período suficientemente longo). Aliás, esta é a abordagem que geralmente se faz em geologia quando, por exemplo, se analisa um testemunho de sedimentos colhido na plataforma continental em frente à desembocadura de um grande rio. O que se tenta detectar são variações granulométricas, mineralógicas e micro-faunísticas existentes ao longo do testemunho, pois que essas variações denunciam alterações climáticas (maior ou menor pluviosidade, maior ou menor temperatura das águas, entre outras). Com efeito, o sinal registado no testemunho está, pela sua própria natureza, amortecido, correspondendo às consequências de sucessivos estados do tempo ao longo de um intervalo temporal que carece de definição precisa. É, portanto, um proxy do clima regional. Porém, por vezes, ocorrem no testemunho variações abruptas, por exemplo, quando uma sequência de materiais finos tem intercalado um nível bem definido de sedimentos mais grosseiros. Nesse caso, o que ficou registado não foi o proxy climático, mas sim um evento meteorológico extremo (talvez causado por uma grande cheia provocada por pluviosidade extremamente intensa).

São estes eventos extremos que, efectivamente, se podem repercutir na sociedade, e não o clima em si tomado como médias ao longo de um tempo prolongado. Portanto, ao analisarem-se os desenvolvimentos ocorridos nas sociedades humanas, devemos ter em consideração, como é evidente, a evolução climática, mas é muito importante tentar identificar eventos meteorológicos que, efectivamente, conduziram a perturbações sociais. Neste aspecto, é ainda essencial termos em consideração o nível de resiliência social. Determinado evento (ou sucessão de eventos meteorológicos) que, numa comunidade, contribuiu para que ocorresse forte instabilidade e, mesmo,

a uma revolução, pode não ter tido grandes consequências nas comunidades vizinhas, com maior resiliência social. Com efeito, o clima / eventos meteorológicos não conduzem, em si, alteração sociais abruptas e violentas. Apenas contribuem de forma relevante para isso se existirem já fortes tensões sociais (ou seja, baixa resiliência). Os eventos meteorológicos apenas funcionam como o “fósforo que provocou o incêndio no palheiro” ou, dito de outra forma, como “a gota de água que fez transbordar o copo”.

Como forma de ilustrar o que acima se referiu, apresentar-se-ão dois casos de estudo. O primeiro incide no “*annus mirabilis*” de 1873, quando uma sucessão de estados do tempo anómalos provocaram perdas de colheitas em toda a Europa e crises de mortalidade. As consequências debilitaram a resiliência social em vários países, já fortemente afectados por outros acontecimentos, nomeadamente a guerra da independência dos Estados Unidos da América, que terminou nesse ano, e que tinha deixado numa situação financeira difícil principalmente o Reino Unido e a França. Os anos seguintes foram também maus do ponto de vista agrícola, pelo que as sociedades europeias não conseguiram recompor-se. Tal sucessão de eventos provocou forte agitação social em vários países, designadamente os célebres “*motins do pão*”. Em França, onde as tensões sociais eram maiores (e, portanto, com menor resiliência social), no dia 13 de Julho de 1789 caiu forte chuva de granizo “grosso e intenso” (como foi descrito por jornais da época), conduzindo à perda de muitas colheitas, o que seguramente influenciou a tomada da Bastilha, a 14 de Julho, e o processo revolucionário que se lhe seguiu.

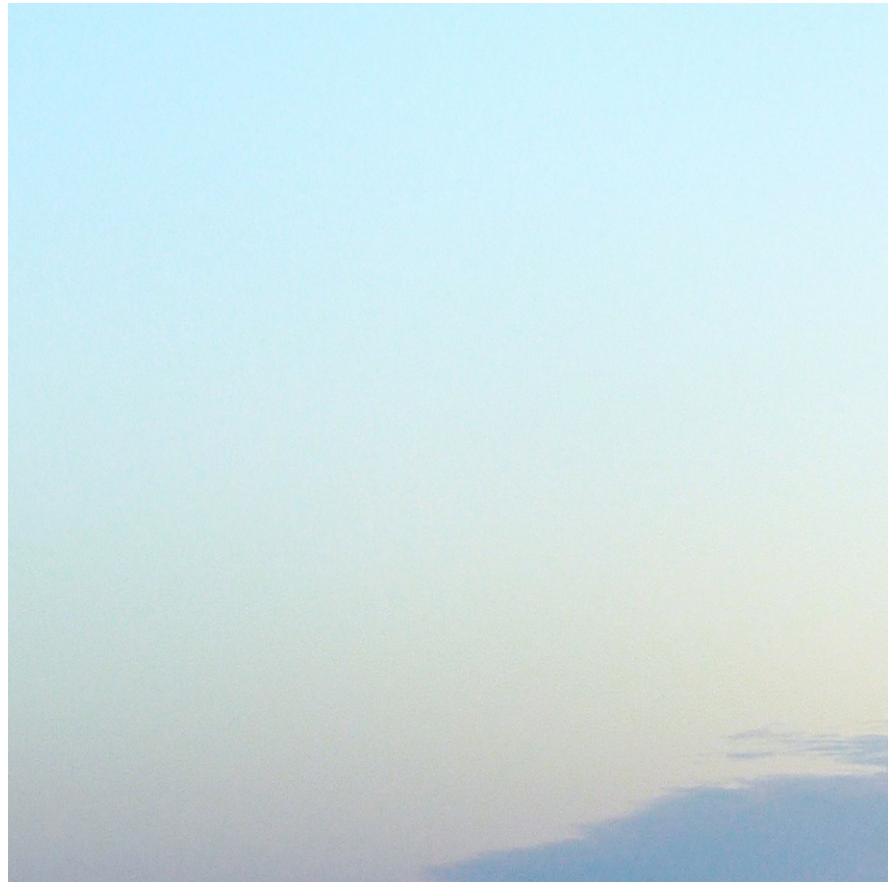
O outro caso de estudo é mais recente. Refere-se a Julho de 2010, quando a meandrização da corrente de jacto polar ficou bloqueada durante várias semanas, com um centro de altas pressões persistente sobre a região de Moscovo e um núcleo depressionário constante sobre o norte do Paquistão. Esta situação meteorológica conduziu a grandes inundações do rio Indo, sendo aí declarada situação de emergência internacional pelo então Secretário-Geral das Nações Unidas Ban Ki-moon. Na Rússia, o forte calor que se fez sentir (estima-se que Julho e Agosto tenham sido os meses mais quentes desde há 500 anos) esteve na origem de muitos e intensos fogos, os quais provocaram, entre outras consequências, perda de muitas searas. No sentido de evitar encarecimento do trigo e graves problemas internos, o governo proibiu a exportação de cereais. Como a Rússia é o 5º maior exportador mundial, houve escassez de cereais nos mercados internacionais e, consequentemente, aumento de preços. Tal teve grandes consequências no Egipto (maior importador mundial), na Argélia (3º maior importador) e na generalidade dos países árabes. A situação meteorológica acima aludida teve forte influência no desenvolvimento da apelidada “Primavera Árabe”, tendo também contribuído para ampliação muito considerável da chamada “Crise dos Migrantes” para a Europa.

SHORT-LIVED U- AND TH-SERIES ISOTOPES: TRACERS AND CHRONOMETERS OF EARTH SURFACE PROCESSES THROUGH ANTHROPOCENE TO GLOBAL CHANGE TIME FRAMES

C. Hillaire-Marcel¹

¹ GEOTOP, Université du Québec, Montreal, Canada. chm@uaqm.ca

A large array of short-lived natural U and Th-series isotopes are useful tools for the documenting of recent to on-going geochemical and sedimentological processes as well as for the calculation of geochemical fluxes between reservoirs (*e.g.*, ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{234}Th , with time scales ranging from $\sim 10^3$ to days). In combination with longer-lived U-series isotopes (^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{231}Pa) and nuclear fallout isotopes (*e.g.*, ^{137}Cs , ^{241}Pu ...), they may be used for estimating the behavior and fluxes of aerosols, soil evolution and weathering processes (10^6 Ma to the above time scales), particulate and colloidal transport in continental and marine waters, as well as for the documenting of extreme events (floods, storminess, etc.) and more generally, the fate of sediments in rivers, lakes and the marine realm (from accumulation rates to on-going sedimentological processes). Applications in the domains of hydrothermal systems and of volcanology are also of importance. Examples illustrating the use of a few of the above isotopes for the documenting of Earth surface processes from the Anthropocene (*sensu lato*) including the present global change context, will be discussed, with a focus on short-lived isotopes of the U and Th-series. They include (i) downscaling through time-dependent processes in soils, (ii) the monitoring of geochemical properties of recent lava flows, (iii) evolution of hydrothermal systems, (iv) the recording of extreme events in estuarine and coastal areas.



APRESENTAÇÕES ORAIS

PRESENTACIONES ORALES



Arqueologia e Geoarqueologia

Arqueología y Geoarqueología

PRESENÇA DE *PALEOLOXODON ANTIQUUS* NO PLISTOCÉNICO DE PORTUGAL: ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS

S. Figueiredo¹; P.P. Cunha²; C.N. de Carvalho³; F. Sousa⁴

¹ Centro Português de Geo-História e Pré-História, Largo de São Caetano, 2150-265 Golegã; Instituto Politécnico de Tomar, Quinta do Contador, Estrada da Serra, 2300-313. Tomar. Silverio.figueiredo@ipt.pt; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

² MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia; Universidade de Coimbra; Rua Sílvio Lima, Univ. Coimbra - Pólo II; 3030-790 Coimbra. pcunha@dct.uc.pt

³ Geopark Naturtejo da Meseta Meridional – Geoparque Mundial da UNESCO. Serviço de Geologia do Município de Idanha-a-Nova, Centro Cultural Raiano, Av. Joaquim Morão 6060-101 Idanha-a-Nova; Instituto D. Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa. carlos.praedichnia@gmail.com

⁴ Centro Português de Geo-História e Pré-História, Largo de São Caetano, 2150-265 Golegã. mfermandasousa57@gmail.com

ABSTRACT

The main characteristics of the Pleistocene deposits with remains of *Paleoloxodon antiquus* in Portugal, are here presented and interpreted.

RESUMO

Sintetizam-se as principais características das jazidas plistocénicas com restos de *Paleoloxodon antiquus*, em Portugal e faz-se a sua interpretação.

INTRODUÇÃO

Em Portugal, os fósseis *Paleoloxodon antiquus* aparecem em contexto estratigráfico e associados a ocupações humanas: Gruta da Figueira-Brava (ca. 30 ka), Algar de João Ramos, Praia dos Bifaces (ca. 150 ka) e Gruta da Furninha (ca. 81 ka) (Antunes, 1990; Zilhão, 1991; Sousa & Figueiredo, 2001; Figueiredo, 2012); os restantes sítios arqueológicos são a Foz do Enxarrique (V. Velha de Ródão; troço I do Baixo Tejo; terraço T6 - 62 a 32 ka (Brugal & Raposo, 1999; Cunha et al., 2008) e o Esteiro da Princesa (ca. 80 ka) (S¹⁰. Antão do Tojal; troço IV; no terraço T5 - 135 a 73 ka) (Zbyszewski, 1943; Raposo, 1995), em depósitos de terraços do Baixo Tejo (Cunha et al., 2005, 2016), e o da Cooperativa da Mealhada (Zbyszewski, 1977), em terraço. Nestes sítios, os restos de *P. antiquus* foram encontrados associados a indústrias paleolíticas. A sul de Coimbra, existem 2 sítios com restos de *P. antiquus*, em estratigrafia: Condeixa-a-Velha e Conímbriga. No Carregado (troço IV), em depósitos do terraço T5, estão localizadas as jazidas fossilíferas de Meirinha, Casal do Torcato e Q^{ta} do Campo (Zbyszewski, 1943). No litoral Alentejano, em S^{ta}. Cruz (S. Cacém) e em V. N. de Milfontes foram descobertos dentes. No Campo Dunar do Malhão foram descobertas pegadas associadas a *P. antiquus* e foram descritas, pela primeira vez a nível mundial, formas de comportamento locomotor e gregário destes animais (Neto de Carvalho, 2011; Neto de Carvalho et al., 2016), o que torna esta jazida particularmente relevante.

MÉTODOS

Este estudo baseou-se fundamentalmente em pesquisa bibliográfica e no cruzamento de dados estratigráficos, cronológicos, paleontológicos e arqueológicos.

RESULTADOS

As ocorrências de *P. antiquus* em Portugal, indicam que pelo menos desde há ca. 150 ka a ca. 32 ka esta espécie conseguiu aqui sobreviver a períodos interglaciários e glaciários, bem como às ações dos humanos primitivos. Durante este intervalo não é espetável que existissem comunicações terrestres que permitissem às comunidades a migração para sul (para África), a partir da Península Ibérica, durante os períodos glaciários. Segundo Cunha et al. (2012), o clima frio e seco que aqui se verificou entre ca. 32 e 12 ka gerou uma unidade de cobertura formada por areias eólicas, levou ao drástico decréscimo da vegetação, bem como ao desaparecimento de *P. antiquus*. Os achados do Litoral Alentejano são agora reforçados pela associação de um molar encontrado no mesmo contexto estratigráfico, descoberto por Maria João Santos.

DISCUSSÃO

A idade (14.170 $\pm$ 330 BP) obtida no Algar de João Ramos (Alcobaça), por C¹⁴ em osso da camada 3 (Antunes, 1990), levanta questões relativas à interpretação da ocorrência de um fémur de proboscídeo neste sítio arqueológico; sendo uma idade ulterior à provável extinção de *P. antiquus*, será este achado pertencente a nível mais antigo ou será um resto de mamute (Figueiredo & Sousa, 2003)?

CONCLUSÃO

Existem em Portugal várias jazidas com fósseis de *P. antiquus* em contexto estratigráfico e em associação com ocupações humanas. Novos estudos dos fósseis (conhecidos e de outros inéditos), bem como a realização de novas datações, permitirão compreender a ocorrência desta espécie e fazer a contextualização paleoambiental e a relação com as comunidades humanas suas contemporâneas.

REFERÊNCIAS

- Antunes, M.T., 1990. The proboscideans: data, age and paleogeography: evidence from the Miocene of Lisbon. In E.H. Lindsay et al. (eds), *European Mammal Chronology*. Plenum Press: 253-262.
- Brugal, J.-P., Raposo, L., 1999. Foz do Enxarrique (Ródão, Portugal): Preliminary results of the analysis of a bone assemblage from a Middle Paleolithic open site. The Role of Early humans in the accumulation of European Lower and Middle Paleolithic Bone Assemblages. *Monographie des Römisch- Germanischen Zentralmuseums* 42: 367-379.
- Cardoso, J.L., 1993. Contribuição para conhecimento dos grandes mamíferos do Plistocénico superior de Portugal. Câmara Municipal de Oeiras.
- Cunha, P.P., Martins, A.A., Daveau, S., Friend, P.F., 2005. Tectonic control of the Tejo river fluvial incision during the late Cenozoic, in Ródão – central Portugal (Atlantic Iberian border). *Geomorphology* 64: 271-298.
- Cunha, P.P., Martins, A.A., Huot, S., Murray, A., Raposo, L., 2008. Dating the Tejo River lower terraces in the Ródão area (Portugal) to assess the role of tectonics and uplift. *Geomorphology* 102: 43-54.
- Cunha, P.P., Almeida, N.A.C., Aubry, T., Martins, A.A., Murray, A.S., Buylaert, J.-P., Sohbati, R., Raposo, L., Rocha, L., 2012. Records of human occupation from Pleistocene river terrace and aeolian sediments in the Arneiro depression (Lower Tejo River, central eastern Portugal). *Geomorphology* 165-166: 78-90.
- Cunha, P.P., Martins, A.A., Gouveia, M.P., 2016. As escadarias de terraços do Ródão à Chamusca (Baixo Tejo) – caracterização e interpretação de dados sedimentares, tectónicos, climáticos e do Paleolítico. *Estudos do Quaternário* 14: 1-24.
- Figueiredo, S., 2012. The Pleistocene Elephants of Portugal. *Atas del Coloquio Internacional Marfim y Elefantes en la Peninsula Iberica y el Mediterraneo Occidental*, pp. 37-44.
- Figueiredo, S., Sousa, M.F., 2003. Os Elefantes Plistocénicos de Portugal. *Revista Evolução* (separata) 1: 3-32.
- Neto de Carvalho, C., 2009. Vertebrate tracksites from the Mid-Late Pleistocene eolianites of Portugal: the first record of elephant tracks in Europe. *Geological Quarterly* 53 (4): 407-414.
- Neto de Carvalho, C., 2011. Pegadas de vertebrados nos eolianitos do Plistocénico Superior do Sudoeste Alentejano, Portugal. *Comunicações Geológicas* 98: 99-108.
- Neto de Carvalho, C., Figueiredo, S., Belo, J., 2016. Vertebrate tracks and trackways from the pleistocene eolianites of SW Portugal. *Comunicações Geológicas* 103 (Esp. I): 101-116.
- Sousa, M.F., Figueiredo, S., 2001. The Pleistocene elephants of Portugal. In: *The World of Elephants* (eds. G. Cavarretta, P. Gioia, M. Mussi, M.R. Palombo). Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, pp. 611-616.
- Zbyszewski, G., 1943. Les éléphants quaternaires au Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* XXIV: 71-89.
- Zbyszewski, G., 1977. Nova Contribuição para o Conhecimento da Jazida Quaternária da Mealhada. Publicações do Museu e Laboratório de Mineralogia e Geologia, Universidade de Coimbra 84, 1-37.
- Zilhão, J., Maurício, J., Souto, P., 1991. Arqueologia da Gruta do Almonda (Torres Novas) Resultados das escavações de 1988-89. *Actas das IV Jornadas Arqueológicas* (Lisboa 1990), Lisboa, pp. 161-171.

PADRÕES DE POVOAMENTO DA IDADE DA PEDRA NO VALE DO LUNHO (NIASSA, MOÇAMBIQUE)

C. Gonçalves¹; J. Cascalheira¹; J. Haws²; M. Raja³; N. Bicho¹

¹ ICArEHB - Universidade do Algarve. cmgoncalves@ualg.pt

² University of Louisville

³ Universidade Eduardo Mondlane

ABSTRACT

The central question of this research focuses on the identification of settlement patterns by communities that inhabited the Lunho Valley region (NW Mozambique) from c. 300 to c. 10 thousand years ago. Specifically, we tried to identify and characterize the settlement dynamics of each cultural phase (Middle Stone Age and Later Stone Age), in order to verify the existence of resilience or rupture factors in the selection of site location with respect to natural/landscape-related factors, and visual prominence in the landscape, among others. Using data collected during archaeological field survey conducted in the Lunho valley in 2014 and GIS techniques we explore a series of simple but important issues in relation to visibility and patterning of archaeological data. Spatial analysis of the archaeological sites identified in the Lunho Valley demonstrates that the sites are not randomly distributed across the landscape.

RESUMO

A pesquisa aqui apresentada centra-se na identificação de padrões de povoamento das comunidades que habitaram a região do vale do Lunho (Noroeste de Moçambique) entre c. 300 e 10 mil anos atrás. Especificamente, tentamos identificar e caracterizar a dinâmica de povoamento de cada fase cultural (Idade da Pedra Média e Superior), a fim de verificar a existência de fatores de resiliência ou ruptura na escolha do local em relação aos fatores naturais/paisagísticos, proeminência visual na paisagem, entre outros. Usando os dados recolhidos durante o trabalho de prospeção arqueológica realizado no vale do Lunho em 2014 e técnicas de análise espacial em ambiente SIG, exploramos uma série de questões simples, mas importantes, em relação à visibilidade e padronização de dados arqueológicos. Os resultados preliminares das análises espaciais e estatísticas (PCA, HCA, KS, Kruskal-Wallis) revelam que os sítios arqueológicos não se distribuem aleatoriamente pela paisagem.

INTRODUÇÃO

A compreensão das dinâmicas adaptativas do ponto de vista diacrónico e sincrónico das comunidades humanas no território, em paralelo com a evolução comportamental do *H. sapiens*, são temas centrais na investigação arqueológica, e dos mais debatidos em arqueologia pré-histórica (e.g., d'Errico & Henshilwood, 2007; Marean, 2011). Embora não sejam temas em si novos, uma série de descobertas recentes em contextos africanos tem contribuído para e (acender) o debate de como, quando, e de que forma os comportamentos humanos se alteraram ao longo do Plistocénico Final (e.g., Bouzouggar et al., 2007; d'Errico et al., 2001), deslocando o debate para África, quebrando desta forma o parâmetro eurocêntrico perpetuado desde o século passado. Moçambique, localizado entre a região das tradições Sangoense e Lupenbense, do Mumba diretamente a norte, e das várias indústrias da África do Sul, assume um papel de relevo para decifrar a dinâmica comportamental humana.

O vale do Lunho, localizado entre o sul do continente africano e o ápice sul do Grande Rift, apresenta uma situação impar no contexto da África austral, uma janela para a compreensão das estratégias de ocupação e exploração do território na Idade da Pedra. O seu potencial arqueológico no contexto mais amplo da pré-história do Plistocénico africano, particularmente no movimento de pessoas ao longo do Grande Rift é reconhecido há muito tempo (Bromage et al., 1995). A representatividade cronoestratigráfica e diversidade no tipo de sítios (sítios de ar livre e abrigos) também ficou comprovada com os trabalhos de escavação realizados por Mercader et al. (2008, 2012), e de prospeção arqueológica realizados por nós em 2014 (Bicho et al., 2016), que permitiram identificar mais de uma centena de sítios arqueológicos (Figura 1).

Geograficamente, o vale do Lunho localiza-se na província de Niassa e desenvolve-se por c. 50 km de este para oeste, e flui nas margens do lago que dá o nome à província (internacionalmente conhecido como Lago Malawi), no noroeste de Moçambique. Ambas as margens do vale são

marcadas pela presença de terraços e outros depósitos fluviais com extensões irregulares de pisos de cascalho.

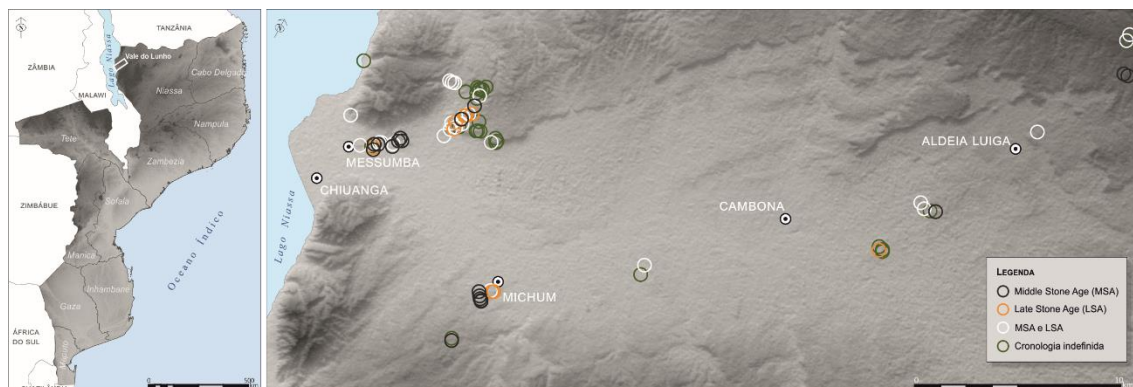


Figura 1. Vale do Lunho (Niassa) com localização dos sítios arqueológicos identificados na campanha de 2014.

MÉTODOS

Os dados coletados durante o trabalho de prospeção arqueológica realizada no vale do Lunho em 2014 (Bicho et al., 2016) foram incorporados num ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de forma a reconstruir os padrões de povoamento das comunidades humanas que habitaram a região do vale do Lunho. A modelação dos dados e as análises espaciais foram realizadas no software ArcGIS 10.5 desenvolvido pela ESRI, que disponibiliza uma variedade de ferramentas e modelos de geoprocessamento.

As variáveis topográficas foram extraídas e/ou obtidas a partir do Modelo Digital de Elevação da área de estudo através do processamento das imagens ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) com resolução de 30 m. Das variáveis derivadas da análise básica do terreno, seis foram utilizadas neste estudo: *slope*, *aspect*, *hillshade*, *plan curvature*, *profile curvature* e *convergence index*. Em adição, três diferentes escalas de índice de posição topográfica foram extraídas: *slope position classification*, *landform classification* e *Beer's aspect*. No total foram utilizadas 10 variáveis, incluindo a elevação derivada do MDE.

Para identificar relações de aleatoriedade ou não aleatoriedade entre as variáveis, ou seja, se os atributos de localização dos sítios são padronizados, criou-se um conjunto de pontos dispostos aleatoriamente pelo vale do Lunho. Os atributos topográficos dos 84 sítios arqueológicos identificados em 2014 e dos pontos aleatórios foram extraídos e analisados estatisticamente com recurso aos seguintes métodos: Análise de Componentes Principais, Análise de Clusters, Kolmogorov-Smirnov e Kruskal-Wallis.

RESULTADOS

Os resultados das análises espaciais e estatísticas revelaram que três variáveis (elevação, *aspect* e *Beer's Aspect*) explicam mais de 77,5% da diversidade nos padrões de povoamento da Idade da Pedra. A relação entre a localização dos sítios MSA e LSA também diferem entre as duas margens. É evidente que na margem sul os sítios encontram-se distribuídos por uma área mais ampla, 524 a 886 m acima do nível do mar, enquanto que os localizados na margem norte se localizam em áreas que apresentam uma altitude que varia entre os 487 e 600 m. Aspeto interessante é que enquanto o padrão de povoamento parece o mesmo para a margem norte para os sítios MSA e LSA, na margem sul o padrão é claramente diferente. Há uma clara diferença entre as duas fases, com sítios MSA localizados a altitudes mais elevadas (520-820 m), enquanto que os sítios LSA estão na maioria a c. 540 m, embora os sítios das duas fases se encontrem distribuídos igualmente ao longo da margem.

Concluindo, podemos afirmar que os sítios arqueológicos identificados na região do vale do Lunho não se distribuem aleatoriamente pela paisagem. A proximidade a cursos de água, a relativa baixa altitude e a orientação do declive norte (sítios MSA - norte; sítios LSA - sul) estão entre os fatores ambientais que influenciam a localização dos sítios.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia PTDC/EPH-ARQ/4998/2012) e à Wenner Gren Foundation pelo financiamento do trabalho de campo. E, à Direção Nacional do Património Cultural de Moçambique pela autorização das licenças de campo.

REFERÊNCIAS

- Bicho, N., Haws, J., Raja, M., Madime, O., Gonçalves, C., Cascalheira, J., Benedetti, M., Pereira, T., Aldeias, V., 2016. Middle and Late Stone Age of the Niassa region, northern Mozambique. Preliminary results. *Quaternary International* 404: 87-99.
- Bouzouggar, A., Barton, N., Vanhaeren, M., d'Errico, F., Collcutt, S., Higham, T., Hodge, E., Parfitt, S., Rhodes, E., Schwenninger, J.L., Stringer, C., Turner, E., Ward, S., Moutmir, A., Stambouli, A., 2007. 82,000 year old shell beads from North Africa and implications for the origins of modern human behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 9964-9969.
- Bromage, T., Schrenk, F., Juwayeyi, Y., 1995. Paleobiogeography of the Malawi Rift: Age and vertebrate paleontology of the Chiwondo Beds, northern Malawi. *Journal of Human Evolution* 28(1): 37-57.
- d'Errico, F., Henshilwood, C., 2007. Additional evidence for bone technology in the southern African Middle Stone Age. *Journal of Human Evolution* 52: 142-163.
- d'Errico, F., Henshilwood, C., Nilssen, P., 2001. An Engraved Bone Fragment from c. 70,000 Year Old Middle Stone Age Levels at Blombos Cave, South Africa: Implications for the Origin of Symbolism and Language. *Antiquity* 75: 308-318.
- Marean, C. 2011. Coastal South Africa and the coevolution of the modern human lineage and coastal adaptations. In N. Bicho, J. Haws, L. Davis (eds.), *Trekking the Shore: Changing Coastlines and the Antiquity of Coastal Settlement*. Springer: New York.
- Mercader, J., Bennett, T., Raja, M., 2008. Middle Stone Age starch acquisition in the Niassa Rift, Mozambique. *Quaternary Research* 70(2): 283-300.
- Mercader, J., Gosse, J., Bennett, T., Hidy, A., Rood, D., 2012. Cosmogenic nuclide age constraints on Middle Stone Age lithics from Niassa, Mozambique. *Quaternary Science Reviews* 47: 116-130.

A JAZIDA DA IDADE DA PEDRA SUPERIOR DE TXINA TXINA, BACIA DO RIO LIMPOPO, MOÇAMBIQUE

N. Bicho¹; J. Cascalheira¹; J. Haws²; C. Gonçalves¹; M. Raja¹; L. André¹; M. Benedetti³; A. Gomes¹; M. Carvalho⁴; B. Zinsious⁵; I. Benedetti³; E. Skosey-LaLonde⁵

¹ICArEHB – Universidade do Algarve. nbicho@ualg.pt

²University of Louisville

³University of North Carolina – Wilmington

⁴University of New Mexico

⁵University of Connecticut

ABSTRACT

Southeast Africa has become an important region to better understand the development of Stone Age and Anatomically Modern Humans (AMH). In the last decade, Mozambique has received some attention from various researchers probably because it is located between the earliest finds of AMH in the Omo Kibish formation and those with early evidence for cognitive complexity in coastal South Africa.

Starting in 2011 we carried out a series of non-systematic surveys in various regions of Mozambique, including the Elephant and Limpopo Rivers (Massingir), where we located c. 100 Stone Age new sites.

Here, we present preliminary data from testing, dating and material analyses (lithic, faunal and ornaments) from the new Later Stone Age site of Txina Txina, discovered during the 2016 field season. The site is located in the Machampane river gorge, a small stream that runs to the major Elephant River.

RESUMO

O Sudeste da África tornou-se uma região importante para o estudo da Idade da Pedra e do Homem Anatomicamente Moderno. Na última década, Moçambique foi alvo de atenção de vários investigadores, devido à sua localização entre a formação de Omo Kibish e a África do Sul, regiões onde se descobriram os mais antigos vestígios fósseis da nossa espécie e de complexidade cognitiva humana.

A partir de 2011, realizaram-se prospeções em várias regiões de Moçambique, incluindo nos rios dos Elefantes e do Limpopo (Massingir), onde se identificaram cerca de 100 novas jazidas da Idade da Pedra.

Apresentamos aqui os dados preliminares de sondagens, datação e análises de materiais lítico, faunístico e de adornos da jazida da Idade da Pedra Superior de Txina Txina, descoberta em 2016. O sítio está localizado na pequena garganta da ribeira de Machampane, que corre para o rio dos Elefantes.

TXINA TXINA

O Sudeste da África, nomeadamente Moçambique, tornou-se uma das regiões principais para o estudo do desenvolvimento da Idade da Pedra Média e da nossa espécie (Bicho et al., 2016; Ekblom et al., 2015; Mercader et al., 2008, 2009).

Em 2011 iniciou-se um conjunto de trabalhos de campo, com base em prospeção arqueológica em várias regiões de Moçambique (Bicho et al., 2016; Gonçalves et al., 2016), incluindo as zonas lacustres do Lago Niassa no norte e os ambientes fluviais do rio dos Elefantes e rio Limpopo na área de Massingir, e ainda na costa, de Vilankulos a sul de Maputo. A partir de 2015 temos trabalhado sistematicamente na região de Massingir, na bacia do Limpopo, onde a leste da barragem de Massingir, se localizaram principalmente vestígios da Idade da Pedra Média. Jazidas da Idade da Pedra Superior foram identificadas principalmente em Machampane, uma ribeira marcada por uma garganta escavada na rocha local, riolite, e que corre para o rio dos Elefantes. O local mais importante parece ser Txina Txina. A jazida tem mais de 2500 metros quadrados de área com uma sequência estratigráfica do Plistocénico Superior e Holocénico, com cerca de 2 metros de potência, num leque aluvial resultando de um pequeno ribeiro que corre para Machampane, onde se localizou um abrigo sob rocha da mesma cronologia.

As três sondagens de 1 m² realizadas em 2016-17 apresentam uma ampla gama de matérias-primas líticas (sílex, quartzo, quartzito, riólitos e outras rochas locais de origem vulcânica), alguns ossos de mamíferos terrestres, moluscos terrestres e aquáticos, restos de casca de ovo de avestruz, alguns deles decorados ou transformados em contas de colar.

A tecnologia lítica parece estar organizada em três esquemas principais, com a produção bipolar com núcleos e peças esquioladas, de lascas a partir de núcleos centrípetos e choppers, e de material lamelar a partir de núcleos prismáticos. Os utensílios retocados são raros, existindo alguns

crenças, raspadeiras, denticulados e entalhes. As matérias-primas parecem ser locais e são principalmente riolite (de dois tipos, um muito fino e outro de grão grosseiro), quartzito, quartzo e cherts. A frequência de matéria-prima é muito diferente entre as três sondagens, indicando uma grande diversidade no uso de matéria-prima.

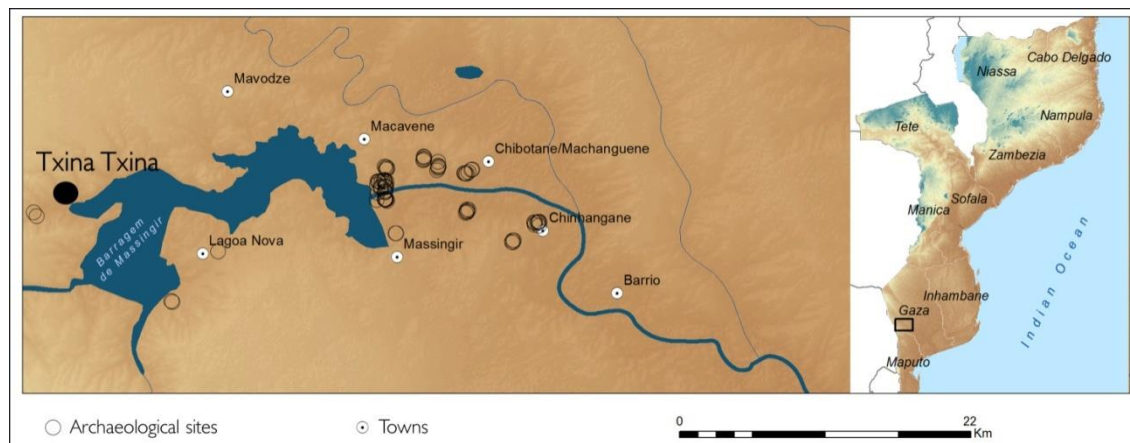


Figura 1. Mapa da Localização de Txina Txina.

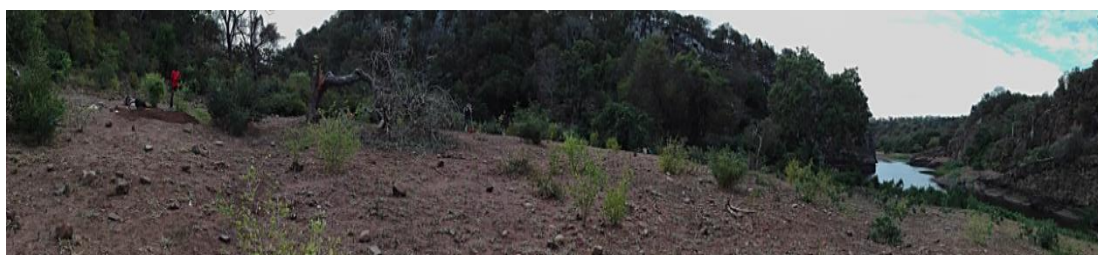


Figura 2. Vista geral de Txina Txina.



Figura 3. Materiais de Txina Txina (da esquerda para a direita): núcleos centrípetos em quartzito, crescentes e contas em casca de ovo de avestruz.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/EPH-ARQ/4998/2012 e PTDC/EPHARQ/4168/2014), à Wenner-Gren Foundation e à National Geographic Society (bolsas # Waitt Grant - W373.15 e HJ-033R-17 o financiamento para trabalho de campo em Moçambique.

REFERÊNCIAS

- Bicho, N., Cascalheira, J., Haws, J., Gonçalves, C., Raja, M., 2016. Middle Stone Age technologies in Mozambique: preliminary results. *6th annual meeting of the ESHE 2016*, Madrid.
- Eklom, A., Notelid, M., Sillen, P., 2015. Archaeological surveys in the lower Limpopo Valley, Limpopo National Park. *South African Archaeological Bulletin* 70, 201.
- Gonçalves, C., Raja, M., Madime, O., Cascalheira, J., Haws, J., Matos, D., Bicho, N., 2016. Mapping the Stone Age of Mozambique. *African Archaeological Review* 33, 1-12.
- Mercader, J., Asmerom, Y., Bennett, T., Raja, M., Skinner, A., 2009. Initial excavation and dating of Ngalue Cave: a Middle Stone Age site along the Niassa Rift, Mozambique. *Journal of Human Evolution* 57, 63-74.
- Mercader, J., Bennett, T., Raja, M., 2008. Middle Stone Age starch acquisition in the Niassa Rift, Mozambique. *Quaternary Research* 70, 283-300.

AVES PLISTOCÉNICAS DA GRUTA DA FURNINHA (PENICHE): ABORDAGEM PALEONTOLÓGICA E PALEOECOLÓGICA

S.D. Figueiredo¹; P.P. Cunha²; A.A. Martins³; M.P. Gouveia²

¹ Instituto Politécnico de Tomar, Quinta do Contador, Estrada da Serra, 2300-313. Tomar. Silverio.figueiredo@ipt.pt; Centro Português de Geo-História e Pré-História, Largo de São Caetano, 2150-265 Golegã; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

² MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia; Universidade de Coimbra; Rua Sílvio Lima, Univ. Coimbra - Pólo II; 3030-790 Coimbra. pcunha@dct.uc.pt; mariamporto@gmail.com

³ Instituto de Ciências da Terra (ICT), Dep. de Geociências, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora. aam@uevora.pt

ABSTRACT

This study aims to present taphonomic and palaeoenvironmental data of Pleistocene birds of the Furninha Cave (Peniche, Portugal central).

RESUMO

Este estudo apresentar dados tafonómicos e paleoecológicos relativos a aves plistocénicas da Gruta da Furninha (Peniche, Portugal central).

INTRODUÇÃO

A Gruta da Furninha é uma cavidade em calcários jurássicos, de génese marinha localizada a ca. de 850 m a SE do Cabo Carvoeiro, na costa sul da península de Peniche (Portugal). O patamar da galeria de entrada, situado a meio da arriba, encontra-se a ca. 15 m de altitude. Esta gruta continha um rico e diversificado conjunto fossilífero de vertebrados do Plistocénico Final, incluindo aves, que atualmente se encontra no Museu Geológico do LNEG (Lisboa). A gruta teve uma primitiva ocupação humana, documentada por 106 artefactos do Paleolítico Médio encontrados nos níveis inferiores (provavelmente plistocénicos). Este estudo incide, principalmente, em dados tafonómicos e paleoecológicos relativos aos ossos de aves que estavam presentes em 6 camadas (entre os 4,0 e os 9,3 m de profundidade).

A gruta foi escavada em finais do Séc. XIX por Nery Delgado (1884), que definiu duas unidades estratigráficas principais: a que designou de “entulho superior” e que possuía materiais arqueológicos do Neolítico; e a que designou por “areias quaternárias”, que tinha artefactos líticos paleolíticos e um grande número de ossos que serviram de base à subdivisão em vários “níveis ossíferos”. Breuil & Zbyszewski (1945) acrescentaram uma terceira unidade estratigráfica (basal) e por eles atribuída ao interglaciar Riss-Würm; nestas três unidades, foram definidas 16 camadas. Uma datação, pelo método das séries de urânio, realizada sobre um osso do 3.º nível ossífero, deu ca. 81 ka (Raposo, 1995).

No primeiro inventário dos vertebrados desta gruta foram listados ca. três dezenas de táxones de mamíferos e referida, de forma genérica, a presença de aves, quelónios e peixes. Algumas décadas depois, o conjunto faunístico foi mais exaustivamente estudado por Edouard Harlé com recurso a contactos e coleções museológicas; no caso das aves, E. Harlé contou com a colaboração de E. T. Newton. A fauna mamalógica foi, durante o século XX e inícios do século XXI, revisitada à luz dos conhecimentos ulteriores, proporcionando novas análises (Cardoso, 1993; Brugal, 2012). No caso das aves, até 2007, a bibliografia apenas revelava reproduções nominativas do estudo publicado por Harlé, em 1911. A partir de 2008, a avifauna plistocénica da Furninha foi estudada por S. Figueiredo (Pimenta et al., 2008; Figueiredo, 2010; Brugal et al., 2012; Figueiredo et al., 2014).

MÉTODOS

Este estudo baseou-se em pesquisa bibliográfica, na comparação osteológica com a coleção de referência do Lab. de Arqueociências da DGPC, bem como na associação dos dados taxonómicos com o ambiente das espécies identificadas, segundo os “níveis ossíferos” de proveniência dos restos estudados.

RESULTADOS

As aves desta jazida são importantes no contexto da avifauna plistocénica portuguesa uma vez que são relativamente abundantes, pois representam cerca de 10% da totalidade dos vertebrados lá encontrados. Nos estudos taxonómicos efetuados foram identificados 39 táxones de aves, destacando-se a identificação de um úmero de *Pinguinus impennis*, ave extinta no século XIX e típica de climas frios.

DISCUSSÃO

No conjunto dos níveis ossíferos, embora a grande maioria das aves identificadas pertença a espécies e géneros ainda viventes em Portugal, muitas delas indicam condições paleoclimáticas mais frias do que as atuais, como é o caso de alguns Chadradriiformes (tais como o *Pinguinus impennis*), corvídeos, anatídeos e strigiformes. A posição aos ca. +15 m do patamar elaborado por um alto nível marinho deixa em aberto a sua idade; pode ter sido gerado pelo *Marine Isotope Stage* 5e (ca. 125 ka; ca. +6 m; implicando forte soerguimento tectónico) ou, mais provavelmente, pelo MIS7c (200 ka), MIS9e (320 ka) ou mais antigo. A longa ocupação faunística e humana da gruta ocorreu após a gruta ter ficado acima do nível do mar.

CONCLUSÃO

As aves identificadas nos restos ósseos provenientes da Gruta da Furninha são importantes no contexto da avifauna plistocénica portuguesa, pela quantidade de restos e de táxones identificados e pelas indicações paleoambientais que fornecem. Nery Delgado durante a escavação da Gruta da Furninha recolheu segundo os níveis sedimentares que identificou, o que permite fazer um estudo mais aprofundado da evolução paleoclimática e aprofundar a datação absoluta, o que poderá trazer informações importantes para a compreensão da evolução geológica da gruta.

REFERÊNCIAS

- Cardoso, J.L., 1993. *Contribuição para conhecimento dos grandes mamíferos do Plistocénico superior de Portugal*. Câmara Municipal de Oeiras.
- Brugal, J-P, Argant, J., Crispim, J.A., Figueiredo, S, Serra, A.M., Palmqvist, P., 2012. The Complex Carnivore-rich Assemblages from Furninha (Peniche, Portugal): a Multidisciplinary Approach. *Journal of Taphonomy*: 417-138.
- Delgado, J.F.N., 1884. La Grotte de Furninha à Peniche, *IX Congrès International d'Anthropologie et d'Archéologie Préhistoriques*. Ed. Académie Royale des Sciences, Lisboa, pp. 207-278.
- Figueiredo, S., 2010. *A Avifauna Plistocénica de Portugal: especificidades evolutivas, anatómicas e o seu contexto paleontológico, geológico e arqueológico*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Salamanca.
- Figueiredo, S., Rosa, M.A., 2014. Indicadores Paleoecológicos Resultantes do Estudo da Avifauna do Plistocénico Médio e Superior Português: evolução paleoclimática e comparação com os ambientes atuais. *Arqueofauna e Paisagem*, pp. 37-41, Brasil
- Harlé, E. 1910-11. Les mammifères et oiseaux quaternaires connus jusqu'ici en Portugal. *Mémoire suivi d'une liste générale de ceux de la Péninsule Ibérique. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal VIII*: 22-86.
- Pimenta, C., Figueiredo, S., Moreno-Garcia, M., 2008. Novo registro de Pinguim (*Pinguinus impennis*) no Plistocénico de Portugal. *Revista Portuguesa de Arqueologia* 11 (2): 361-370.
- Raposo, L., 1995. Ambientes, Territorios y Subsistencia en el Paleolitico Medio de Portugal, *Complutum* 6: 57-77.

O CANTO DAS AVES NOS RECINTOS DO NEOLÍTICO E CALCOLÍTICO DE PORTUGAL. ESTUDO DOS RESTOS ARQUEOFAUNÍSTICOS DE AVES

C. Costa¹

¹ICArEHB – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. cmcosta@ulag.pt

ABSTRACT

In the taxonomic lists available for the Neolithic and Chalcolithic ditch and walled enclosures, birds are present. However, their meaning among the total assemblage of the faunal remains, always dominated by macro mammals, is not properly valued. The aim of this presentation is, on one hand, to catalogue the bird species available in the scientific literature and, on the other, to present the unpublished data from two ditch enclosures: Perdigões (Neolithic and Chalcolithic) and Montoito (Chalcolithic). I also aim to reflect about the eventual meaning of the birds presence based in the study of the taphonomic signatures like anatomical representation and post-mortem manipulations.

RESUMO

Nas listagens taxonómicas dos recintos de fossos e murados do Neolítico e Calcolítico do território português encontram-se aves. Contudo, como o seu contributo é diminuto no seio do conjunto geral da fauna de vertebrados, sempre dominada pelos macromamíferos, o seu significado não é devidamente valorizado. O objectivo desta apresentação é por um lado inventariar as espécies de aves disponíveis na literatura e por outro apresentar alguns dados inéditos de dois recintos de fossos: Perdigões (Neolítico e Calcolítico) e Montoito (Calcolítico). Propõe-se também uma reflexão sobre o seu eventual significado com base no estudo tafonómico dos espécimes, isto é, estudo da representação anatómica e das marcas de manipulação pós-mortem.

INTRODUÇÃO

Na última década tem-se assistido ao desenvolvimento de vários estudos de zooarqueologia centrados na problemática dos recintos da pré-história recente, quer os designados recintos de fossos quer os recintos murados e seus espaços de necrópole. Contudo, a investigação tem-se concentrado sobretudo sobre os macromamíferos, ficando uma boa fracção do espectro faunístico por compreender.

De entre as listas taxonómicas disponíveis, encontram-se, mesmo assim, algumas referências à existência de aves, nem sempre identificadas. Nesta contribuição propomo-nos 1) fazer o inventário dos restos de aves disponíveis nos recintos de fossos e murados do Neolítico e Calcolítico do território português; 2) apresentar as identificações inéditas das aves recolhidas nas escavações arqueológicas de Perdigões (Neolítico e Calcolítico) e Montoito (Calcolítico); 3) estudar a representação esquelética de todas as aves disponíveis até ao momento e 4) apresentar uma interpretação para a sua ocorrência.

MÉTODOS

Além da recolha da bibliografia disponível, procedemos ao estudo dos materiais arqueofaunísticos inéditos de Montoito e Perdigões com recurso à colecção de referência do Laboratório de Arqueociências da Direcção Geral do Património (LarcCiBio DGPC) em Lisboa (Moreno Garcia et al., 2003). Alguns grupos taxonómicos, como os corvídeos, revelam similitudes ao nível da morfologia do esqueleto pelo que foi necessário proceder às distinções osteométricas definidas por Vonden Driesch (1976) e Tomek & Bochenski (2000). Numa segunda fase observamos as superfícies osteológicas dos ossos de aves no sentido de tentar encontrar marcas de manipulação antrópica, segundo os procedimentos metodológicos preconizados por Binford (1981) e Lyman (1994).

RESULTADOS

As Tabelas 1 e 2 apresentam os dados relativos à frequência e representação anatómica das principais famílias de aves representadas nos recintos de fossos e murados de Portugal.

Tabela 1. Frequência das principais famílias de aves representadas nos recintos de fossos e mudados de Portugal (CV = Castanheiro do Vento; Z = Zambujal; PL = Penedo do Lexim; L = Leceia; C = Chibanes; M = Montoito; P = Perdigões; PT = Porto Torrão; T = Total).

	CV	Z	PL	L	C	M	P	PT	T
ANSERIFORMES									
Anatidae		1							1
GALLIFORMES									
Phasianidae		142	7	10	1		8		168
PROCELLARIIFORMES									
Procellariidae				1					1
PELECANIFORMES									
Sulidae		15	1	21	2		1		40
Phalacrocoracidae		2							2
CICONIIFORMES									
Ciconiidae		1							1
ACCIPITRIFORMES									
Accipitridae		6	2	2			2		12
FALCONIFORMES									
Falconidae		1					1		2
GRUIFORMES									
Gruidae				2					2
Otidae	1	6					2		9
CHARADRIIFORMES									
Scolopacidae		6							6
COLUMBIFORMES									
Columbidae		12	1	1					14
STRIGIFORMES									
Tytonidae		2					16		18
Strigidae							1		1
PASSERIFORMES									
Alaudidae		1		1					2
Hirundinidae		1							1
Turdidae		6		2	1		4		13
Sylviidae		1							1
Oriolidae		1							1
Corvidae		42	3	1		6	2	6	60
Sturnidae		3							3
Total	1	249	14	41	4	6	37	6	358

DISCUSSÃO

Na leitura dos dados disponíveis até ao momento verificamos que, além das perdizes (*Alectoris rufa*) que são comuns a grande parte dos recintos, verifica-se que os tordos e os corvídeos são os grupos taxonómicos mais comuns nos recintos do Alentejo como Montoito, Perdigões e Porto Torrão (Pereira, 2016). Já nos recintos murados da Estremadura Portuguesa, como Zambujal (Driesch & Boessneck, 1976) e Leceia (Gourichon & Cardoso, 1995), além destes grupos aparecem outras espécies como pombos, alcatraz e outras aves marinhas.

Observando a representação anatómica dos restos de aves nos diversos sítios arqueológicos, verifica-se uma presença quase constante de ossos das asas, por isso, além do aproveitamento da carne das aves e/ou da sua gordura, discute-se a hipótese do aproveitamento das asas ou das penas das asas nos contextos das actividades do domínio do simbólico.

Tabela 2. Representação anatómica das principais famílias de aves (PHA = Phasianidae; SUL = Sulidae; COR = Corvidae; TYT = Tytonidae; COL = Columbidae; ACC = Accipitridae; TUR = Turdidae; T = Total).

	PHA	SUL	COR	TYT	COL	ACC	TUR	T
Crânio		1	2					3
Esternum	3							3
Fúrcula	2							2
Escápula	9		1					10
Coracoide	30		4	1	2		1	38
Úmero	13	1	3	2	7		7	33
Rádio	3	14	2	1	1	2		23
Ulna	5	4	4	3	1	2		19
Carpais	5		1					6
Carpometacarpo	5	4			1	1	7	18
Digito		1				1		2
Fémur	6		4	3	1		1	15
Tibiotarso	30	1	2	2	2		4	41
Tarsometatarso	38	7	3	4	1	1	5	59
Falanges	13	7	1	2	2	2		27
Total	162	40	27	18	18	9	25	299

CONCLUSÃO

Os conjuntos de restos de aves datados do Neolítico e Calcolítico dos recintos de fossos e murados de Portugal são pequenos, mas fornecem listagens taxonómicas diversificadas onde ocorrem corvídeos, tordos, rapinas, pombos e perdizes além de aves marinhas.

A representação anatómica e verificação das marcas tafonómicas é a chave para o entendimento verdadeiro contributo destes animais no âmbito social e económico das sociedades que ocuparam estes sítios.

REFERÊNCIAS

- Binford, L.R., 1981. *Bones: ancient men and modern myths*, Academic Press.
- Driesch, A.V.d., Boessneck, J., 1976. Die Fauna vom Castro do Zambujal. München: 5 Universität; Deutsches Archäologisches Institut, Abteilung Madrid (Studienüberfrühe Tierknochenfunde von der Iberischen Halbinsel).
- Gourichon, L., Cardoso, J.L. 1995. L'avifaune de l'habitat fortifié chalcolithique de Leceia (Oeiras, Portugal). *Estudos Arqueológicos de Oeiras* 5: 165-186
- Lyman, R.L., 1994. *Vertebrate taphonomy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Moreno García, M, Pimenta, C., Davis, S., Gabriel, S., 2003. A osteoteca: uma ferramenta de trabalho. In MATEUS, José Eduardo, Moreno-García, Marta (eds). *Paleoecologia Humana e Arqueociências*. Um Programa Multidisciplinar para a Arqueologia sob a Tutela da Cultura. Lisboa, Instituto Português de Arqueologia. *Trabalhos de Arqueologia* 29.
- Pereira, V., 2016. Repastos alentejanos. Dados preliminares da fauna do Porto Torrão (Ferreira do Alentejo). In Vilaça, Raquel, Serra, Miguel. *Matar a fome, alimentar a alma, criar sociabilidades. Alimentação e comensalidade nas sociedades pré e proto-históricas. To feed the body, to nourish the soul, to create sociability. Food and commensality in pre and protohistoric societies*, Coimbra, pp. 39-53.
- Tomek, T., Bochenski, Z., 2000. The comparative osteology of European Corvids (Aves: Corvidae), with a key to the identification of their skeletal elements, Kraków: Institute of Systematics and Evolution of Animals.

GEOARQUEOLOGÍA DE ONOBA AESTUARIA Y LA DELIMITACIÓN DE SU LÍNEA DE COSTA EN EL TRÁNSITO DE LA PROTOHISTORIA A LA ÉPOCA ROMANA

J. Rodríguez-Vidal^{1,2}; J. Campos^{2,3}; J. Bermejo^{2,3}; P. Gómez^{1,2}; L.M. Cáceres^{1,2}

¹ Depto. Ciencias de la Tierra, Campus del Carmen, Universidad de Huelva, España. jrvidal@dgeo.uhu.es

² Campus de Excelencia Internacional-CEIMAR, Universidad de Huelva, España.

³ Depto. Historia, Geografía y Antropología, Campus del Carmen, Universidad de Huelva, España.

ABSTRACT

The geoarchaeological studies of the ancient city of *Onoba* and its harbour cove have allowed us to define the interrelationship between the natural dynamic processes and the occupation of the territory, as well as to delimit the palaeo-shoreline during the Late Prehistory and Roman times.

RESUMEN

Los estudios geoarqueológicos en la antigua ciudad de *Onoba* y su ensenada portuaria muestran las estrechas relaciones entre procesos dinámicos naturales y ocupación del territorio, así como sirven para definir la paleolínea de costa en época prerromana y romana.

INTRODUCCIÓN

Las casi tres décadas de estudios geológicos cuaternaristas en el estuario de Huelva (Cáceres Puro, 1995; Rodríguez-Vidal & Vera, 2016), así como las más de cuatro décadas de excavaciones arqueológicas en el solar de la ciudad han proporcionado información suficiente como para interrelacionar la dinámica geomorfológica costera durante el Holoceno superior y la distribución de la población en la antigua *Onoba*. Los mayores avances se han experimentado en los aspectos concernientes al urbanismo y evolución diacrónica para el periodo romano, desde momentos republicanos hasta la tardoantigüedad (Campos, 2011; Bermejo et al., en prensa).

ANÁLISIS GEOARQUEOLÓGICO

La extensión de la ciudad por las zonas más bajas del relieve debió de producirse desde la Prehistoria reciente, entre los siglos de tránsito del II al I Milenio a.C. La favorable posición geoestratégica de los “cabezos” y de sus ensenadas arenosas meridionales (Figura 1A) facilitó su uso como puerto marítimo-fluvial, al cual se podía acceder desde el mar por entre los bajíos arenosos de la antigua bocana, situada en la actual barrera del Almendral (isla Saltés septentrional), que se flanqueaba al este por el inicio de la actual flecha de Punta Arenilla. Los acantilados que bordeaban los cabezos se interrumpían en su zona central por una red de barrancos que drenaban las arenas y gravas del Plioceno-Pleistoceno y creaban un abanico aluvial en la misma confluencia fluvial, a modo de extenso dique natural (Figura 1A), probablemente formado con anterioridad o durante el inicio del II Milenio a.C. Las pruebas arqueológicas del I Milenio a.C. dan testimonio de la importante posición que ocupó el puerto de *Onoba* durante el Bronce Final atlántico y su transición a la I Edad del Hierro (Campos, 2011).

Aunque el conocimiento de la topografía urbana de la *Onoba* romana ha variado de forma significativa en las últimas décadas, el área del puerto es, sin lugar a dudas, el sector urbano que más datos arqueológicos ha aportado. Situado en la zona baja de la ciudad (Figura 1B), se desarrollaba en una pequeña ensenada con dos riberas portuarias: la occidental que recorrería la actual calle Vázquez López y la oriental en la zona de las calles Palos, Cardenal Cisneros y Fernando el Católico, al pie del cabezo de La Esperanza; es decir, geomorfológicamente, la paleoensenada portuaria quedaba delimitada, a poniente, por la ribera arenosa del abanico aluvial prehistórico y, a levante, por los escarpes acantilados de la Formación pliocena de Arenas de Huelva (Figura 1B). La primera de ellas estaba más dedicada a la administración, gestión y control del puerto, con significativos restos monumentales y comerciales que indican la existencia de un barrio portuario; la segunda ofrece todo un conjunto de factorías o industrias relacionadas con la extracción y transformación de los productos pesqueros, así como un faro o *lanterna* de entre 15 y 18 m de altura (Campos 2011; Bermejo et al., en prensa).

Esta configuración geomorfológica estable facilitó el mantenimiento de una actividad portuaria floreciente durante los siglos I y II d.C. No obstante, durante el s. III d.C. se produjo una marcada retracción debida, posiblemente, al avance de las marismas en la ensenada y a la mayor actividad dinámica de la arroyada, que reactivó los abanicos aluviales y su avulsión hacia el flanco norte de los cabezos (Figura 1B). Estos aluvionamientos tal vez estuvieron vinculados con un aumento de la precipitación anual o, probablemente, con un régimen de lluvias más torrencial. El frecuente trasiego de sedimentos e inundaciones debieron destruir las infraestructuras urbanas de esa zona de *Onoba* y el desplazamiento del río Odiel hacia el oeste, junto con la línea de costa de la antigua *Palus Erebea* romana.

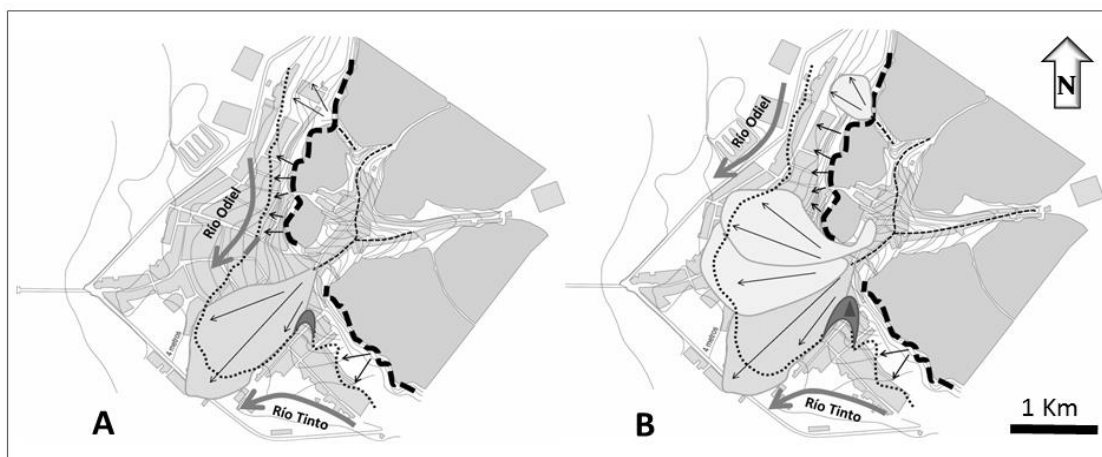


Figura 1. Rasgos geomorfológicos principales del relieve de *Onoba* en época protohistórica (A) y romana (B). Propuesta de línea de costa (línea de puntos) en la confluencia de los ríos Odiel y Tinto, así como situación de la ensenada portuaria (media luna) y el probable faro (triángulo).

CONCLUSIONES

La puesta en común de los estudios arqueológicos y geomorfológicos, en la ciudad de Huelva, está proporcionando información de tipo geoarqueológico sobre la ciudad prerromana y romana de *Onoba*, donde la dinámica de los sistemas torrenciales en los cabezos y la evolución de sus acantilados circundantes han condicionado los cambios de relieve, del paisaje y de los asentamientos humanos, así como de la delimitación de la línea de costa en el paleoestuario de los ríos Odiel y Tinto, o antigua *Palus Erebea*.

REFERENCIAS

- Bermejo, J., Campos, J., Rodríguez-Vidal, J., en prensa. Las estructuras portuarias de *Onoba Aestuaris*: Un puerto pesquero y de control imperial. En: *Del Atlántico al Tirreno. Los puertos béticos y lusitanos y sus relaciones comerciales con Ostia Antica*. L'Erma di Bretschneider, Roma.
- Cáceres Puro, L.M., 1995. Geomorfología del sector occidental de la Depresión del Guadalquivir. Tesis Doctoral, Universidad de Huelva, 292 pp. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva (1999).
- Campos, J., 2011. *Onoba Aestuaris*. Una ciudad portuaria en los confines de la Baetica. Huelva. Ayuntamiento de Huelva.
- Rodríguez-Vidal, J., Vera, J.C., 2016. Geo-arqueología en el estuario del Huelva: Evolución holocena y poblamiento. *IX Congreso Geológico de España*, Geo-Guías 10, Huelva.



Sistemas continentais

Sistemas continentales

LA GLACIACIÓN EN LA SIERRA DE XISTRAL (NW DE IBERIA)

M. Valcárcel¹; A.L. Vázquez-Rodríguez¹; J.R. Sampedro-Guimarey¹; J. Hall-Riaza¹; X. Pontevedra-Pombal²

¹ Universidade de Santiago de Compostela (USC). Departamento de Xeografía. marcos.valcarcel@usc.es

² Universidade de Santiago de Compostela (USC). Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola.

ABSTRACT

This paper aims to demonstrate the existence of Pleistocene glaciers which developed on the low-altitude mountains of the northwest of the Iberian Peninsula and their importance as a differentiated phenomenon. The forms described correspond both to the presence of an ice cap in the higher reaches of the Xistral Mountains and to the presence of small isolated local glaciers. In summary, this site presents the most extensive glaciation at such a low altitude described in the whole continental Atlantic region with a minimum estimated surface area of 20 km². When the glaciers reached their maximum extension the local ELA must have been situated close to 850 m.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a existência de glaciares do Pleistoceno que se desenvolveram nas montanhas de baixa altitude do noroeste da Península Ibérica e sua importância como fenômeno diferenciado. As formas descritas correspondem tanto à presença de uma icefeld no alto dos montes Xistral como à presença de pequenos glaciares isolados. Em resumo, este sítio apresenta a glaciação mais extensa desenvolvida a partir de picos ligeiramente elevados descrita em toda a região atlântica continental, com uma superfície mínima ouseestimada de 20 km². Quando os glaciares atingiram a sua extensão máxima, o ELA local ficou perto de 850 m de altitude.

INTRODUCCIÓN

La presencia de sectores montañosos cercanos al mar a lo largo de toda la costa cantábrica y atlántica del NW de la Península Ibérica pudo facilitar la presencia de glaciares a más baja altitud. Además esto es así porque fuera de este ámbito geográfico durante el Last Glacial Maximum (LGM) las montañas europeas cercanas al mar quedaron oculta debajo del ice sheet pleistoceno, por lo que, con escasas excepciones, fueron estas montañas de latitudes medias situadas al sur del arco atlántico europeo las únicas susceptibles de soportar aparatos glaciares locales.

A pesar de esta cuestión evidente, el estudio del glaciario de la Montaña de Xistral es menos agradecido para la realización de estudios sobre el terreno, pues por no tratarse de una montaña “alpina” las evidencias son menos obvias. Quizá por ello su estudio ha atraído mucho menos atención. Así, la mayoría de las investigaciones sobre el glaciario pleistoceno del norte y noroeste de la Península Ibérica se centran, hasta finales del siglo pasado, en los grandes sistemas montañosos, y durante mucho tiempo las evidencias de la acción de climas fríos pleistocenos en macizos de altitudes más bajas estarían restringidas únicamente en el estudio de los ambientes periglaciares, que por otro lado alcanzaron cotas también muy baja en el contexto del noroeste peninsular (Costa Casais & Caetano Alves, 2013; Oliva et al., 2016), indicando unas condiciones paleoclimáticas ciertamente severamente frías.

MÉTODOS

Se ha partido de la existencia de una cartografía geomorfológica previa realizada a partir de trabajo de campo llevado a cabo en la primera mitad de los años noventa (Pérez-Alberti et al., 1995). Esta cartografía se ha vertido tal cual sobre la cartografía de trabajo, confirmándose su validez con los nuevos trabajos de campo que han arrojado la existencia de nuevas evidencias, tanto a nivel de formas como de depósitos. Completada la cartografía geomorfológica de base mediante nuevos trabajos de campo, en los que se han tomado medidas mediante GPS y toma de muestras en depósitos, así como la descripción de estos a nivel de afloramiento, se ha realizado apoyándose en un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10.1), lo que ha permitido más adelante cartografiar la cobertura de hielo glacial. Se ha partido de la elaboración de un Modelo Digital del Terreno (DTM) a partir de datos LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) con una resolución de 5 m (datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional), Se han utilizado ortofotografías para acoplar al DTM. Una vez

delimitadas las áreas de estudio se han elaborado modelos DTM-LIDAR con 1 m de resolución. Se han completado los modelos con coordenadas obtenidas sobre el terreno, en concreto de formas singulares como las crestas morrénicas. Finalmente se procesó toda la información empelando el software ArcGis 10.1, así como SAGA SIG. La resolución de los datos LIDAR permite que mediante las herramientas *Spatial Analyst* y *3D Analyst* se obtengan las curvas de nivel en intervalos de 5 m, el mapa altitudinal y el de pendientes de ambas áreas de estudio con una gran precisión. A continuación, se extrajeron los puntos de las coordenadas tomadas en el trabajo de campo mediante la herramienta *Add XY data*. De estas coordenadas se obtiene la ubicación de las crestas morrenicas, las cuales también se han cartografiado, empleando estos datos y completando con datos GPS sobre el terreno. Con la finalidad de delimitar el área de los glaciares, se emplea la herramienta *Calculate Geometry*, la cual calcula la superficie de los polígonos que conforman los glaciares en km². Finalmente se ha superpuesto estos archivos a los modelos digitales, dando lugar a las figuras finales. Toda la información cartográfica fue editada, a partir de las coberturas generadas, mediante el un programa de edición (Corel Draw 12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evidencias encontradas en las Montañas de Xistral, del desarrollo de glaciares que llegaron alcanzar unos 20 km² de superficie estimada para los sectores estudiados, y que se puede sostener a partir de la presencia de formas y depósitos, los cuales documentan fehacientemente la instalación de masas glaciares sobre estas montañas. Este trabajo se ha centrado el interés en el esclarecimiento de la dimensión del máximo avance glaciar, y no de sus fases posteriores, que ya han sido estudiadas con más detalle (Valcárcel, 1998; Valcárcel, 2001; Hall et al., 2016). Es clave la presencia de las crestas morrénicas del sector de Fonte do Esterco, que hablan de una potencia y extensión del hielo considerables, y mucho mayor de la descrita hasta ahora en trabajos previos (Pérez Alberti et al., 1995; Valcárcel, 1998) y confirma la presencia de una ELA extremadamente baja, del orden de los 850 m de altitud.

CONCLUSIÓN

La glaciación que afectó a las montañas Xistral fue extensa y compleja en su evolución. Llegó a ocupar una superficie mínima de 20 km² (este valor debe ser considerado como un mínimo conservador ya que muchos sectores de la sierra no están incluidos en este estudio). La ELA se habría situado a unos 850 m sobre el nivel del mar, ya que la línea de cumbres afectadas or la presencia de glaciares no supera una altitud de 900 m. Sus formas aplanadas y la presencia de valles con un suave perfil longitudinal, como los de los ríos Eume y Pedrido, facilitaban la acumulación de gran cantidad de hielo, con la presencia de frecuentes difluencias entre las formas glaciales. Los relieves resultantes de la acumulación son extremadamente claros, con una gran abundancia de morrenas, que indican diferentes fases de retroceso consecutivas a una pulsación de avance máximo.

REFERENCIAS

- Hall-Riaza, J.F., Valcárcel, M., Blanco-Chao, R., 2016. Caracterización morfométrica de formas glaciares en cuña en las Sierras de Xistral, Teleno y Cabrera. *Polígonos. Revista de Geografía* 28: 55-71.
- Costa-Casais, M., Alves, M.I.C., 2013. Geological heritage at risk in NW Spain. Quaternary deposits and landforms of "Southern Coast"(Baiona-A Garda). *Geoheritage* 5(4): 227-248.
- Oliva, M., Serrano, E., Gómez-Ortiz, A., González-Amuchastegui, M.J., Nieuwendam, A., Palacios, D., Pérez-Alberti, A., Pellitero-Ondicol, R., Ruiz-Fernández, J., Valcárcel, M., Vieira, G., 2016. Spatial and temporal variability of periglaciation of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 137: 176-199.
- Pérez-Alberti, A., Rodríguez-Gutián, M., Valcárcel, M., 1995. Acción e importancia del frío durante el Cuaternario reciente en las Sierras Septentrionales de Galicia (Noroeste Ibérico). *Actas III Reunión del Cuaternario Ibérico*, Coimbra, 1993, pp. 79-84.
- Valcárcel, M., 1998. Evolución geomorfológica y dinámica de las vertientes en el noreste de Galicia: Importancia de los procesos de origen frío en un sector de las montañas lucenses. Ph. D. Thesis, Universidade de Santiago de Compostela, Spain, 496 pp.
- Valcárcel, M., 2001. Una Forma Glaciar Erosiva (Breitböden) Como Indicadora del Régimen Térmico de los Glaciares Pleistocenos en la Sierra de Xistral (Nw Ibérico). *Actas del Congreso de Geógrafos Españoles*, Universidad de Oviedo, pp. 230-232.

PALEOMAGNETISMO EN TERRAZAS ALTAS DEL RÍO GUADALQUIVIR (SECTORES CAMPANA Y CARMONA, SEVILLA)

R. Baena-Escudero^{1,2}; I. Guerrero-Amador¹; J.J. Fernández-Caro^{1,2}

¹ Dpto. Geografía Física, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla. C. María de Padilla s.nº. 41004-Sevilla. baena@us.es; inmaguer@us.es.

² Seminario Francisco Sousa: Geomorfología, Paleontología y Arqueología. Universidad de Sevilla-Ayto.de La Rinconada. Avda. Los Chapatales, s/nº. 41309-La Rinconada (Sevilla). cultura@ayto.es

ABSTRACT

The paleomagnetic analysis of the alluvial deposits of the T6 and T8 Guadalquivir River terraces near Fuentes de Andalucía and Carmona (Seville), show a normal polarity in the first case and reverse in the second. It matches the end of the Jaramillo subchron (0,99 Ma, 1r.1n) in the T6 terrace and the Matuyama/Brunhes reversed polarity (0,78 Ma) at the end of the deposit of the T8 terrace to +90-100 m with a indeterminated Lower Paleolithic in the General Sequence of Guadalquivir Terraces (SGST).

RESUMEN

El análisis paleomagnético del aluvionamiento de las terrazas T6 y T8 del Guadalquivir en Fuentes de Andalucía y Carmona (Sevilla), muestra polaridad normal en la primera e inversa en la segunda. Ello se correlaciona con el final del subcron Jaramillo (0,99 Ma, 1r.1n) y con el tránsito M/B (0,78 Ma) con Paleolítico Inferior indeterminado en la Secuencia General de las Terrazas del Guadalquivir (SGTG).

INTRODUCCIÓN

La elaboración desde finales del siglo XX de crono-secuencias en terrazas fluviales de algunos ríos de Europa y la aplicación generalizada durante el siglo XXI de métodos de datación absoluta cada vez más variados y precisos (TL, OSL, ESR, AAR,...), está permitiendo correlaciones globales entre terrazas fluviales tanto a nivel de registros paleolíticos (Bridgland et al., 2006), como paleontológicos (Schreve et al., 2007) o de relación altura relativa-edad numérica-estadios isotópico marinos (Antoine et al., 2007; Silva et al., 2016). En ellas, el uso del paleomagnetismo en sedimentos aluviales es un método efectivo para abordar en sentido amplio la transición Pleistoceno Medio-Superior (MPT, c. 1,2-0,5 Ma).

En el caso del Guadalquivir, los datos utilizados, corresponden a los obtenidos en los años 90 en las terrazas a cuyos aluvionamientos se pudo acceder y que permitieron elaborar la primera Secuencia General de este río (Baena, 1993; Díaz del Olmo & Baena, 1997), con resultados de calidad sólo en una terraza alta (T5 en Carmona), dos medias (T10 y T12 en Carmona y La Rinconada) y un fondo de valle de arroyo en Carmona. Todas mostraron polaridad normal lo que llevó a correlacionarlas con época Brunhes posterior al cambio de polaridad Matuyama/Brunhes y por tanto, con cronologías más recientes a 0,78 Ma (Baena & Díaz del Olmo, 1994). Estos datos han sido confirmados posteriormente con magneto-estratigrafías en las terrazas muy bajas (T14), bajas (T13) y última terraza media (T12) (Baena & Díaz del Olmo, 2000; Baena & Guerrero, 2011). En este trabajo se dan a conocer nuevos resultados paleomagnéticos obtenidos en dos terrazas altas del Guadalquivir en su tramo bajo: T6 en Fuentes de Andalucía (sector Campana) y T8 en Carmona. A partir de ellos se replantea el marco cronológico de referencia para la Secuencia General de las terrazas del Guadalquivir (SGTG) y en consecuencia, el de la industria lítica en ellas encontrada (Baena et al., 2014).

ÁREA DE ESTUDIO Y MÉTODO

Siguiendo la cartografía geomorfológica a escala 1:25.000 del cuaternario del Bajo Guadalquivir (Baena, 1993), se han muestreado dos terrazas que no contaban con registro paleomagnético. La T6 a +130-140 m, a la que se tuvo acceso mediante una zanja de 2,5 m de profundidad por 0,80 m de ancho en la finca "La Dehesa" a unos 2 Km al NW de la población de Fuentes de Andalucía; y la T8, a +90-100 m, donde la apertura de una zanja para la tubería de agua potable a Carmona, permitió acceder a una sección longitudinal paralela a la autovía del Sur (E5) entre los arroyos de Las Merinas y Santiche. Con hasta 4 m de profundidad, 2 m de ancho y 800 m

de recorrido, la zanja seccionaba tanto el aluvionamiento como otras formaciones coluvionares, palustres del propio arroyo Santicheque se superponían a él.

A partir de los perfiles de ambas terrazas se tomaron 6 muestras para paleomagnetismo, orientadas en Campo, mediante un extractor de blandos (Baena, 1997). Su análisis se realizó en el Laboratorio de Paleomagnetismo UB-ICT "Jaume Almera" (CSIC, Barcelona), midiéndose susceptibilidad magnética, magnetización remanente natural y magnetización remanente posterior a la desmagnetización obtenida tras la aplicación de campos alternantes (AF) y calentamiento progresivo (Tdemag). Las medidas se efectuaron con un magnetómetro criogénico triaxial (CCL-GM4000), un susceptibilímetro Kappabridge KLY-2 (Geofizika Brno), un horno TSD-1 (Schonsted) y un desmagnetizador AF modelo GSD-5 (Schonsted). La caracterización de la variación de la remanencia magnética hasta la casi total desmagnetización, se controló en base a un campo de desbloqueo único para las muestras de la T8 en pasos de 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 50; 70 y 100 mT y en las de la T6, con calentamientos a intervalos crecientes de 100°, 150°, 200°, 300°, 400° y 470°C. La componente característica (ChRM) se obtuvo para las primeras a partir de los 50-70 mT y para las segundas, a partir de los 150-200°C, representándose los resultados mediante diagramas ortogonales (Zijderveld, 1967).

RESULTADOS PALEOMAGNÉTICOS EN TERRAZAS ALTAS

El Complejo de terrazas altas del Guadalquivir lo integran cinco niveles (T5 a T9) que alcanzan su mayor desarrollo espacial entre Córdoba y Sevilla. El conjunto, mantiene una disposición escalonada con superposición de aluvionamientos y sobre ellos suelos fersialíticos (2,5YR), coluviones (rojos y negros) y, localmente, procesos hidromorfos superficiales como principales formaciones post-aluviales de las terrazas (Baena, 1993; Díaz del Olmo et al., 1993).

Terraza T6 en Fuentes de Andalucía (Sector Campana)

Su secuencia sedimentaria fue estudiada con anterioridad en un afloramiento situado en el camino de Argamasilla (Perfil Fuentes de Andalucía) a unos 4 Km al SE del área de estudio sobre un frente de grava de 25 m de longitud por 5 m de potencia sin alcanzar el sustrato terciario (Baena, 1993). La integran, de muro a techo (Figura 1), las siguientes unidades:

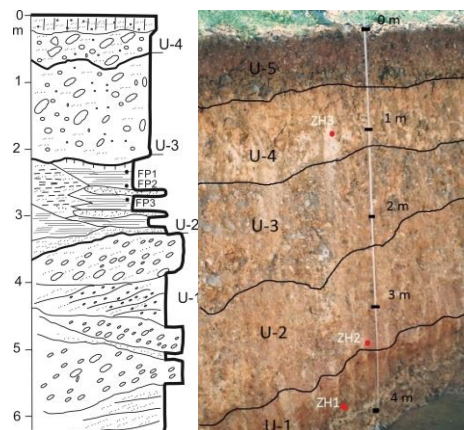


Figura 1. Secuencias estratigráficas correspondientes a las terrazas T6 en Fuentes de Andalucía (izquierda) y T8 en Carmona (derecha), con indicación de las unidades descritas en el texto y muestras obtenidas para paleomagnetismo.

U-1) barras de gravas, gravillas y arenas en disposición subhorizontal y leve estructura cruzada a techo, matriz de arcillas y límite neto y ligeramente ondulado (2 a 3 m de potencia); U-2) arenas finas con intercalaciones de arcillas laminadas de tonos ocres de hasta 0,5 m que, mediante contacto neto, pasan a; U-3) gravas gruesas masivas de cuarcita (140 mm de L media) con pátina albica y cortex de alteración con matriz arcillo-arenosa versicolor con esmectitas en régimen ilítico dominante y por último; U-4) depósito complejo, con límite inferior ondulado y neto de 0,8 m, con gravas y gravillas envueltas en una matriz areno-arcillosa en la parte inferior y areno-limosa en la superior donde muestra carácter de suelo pardo isohúmico. En esta ocasión, la zanja de 15 m de longitud dispuesta

WNW-ESE y próxima a la T5, permitió identificar las tres unidades superiores (U-4, 3 y 2), tomándose de las arcillas las muestras FP3, FP2 y FP1.

El análisis paleomagnético presenta intensidades del NRM entre los 0,39 mA/m (FP3) y los 1,34 mA/m (FP1), con valores iniciales de susceptibilidad que oscilaron entre 166 y 110×10^{-6} S.I.u. Las dos primeras presentan una ChRM de polaridad normal y carácter estable (Figura 2) mientras que la muestra superior (FP1) es diferente con componente lineal a partir de los 300°C, pero sin que alcance su desmagnetización total. Ello hace que su resultado con polaridad inversa en la inclinación y declinación sub-ecuatorial deban tomarse con las debidas reservas.

Terraza T8 en Carmona (sector Carmona-Sevilla)

El muestreo se realizó sobre un perfil de 4 m de potencia sin alcanzar el sustrato de margas, identificándose de muro a techo, una secuencia general con (Figura 1): U-1) gravas muy cementadas de cuarcita, caliza, ígneas, areniscas, sílex, todas con pátina álbica que alternan con arenas de tonalidad rojiza (1 m) interrumpidas por un pequeño nivel areno-arcilloso de tonos ocre (muestra ZH1) y arenas rojas más gruesas hacia la parte superior (0,4 m); U-2) barras de gravas medias y gravillas con dispositivo oblicuo (0,8-0,9 m), erosivas sobre la unidad anterior en cuyo inicio, en un limo-arenoso con carbonatos, se obtuvo la muestra ZH2. U-3) gravas masivas heterométricas (medias, pequeñas y algunas gruesas) canalizadas con imbricación de cantos y abundante matriz areno-arcillosa (0,7-0,8 m), donde se obtuvo industria lítica en cuarcita con 5 lascas simples, 5 núcleos, 1 raedera y 1 canto tallado. U-4) facies arcillo-limosas carbonatadas con tonos ocre, verdes y blancos con gravas dispersas de cuya parte superior se obtuvo la muestra ZH3. U-5) depósito coluvionar de gravas medias y pequeñas envueltas en arcillas con rasgos de iluviación y estructura macro-poliédrica (0,2 m, color 2,5YR 4/8) de donde se extrajo 1 núcleo de cuarcita.

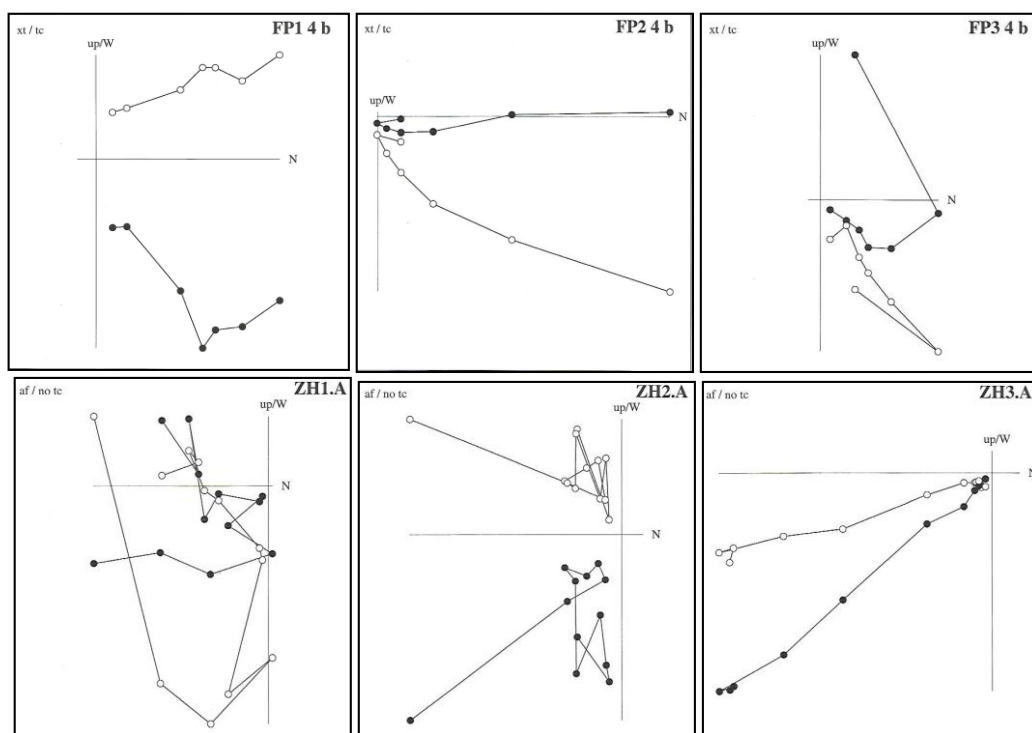


Figura 2. Diagramas ortogonales de desmagnetización térmica y AF de las muestras de la T6 (arriba) y de la T8 (abajo). Los círculos negros corresponden a vectores en el plano horizontal y los vacíos (blancos) en el vertical.

Hacia el arroyo, la secuencia quedaba interrumpida lateralmente por otros depósitos aluviales con carbonatos masivos de tonos amarillos, barras de gravas con imbricación de cantos y paleosentido E-W, arenas amarillas y rojas, y nuevamente gravas y arenas arcillosas, bajo un depósito de overbank limo-arenoso con gasterópodos y suelo de carácter vértico correspondientes a una terraza del arroyo

Santiche y su relleno de fondo de valle. De aquí, se extrajeron 119 piezas líticas con 5 bifaces y 1 hendedor (Caro, 1999).

Los resultados paleomagnéticos son desiguales (Figura 2), con comportamiento más inestable en la desmagnetización de las muestras inferiores (ZH1 y ZH2) de menor intensidad (0,6 y 0,1 mA/m), frente a la ZH3 de mayor intensidad (9,8 mA/m). No obstante, en todos los casos se ha podido determinar una ChRM de polaridad inversa para minerales detríticos de media-alta coercividad aunque en ZH3, de desmagnetización muy estable, la inclinación se muestra normal de bajo ángulo (37°).

CONCLUSIONES

Los nuevos datos paleomagnéticos obtenidos en los aluvionamientos de la T6 y T8 unido a los conocidos de la T5 en Cerro Higoso, permiten precisarla cronología de las terrazas altas del Guadalquivir en su tramo Bajo. La obtención ahora de polaridad inversa en los 4 m superiores del aluvionamiento de la T8 supone un importante referente que, a falta aún de magnetoestratigrafía en las terrazas 9, 10 y 11, plantea su posible correlación con el cambio de polaridad M/B (0,78 Ma). Ello supone ubicar el tránsito Pleistoceno Inferior-Medio en la SGTG durante el final de la conformación de este nivel o al inicio del inferior (T9 a +80-86 m). Por otra parte, la polaridad normal en la parte superior del aluvionamiento de la T6 a +130-140 m junto con la también normal de la T5, induce a correlacionarlas con el Subchón Jaramillo (0,99-1,07 Ma) en el Pleistoceno Inferior. En cuanto a las localizaciones paleolíticas cuyos primeros indicios en la SGTG están asociados a estas terrazas altas (T5 y T6 en Cerro Higoso), se completan ahora con los hallados en la T8 (U-3). El resto de la abundante macro industria achelense que puede detectarse en estas terrazas altas, no corresponde a los aluvionamientos fluviales sino a una amplia gama de depósitos de aporte lateral que las post-datan, en lo que no sería más que un Achelense de ocupación post-aluvial sobre las terrazas altas.

AGRADECIMIENTOS

Supported by the MINECO-FEDER Spanish research project CGL2015-67169-P (QTECSPAIN - USAL) & P.A.I. (HUM-697).

REFERENCIAS

- Antoine, P., Limondin, N., Chaussé, Chr., Latridou, J.P., Pastre, J.F., Auguste, P., Bahain, J.J., Falguères, Chr., Galeb, B., 2007. Pleistocene fluvial terraces from northern France (Seine, Yonne, Somme): synthesis, and new results from interglacial deposits. *Quaternary Science Reviews* 26: 2701-2723.
- Baena, R., 1993. Evolución cuaternaria (3 M.a.) de la Depresión del Medio-Bajo Guadalquivir y sus márgenes (Córdoba y Sevilla). Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, 589 pp.+ cart.
- Baena, R., 1997. El paleomagnetismo: técnicas y aplicaciones a secuencias de travertinos y depósitos asociados. *Études de Géographie Physique*, Suppl. n° XXVI: 103-106.
- Baena, R., Díaz del Olmo, F., 1994. Cuaternario aluvial de la Depresión del Guadalquivir: episodios geomorfológicos y cronología paleomagnética. *Geogaceta* 15 (3-5): 109-111.
- Baena, R., Díaz del Olmo, F., 2000. Alluvium deposits and historical magnetostratigraphy of the Guadalquivir River. In F. Díaz, D. Faust, A. Porras (eds.). *Environmental changes during the Holocene. Meeting Comm. the Holocene*, Sevilla, pp. 99-102.
- Baena, R., Guerrero, I., 2011. Aproximación a la Magnetoestratigrafía de la última terraza media del Guadalquivir (T12) en "las Jarillas" (la Rinconada, Sevilla). En: El Cuaternario en España y áreas afines. V. Turu y A. Constante eds. *AEQUA - Fundación M. Chevalier*. Andorra, pp. 191-195.
- Baena, R., Fernández, J.J., Amador, I., Posada, J.C., 2014. La Terraza Compleja del río Guadalquivir en "Las Jarillas" (La Rinconada, Sevilla. SW de España): cronoestratigrafía, industria lítica y macro-fauna asociada. *Cuaternario y Geomorfología* 28 (3-4), 107-125.
- Bridgland, D.R., Antoine, P., Limondin, N., Santisteban, J.I., Westaway, R., White, M.J., 2006. The Paleolithic occupation of Europe as revealed by evidence from the rivers: data from IGCP 449. *Journal of Quaternary Science* 21(5): 437-455.
- Díaz del Olmo, F., Baena, R., 1997. Interpretación de la secuencia general del Guadalquivir (Valle Medio y Bajo): terrazas fluviales y Paleolítico. En: Cuaternario ibérico, J. Rodríguez Vidal ed., Sevilla, 273-282.
- Schreve, D., Keen, D., Limondin, N., Auguste, P., Santisteban, J., Ubilla, M., Matoshko, A., Bridgland, D., Westaway, R., 2007. Progress in faunal correlation of Late Cenozoic fluvial sequences 2000. *Quaternary Science Reviews* 26, 2970-2995.
- Silva, P., Roquero, E., López, M., Huerta, P., Martínez, A., 2016. Chronology of fluvial terraces sequences for large Atlantic rivers in the Iberian Peninsula (Upper Tagus and Duero drainage basins, Central Spain). *Quaternary Science Reviews*, 1-16.
- Zijderveld, J.D.A., 1967. Demagnetization of rocks: analysis of results. In D.W. Collinson et al. (eds). *Methods in paleomagnetism*. Elsevier, N.Y., pp. 254-286.

SPELEOTHEM SHAPE INFLUENCE ON THE RECORDED MAGNETIC DIRECTIONS: A PALEOMAGNETIC STUDY IN A HOLOCENE AGE SPELEOTHEM FROM ALGARVE

J. Ponte¹; E. Font¹; C. Veiga-Pires²; C. Hillaire-Marcel³; B. Ghaleb³

¹ IDL-FCUL, Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Portugal. jorgeponte89@gmail.com, font_eric@hotmail.com

² CIMA-FCT, Universidade do Algarve, Faro, Portugal. cvpires@ualg.pt

³ GEOTOP, Université du Québec, Montreal, Canada. chm@uaqm.ca, ghaleb.bassam@uqam.ca.

ABSTRACT

Speleothems are of interest for high-resolution reconstruction of the Earth's magnetic field. However, little is known about the influence of speleothem morphologies on their Natural Remanent Magnetization (NRM) record. Here we report on a paleomagnetic study of a speleothem of Middle Holocene age from southern Portugal. To assess the potential influence of the slope of the speleothem surface on the recorded remanent magnetization, we compare magnetic directions from sub-horizontal to gradually sub-vertical calcite growth layers collected in a transversal cross-section of the speleothem. A linear correlation between magnetic inclination and the surface slope, along with data comparison with global paleosecular variation models and other magnetic parameters such as AMS and AARM, suggests that speleothem morphology exerts an important role on the recorded magnetization. We encourage future paleomagnetic studies in speleothems to consider only samples with sub-horizontal layering.

RESUMO

Os espeleotemas são hoje considerados importantes arquivos do campo magnético terrestre de alta resolução. Contudo, pouco se sabe acerca dos mecanismos de aquisição da magnetização e da influência que a forma do espeleotema tem na mesma. Neste estudo reportamos um estudo paleomagnético de um espeleotema da idade do Holocénico, retirado de uma gruta no Algarve. De modo a verificar a influência do ângulo da superfície do espeleotema na direcção do campo magnético gravado, comparamos essas direcções em várias amostras retiradas desde o topo (camadas sub-horizontais) até à base (camadas verticais) de um corte transversal do espeleotema. Uma relação linear entre o ângulo da superfície e a inclinação magnética, junto com a comparação dos dados adquiridos com modelos de variação secular do campo magnético e com outros dados magnéticos sugerem que a morfologia do espeleotema tem um papel importante na magnetização gravada.

INTRODUCTION

Speleothems are high-resolution archives of the Earth's climate and the intensity of its magnetic field (Latham et al., 1979; Lascu et al., 2016). However, little is known about the influence of the slope of calcite growth layers of speleothems on the orientation of recorded Natural Remanent Magnetisation (NRM). Pioneer paleomagnetic studies suggested that the difference of the magnetic inclination recorded along the speleothem surface is not large enough to assess whether they are due to the slope or to the measurement error. Nevertheless, the used speleothems were very thin, which didn't allow to collect more than 2 or 3 samples along the same growth line. On contrary, our speleothem presents a very characteristic shape that allowed us to conduct a specific study about the shape influence on the recorded magnetic directions. The main objective of our study is to compare magnetic directions in different points along the speleothem and conclude if its shape affects the magnetization acquisition mechanisms (Ponte et al., 2017).

METHODS

For paleomagnetic studies, small cylindrical specimens of approximately 2 cm³ in volume (1.1 cm in diameter and 2 cm in length) were drilled in the laboratory perpendicularly to the oriented face of the speleothem and named SPAIV. Specimens were collected from the top of the speleothem (where calcite laminae are inclined to sub-horizontal) to the laterally strongly dipping calcite growth layers (Figure 1). A total of six horizons or "lines" (called SPAIV.3-5-7-9-11-13; Figure 1) were selected, each one recording a specific time span, leading to a total of 48 samples (8 samples per line; Figure 1).

RESULTS

The recorded magnetic inclinations decrease from the top to the base of the speleothem, a pattern verified in all six lines (Figure 1) and evidenced by the striking correlations ($0.67 < R^2 < 0.97$) between the magnetic inclination and the dip angle of the corresponding calcite laminae. The trend is very similar in four of the studied lines (3, 7, 9 and 13) and slightly higher in lines 5 and 11. Comparison with the model SHA.DIF.14k show that magnetic inclinations are underestimated. The best fit corresponds to samples from sub-horizontal growth layers, and improves when we extrapolate to a horizontal angle (Figure 1, right).

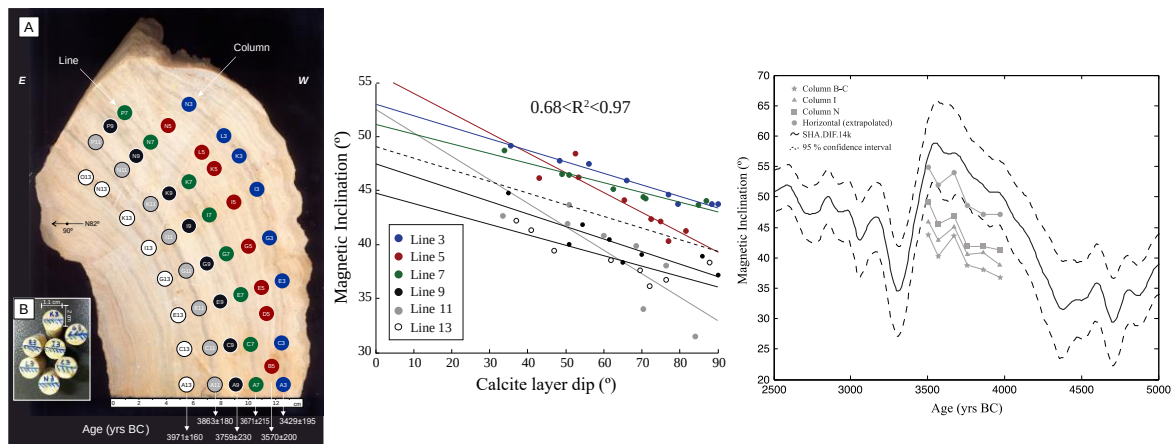


Figure 1. Picture of the speleothem SPAIV, with the studied subsamples (left); Linear relationship between the calcite layer dip (or surface slope) and the magnetic inclination (center); Comparison between magnetic inclination data and a paleosecular variation model SHA.DIF.14k (Pavón-Carrasco et al., 2014) (right).

CONCLUSION

Our results show that the recorded magnetic inclinations in the speleothem under investigation are strongly influenced by its shape. The strong linear relationship between the magnetic inclination and the calcite layer dip is present in all studied lines, with the same trend. Additionally, Comparing the obtained magnetic inclinations with a global paleosecular variation model (PSV) indicates that magnetic inclinations move gradually away from the PSV curve as the surface slope increases. The best fit between our data and the PSV model is obtained when extrapolating magnetic inclinations to the horizontal. Thus, we suggest future paleomagnetic studies in speleothems to consider samples with horizontal layers until more studies are conducted in this scientific area.

REFERENCES

- Lascu, I., Feinberg, J.M., 2011. Speleothem Magnetism. *Quaternary Science reviews*, 30: 3306-3320. doi: 10.1016/j.quascirev.2011.08.004.
- Latham, A.G., Schwarcz, H.P., Ford, D.C., Pearce, G.W., 1979. Paleomagnetism of speleothem deposits. *Nature* 280: 383-385.
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M., Sanctis, A. De, 2014. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters* 388: 98-109.
- Ponte, J.M., Font, E., Veiga-Pires, C., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., 2017. The effect of speleothem surface slope on the remanent magnetic inclination. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 122. doi:10.1002/2016JB013789.

HOLOCENE CLIMATE INFERENCES FROM MULTIPROXY STUDIES OF LAKE SEDIMENT AND A SPodosol PROFILE FROM ATLANTIC FOREST, SOUTHEASTERN BRAZIL

A.A.B. Junior¹; L.C.R. Pessenda¹; F.L. Lorente¹

¹ ¹⁴C Laboratory - CENA/USP. pessenda@cena.usp.br

ABSTRACT

Pollen, freshwater sponge spicules, $\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C ages were analyzed in lake sediment and waterlogged Spodosol samples for Holocene climate inferences in coastal Southeastern Brazil. Results suggest the expansion of the modern Tropical Rainforest and wetland formations during the mid-Holocene, related with the onset of more humid climate. To our knowledge, it is the first time that pollen grains preserved in mineral horizons of a tropical Spodosol have been used for palaeoenvironmental reconstruction.

RESUMO

Pólen, espículas de esponjas continentais, $\delta^{13}\text{C}$ e idades ^{14}C de amostras de sedimento lacustre e Espodossolo alagado foram utilizados para inferências sobre o clima durante o Holoceno na região costeira do sudeste do Brasil. Os resultados sugerem a expansão da atual floresta tropical e a formação de uma área úmida durante o Holoceno médio, provavelmente como resultado de condições climáticas mais úmidas. Provavelmente essa é a primeira vez que grãos de pólen preservados em horizontes minerais de Espodossolo tropical são utilizados para reconstituição paleoambiental.

INTRODUCTION

Traditional pollen analysis is applied to lakes and peat bogs, where pollen may fossilize and provide information about past vegetation. Pollen in soil profiles is usually inadequate for palaeoenvironmental reconstitution, yet some studies (Larocque & Campbell, 1998) performed in mid-high latitudes have shown that Spodosol profiles may present satisfactory pollen preservation. Moreover, the concomitant study of other proxies may improve interpretations.

This study presents the results of multiproxy analyses of lake sediment and a Spodosol profile. Spicules of Porifera provided information about past freshwater habitats. Stable carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) allowed the differentiation of organic matter from C3 and C4 plants.

The study was performed at the northeastern region of Espírito Santo State, Southeastern Brazil. The modern local vegetation types comprise Tropical Rainforest over Yellow Dystrophic Latosols (*tabuleiros* forest), alluvial forests, coastal vegetation on sandy soil (*restingas*) and *mussunungas* (grasslands to forest communities on Spodosols and interspersed among the *tabuleiros* forest).

METHODS

A 135 cm long sediment core was collected with a Livingstone piston sampler at Lagoa Canto Grande (LCGB – 19°16'01.4''S; 39°56'41.9''W), a freshwater lake with 6 m maximum depth. A 57 cm long Spodosol core was collected at Nativo do Flamengo (NF – 19°09'49.1''S; 39°56'20.7''W) with an aluminum cylinder. NF site is a circular smooth depressed forested wetland on waterlogged Spodosol, surrounded by an arboreal *mussununga* patch. Cores were sliced at every two centimeters and selected samples were processed for pollen analysis (Colinvaux et al., 1999). Samples from the NF core were processed for a qualitative study of siliceous spicules, with the use of H_2O_2 for organic matter removal and microscope slides were prepared with Entellan. $\delta^{13}\text{C}$ analyses were performed in an elemental analyzer attached to an ANCA SL 2020 mass spectrometer and results expressed as *per mil* (‰), with respect to VPDB. Physical and chemical treatment of Spodosol and sediment samples for AMS ^{14}C analysis comprised removal of contaminants and acid hydrolysis. Samples were calibrated according to Reimer et al. (2004), expressed as cal BP/AD, 2σ .

RESULTS AND DISCUSSION

Pollen from LCGB core (Figure 1A) indicate that, from 11,000 to 7700 cal BP, the vegetation

around the lake comprised alluvial forests, *restingas* and *mussunungas*. The modern *tabuleiros* forest started to establish at ~7700 cal BP. $\delta^{13}\text{C}$ varied from -31.9‰ to -27.5‰ indicating the organic matter originated from C3 plants, predominant in the modern vegetation types of the region.

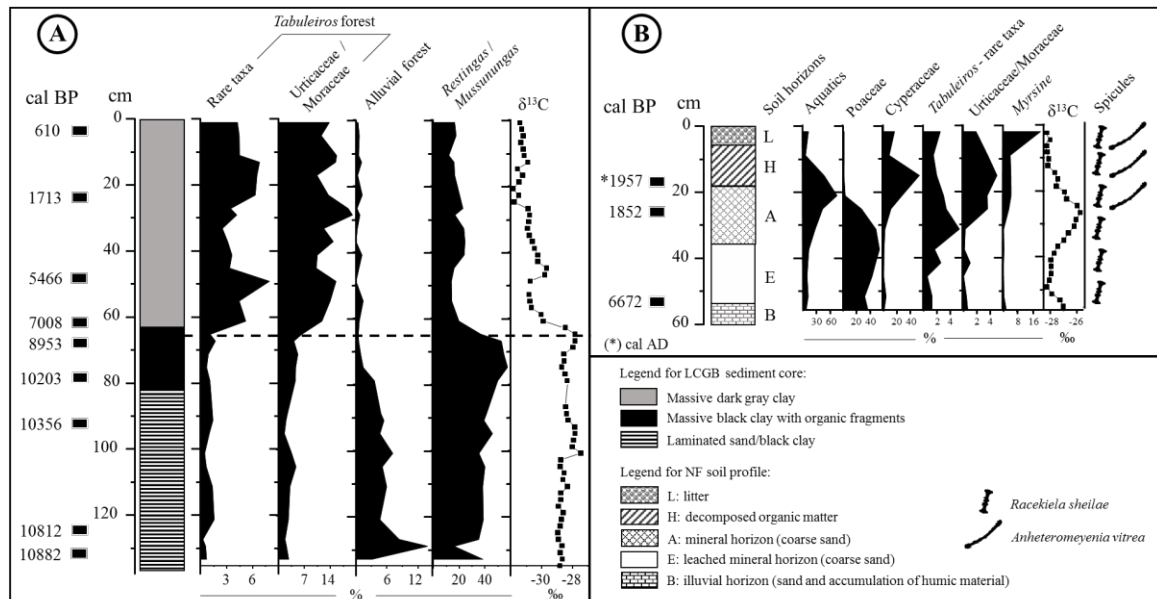


Figure 1. Pollen, carbon isotopes and ^{14}C ages. A) LCGB core; B) NF Spodosol profile.

Abundant and well preserved pollen grains were found in the mineral and organic horizons of the Spodosol (Figure 1B). They indicate the establishment of an herbaceous wetland at ~7000 cal BP and the recent colonization (~2000 cal BP) by the modern forested wetland. Freshwater sponge spicules attest to the presence of the wetland since ~7000 cal BP, probably subjected to seasonal flooding. $\delta^{13}\text{C}$ varied from -28.4‰ to -25.8‰, indicating the predominance of C3 plants. Enrichments of $\delta^{13}\text{C}$ are probably related with the isotopic fractionation during organic matter decomposition.

Vegetation changes recorded at LCGB (~7700 cal BP) and at NF site (~7000 cal BP) coincide with the onset of more humid climates in south and southeastern Brazil during the mid-Holocene, as indicated by previous studies (Buso Junior et al., 2013). The differences between the dates of wetland and forest establishments may be related with distinct soil characteristics at each site.

CONCLUSION

Our multiproxy approach allowed the use of complementary information for palaeoenvironmental reconstruction. Results suggest the establishment of more humid regional climates during the mid-Holocene, agreeing with previous studies in Southeastern Brazil.

The Spodosol profile contained well-preserved pollen and sponge spicules, apparently with the preservation of their stratigraphy. To our knowledge, it is the first time that pollen grains in a tropical Spodosol have been used for palaeoenvironmental reconstruction.

ACKNOWLEDGEMENTS

Vale Natural Reserve for the field support, FAPESP grants 2007/03615-5, 2007/06222-4, 2010/18091-4 and 2011/00995-7, and CNPq grants 2012-5/470210, 2013-9/302711, 2013-0/405060 and 245858/2012-1 SWE/CSF.

REFERENCES

- Buso Junior, A.A., Pessenda, L.C.R., De Oliveira, P.E., Giannini, P.C.F., Cohen, M.C.L., Volkmer-Ribeiro, C., Oliveira, S.M.B., Rossetti, D.F., Lorente, F.L., Borotti Filho, M.A., Schiavo, J.A., Bendassolli, J.A., França, M.C., Siqueira, G.S., 2013. Late Pleistocene and Holocene vegetation, climate dynamics, and Amazonian taxa in the Atlantic Forest, Linhares, SE Brazil. *Radiocarbon* 55 (2-3): 1747-1762.
- Colinvaux, P., De Oliveira, P.E., Patiño, J.E.M., 1999. *Amazon pollen manual and atlas. Manual e atlas palinológico da Amazônia*.

- Amsterdam: Harwood Academic Publishers.
- Larocque, I., Campbell, I.D., 1998. La stratigraphie pollinique en humus de podzols. Sust. Forest Management Network. *Working Paper* 16, 1-22.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C.B. Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., Van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E., 2004. INTCAL04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46 (3): 1029-1058



Tectónica e Vulcanismo

Tectónica y Vulcanismo

EL ESCENARIO SÍSMICO DEL TERREMOTO DE ARENAS DEL REY DE 1884 (ESPAÑA)

M.A. Rodríguez-Pascua¹; P.G. Silva²; M.A. Perucha¹; J.L. Giner Robles³; J. Elez²; E. Roquero⁴

¹ Instituto Geológico y Minero de España, IGME, Madrid, España. ma.rodriguez@igme.es, ma.perucha@igme.es

² Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior, Avila, España. pgsilva@usal.es, jelezz@gmail.com

³ Dpto. de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, Cantoblanco, Madrid, España. jorge.giner@uam.es

⁴ Dpto. de Edafología, Universidad Politécnica de Madrid, España. elvira.roquero@upm.es

ABSTRACT

The 1884 Arenas del Rey Earthquake has been the last big earthquake in Spain (EMS98=IX-X; $M_w=6.5-6.7$). This earthquake generated an important amount of geological effects, both primary and secondary. The coseismic normal surface faulting was more than 20 km in length. The most common secondary effects were landslides and rock falls. The application of the ESI07 macroseismic scale has located the epicentral area in the polje of Zafarraya. Using the resulting intensity distribution and the modeling of the seismic source dimensions, the shake map has been calculated, obtaining a maximum ground peak acceleration of 0.71 g.

RESUMEN

El terremoto de Arenas del Rey de 1884 ha sido el último gran terremoto que ha sufrido España (EMS98=IX-X; $M_w=6,5-6,7$). Este produjo una gran cantidad de efectos geológicos, tanto primarios como secundarios. Generó una ruptura superficial de falla normal de más de 20 km de traza superficial. Los efectos secundarios más comunes fueron deslizamientos y caídas de rocas. La utilización de la escala macrosísmica de efectos ambientales ESI07 ha permitido acotar la zona epicentral en el Polje de Zafarraya. Utilizando la distribución de intensidades resultante y la modelización de las dimensiones de la fuente sísmica, se ha calculado el Shake Map obteniéndose aceleraciones máximas de 0,71 g.

INTRODUCCIÓN

El terremoto catalogado por el IGN (Martínez Solares y Mezcuá, 2002) como el de Arenas del Rey (Granada) del 25 de diciembre de 1884 tiene su epicentro en Alhama de Granada (Granada), mientras que la falla que lo produjo es la de Ventas de Zafarraya (Granada) (Reicherter et al., 2003). Anteriormente era conocido como Terremoto de Andalucía de 1884. Este triple desajuste muestra el problema que puede generar el uso de distintas escalas macrosísmicas, como es el caso la EMS98 en la que se eliminan los efectos ambientales. Se da la paradoja que el informe que realizaron Taramelli & Mercalli (1886) localiza el epicentro sobre esta falla, al pie de la Sierra de Almajares, utilizando las direcciones de movimiento deducidas en los efectos en las construcciones, demostrando la utilidad de este tipo de efectos, que en la actualidad si son conocidos como Efectos Arqueológicos de Terremotos (*Earthquake Archaeological Effects*, EAEs). En el presente trabajo se van a utilizar tanto la escala medioambiental de intensidad sísmica (ESI07) para elaborar un mapa de isosistas, como la generación de *Shake Maps* para poder comparar los resultados con la fuente sísmica deducida del trabajo de campo y de las descripciones históricas.



Figura 1. Situación del epicentro del terremoto de Arenas del Rey (Granada) de 1884.

MÉTODOS

La metodología empleada se basa en la comparación espacial de la distribución de intensidades ESI07 y la de las aceleraciones superficiales de movimiento del sustrato calculadas teniendo en cuenta la topografía y la geología de la zona. La distribución de las intensidades ESI07 en los mapas de isosistas, deberán ser espacialmente compatibles con las aceleraciones obtenidas de los Shake Maps. De este modo se podrá validar la hipótesis de la falla responsable del terremoto y de la localización de la zona epicentral.

La escala de intensidades ESI07 (Michetti et al., 2007) de efectos ambientales de terremotos (EEEs) se basa en la clasificación de los efectos causados por los terremotos sobre las personas, construcciones humanas (edificaciones e infraestructuras) y en el medio natural (efectos ambientales o geológicos). Este parámetro de tamaño sísmico proporciona una estimación de la severidad de la sacudida sísmica teniendo en cuenta los efectos producidos por el rango completo de frecuencias del movimiento ondulatorio así como de las deformaciones estáticas que se produzcan. La recopilación de los EEEs se ha realizado mediante trabajo de campo y consultando los informes geológicos y sismológicos que se realizaron después del terremoto, siendo estos cuatro los más destacables:

- Comisión Oficial Española (1885): Informe de la Comisión Oficial de los Terremotos de Andalucía. (Comisión del Mapa Geológico de España, 1885; Anónimo, 1890).
- Domingo de Orueta (España) (1885): Informe de los terremotos ocurridos en el Sud de España (Orueta, 1885).
- Comisión de la Academia de Lincei de Roma (1886): Memoria del terremoto andaluz comenzado el 25 de diciembre de 1884 (Taramelli & Mercalli, 1886).
- Misión Francesa (Academia de Ciencias del Instituto de Francia) (1889): Estudios relativos al temblor de tierra del 25 de diciembre de 1884 y la constitución geológica sacudida por los temblores de tierra (Fouqué, 1890).

Para la obtención de las aceleraciones que afectaron a la zona se han aplicado las líneas metodológicas generales para la elaboración de mapas (*Shake Maps*) de aceleración pico del sustrato (PGA) propuesta por Silva et al. (en prensa) y basadas en la recomendada por el USGS. Se han utilizado MDTs con una resolución mínima de 5 m/pixel (del IGN) para efectos cercanos y la geología real de la zona. Esta metodología es especialmente útil en el estudio de terremotos históricos como el que nos ocupa, ya que se basa en la respuesta del terreno en función de la geología del Cuaternario y la geomorfología de la zona afectada. Se han definido las características de la fuente sísmica para la modelización: magnitud, localización, orientación y componente de movimiento (de falla normal en este caso).

RESULTADOS

Se han inventariado total de 35 EEEs, en su mayoría corresponden a movimientos de ladera, con tres grandes deslizamientos como son los de Güevar, El Guaro (Periana) y Albuñuelas. Los siguientes efectos más abundantes son los hidrológicos (aparición y desaparición de manantiales y cambios de temperatura y caudal, etc), los cuales se han incluido utilizando las descripciones de época, dado su carácter efímero. También se han encontrado numerosas descripciones de grietas en el sustrato, habiendo separado las que corresponden a cicatrices de cabecera de deslizamiento y la ruptura superficial de la falla que generó el terremoto de efectos de génesis de fracturas aisladas. En el caso de este terremoto, contamos con la descripción y contraste en campo de la ruptura superficial de la falla normal de Ventas de Zafarraya, responsable del terremoto (Reicherter et al., 2003). También se han contado con efectos de caída de árboles (algunos visibles en la actualidad) o efectos espeleosismológicos.

La ruptura superficial cosísmica de la Falla de Zafarraya que generó el terremoto de 1884 ha sido estudiada mediante técnicas paleosismológicas por Reicherter et al. (2003) y geofísicas por Grützner et al. (2013). Ambos coinciden en que la magnitud máxima está en torno a 6,5 con un periodo de recurrencia de 2000 años. La ruptura superficial estaría en torno a 20 km de longitud y es compatible



Figura 2. Fotografía de época (Fotógrafo de Alfonso XII) de la cabecera del deslizamiento del Guaro y fotografía actual del mismo escarpe de cabecera del deslizamiento.

con las magnitudes calculadas a partir de los saltos superficiales por Reicherter et al. (2003) y Grützner et al. (2013). Esta ruptura superficial es la que condiciona la distribución de EEEs, los cuales se reparten principalmente en una banda E-W, tanto al N como al S de la traza de la ruptura superficial.

El deslizamiento del Guaro (Periana) (Figura 2) es un claro efecto de campo cercano, mientras que dentro de los efectos de campo lejano podemos incluir a los deslizamientos de Güevejar y Albuñuelas. Las condiciones geológicas del sustrato son distintas en los casos de campo lejano. En Güevejar el deslizamiento se produce principalmente en margas con niveles de lignito que favorecieron el deslizamiento, mientras que en Albuñuelas los materiales deslizados corresponden a areniscas y limos. Estos grandes deslizamientos hicieron que los efectos que produjeron sobre las poblaciones de Güevejar y Albuñuelas fuesen muy importantes, lo cual se tradujo en intensidades EMS98 altas VII y IX respectivamente. El hecho de que el sustrato se encontraba empapado en agua en esta época del año favoreció este tipo de fenómenos, como es el caso del ocurrido en campo cercano (<10 km; El Guaro), donde las eras del cortijo deslizaron más de 200 m pendiente abajo, llegando a provocar obturaciones del valle con represamientos de los arroyos de la zona. Los procesos de licuefacción están prácticamente ausentes. La interpretación que se ha hecho con anterioridad de algunos efectos como licuefacciones no es compatible con el sustrato geológico que las alberga (López Arroyo et al., 1980). La única licuefacción descrita históricamente (Fouqué, 1889) que sería compatible con el sustrato geológico es la de Vélez Málaga.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las intensidades ESI07 estimadas para los distintos EEEs varían entre X para el deslizamiento de El Guaro y la ruptura superficial de la falla y VIII para algunos de los efectos hidrológicos (Figura 3). Las intensidades máximas ESI07=X se encuentran distribuidas en una banda E-W. En el lado W de la banda es donde se ha podido constatar la ruptura cosísmica de la Falla de Ventas de Zafarraya. En la zona N de esta área de máxima intensidad hay una concentración de efectos de dirección N-S que está condicionada por el efecto topográfico del encajamiento del Río Alhama, muy posiblemente asociado a una falla con esta orientación. El efecto topográfico del cañón del Río Alhama a su paso por Alhama de Granada (en la zona conocida como Los Tajos) es donde se llegaron a producir incluso represamientos del río como consecuencia de la obturación del valle por la caída de bloques de roca en volúmenes realmente importantes. Esta banda de máxima intensidad E-W se prolonga hasta

Arenas del Rey que fue totalmente destruida. La distribución E-W de las intensidades máximas está condicionada en el área de mayor intensidad por la ruptura superficial de la falla de Ventas de Zafarraya y los relieves de la Sierra de Alhama. En el lado E también tiene una gran influencia la topografía de la Sierra de Almijara, además de los materiales cenozoicos donde se asientan las principales localidades afectadas. El caso del deslizamiento de Albuñuelas además se ve potenciado por el efecto topográfico del encajamiento del Río Albuñuelas. Otros efectos de campo lejano, como el deslizamiento de Güevejar, no se han incluido en este mapa de intensidades, ya que son efectos muy condicionados por amplificaciones del terreno y las características de los materiales geológicos, que saturados en agua favorecieron estos fenómenos.

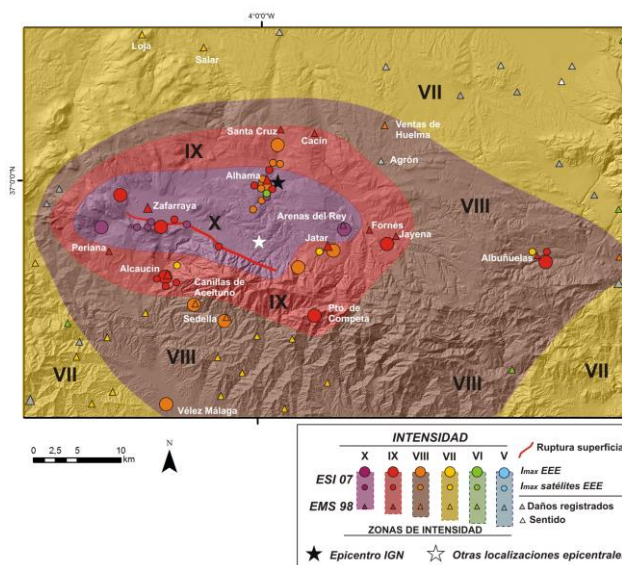


Figura 3. Mapa de isosistas ESI07 del terremoto de Arenas del Rey (Granada) de 1884. La estrella blanca es el epicentro calculado por Taramelli & Mercalli (1886)

Utilizando la traza cartografiada de la ruptura cosísmica superficial de la falla normal de Ventas de Zafarraya, el MDT (5 m/pixel del IGN) y la geología se ha obtenido el *Shake Map* del terremoto de 1884 (Figura 4). La magnitud obtenida es $M_w=7,0$ con una $PGA_{max}=0,71$ g. Esta M_w es coherente con los datos de intensidades ESI07 obtenidos para la zona. Esta metodología se muestra como la adecuada para el estudio de terremotos históricos, especialmente cuando se tiene que definir la fuente sísmica que los generó.

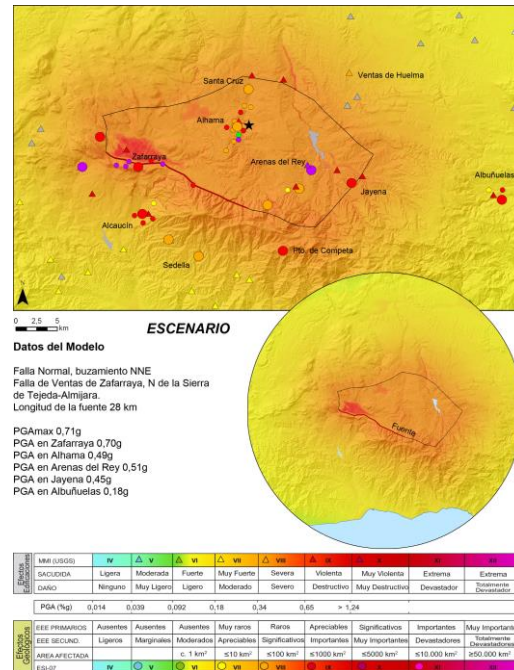


Figura 4. *Shake Map* del terremoto de Arenas del Rey (Granada) de 1884. El polígono representa el área de ruptura cosísmica de la falla de Ventas de Zafarraya.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los proyectos EGEO (IGME; Ref: 2612), CGL2015-67169-P (USAL), y es una actividad integrada en el grupo de trabajo QTECT-AEQUA.

REFERENCIAS

- Anónimo, 1890. "Estudios relativos al terremoto ocurrido en Andalucía el 25 de diciembre de 1884 y la constitución geológica del suelo conmovido por las sacudidas efectuadas por la Comisión destinada al objeto por la Academia de Ciencias de París". *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, Madrid*, T. XVI: 299-303.
- Comisión del Mapa Geológico de España, 1885. Terremotos de Andalucía. Informe dando cuenta del estado de los trabajos. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico* T. XII. Madrid.
- Fouqué, F., 1890. "Estudios relativos al terremoto ocurrido en Andalucía el 25 de diciembre de 1884 y la constitución geológica del suelo conmovido por las sacudidas". *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, Madrid*, TXVI: 305-308.
- Galbis Rodríguez, J., 1932. Catálogo Sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E y 20°W de Greenwich y los paralelos 45° y 25°N. Dirección General del Instituto Geográfico, Catastral y de Estadística. Tomo I.
- Grützner, C., Ruano, P., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Becker-Heidmann, P., Sanz de Galdeano, C., Rudersdorf, A., Reicherter, K., 2013. Late Holocene rupture history of the Ventas de Zafarraya Fault (Southern Spain). *Cuaternario y Geomorfología* 27 (3-4): 51-61.
- López Arroyo, A., Martín Martín, A.J., Mezcuca Rodríguez, J., 1980. El terremoto de Andalucía de 1884. Instituto Geográfico Nacional (Madrid). 139 pp.
- Michetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., et al., 2007. Environmental Seismic Intensity scale – ESI 2007. Intensity Scale ESI-07, Guerrieri, L., Vittori, E., Eds. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia* 74. APAT, Rome, Italy, 41 pp.
- Orueta, Duarte, D., 1885. Informe sobre los terremotos ocurridos en el sud de España en diciembre de 1884 y Enero de 1885. Málaga. Tip. y Lit. de Fausto Muñoz
- Reicherter, K.R., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Ruano, P., Becker-Heidmann, P., Morales, J., Reiss, S., González-Lodeiro, F., 2003. Repeated palaeoseismic activity of the Ventas de Zafarraya fault (South Spain) and its relation with the 1884 Andalusian earthquake. *Int. Journal Earth Science* 92 (6): 912-922.
- Silva, P.G., Elez, J., Giner-Robles, J.L., Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Roquero, E., Bardají, T., Martínez-Graña, A. (En prensa): ESI-07 ShakeMaps for instrumental and historical events in the Betic Cordillera (SE Spain): An approach based on geological data and applied to seismic hazard. *Quaternary International*.
- Taramelli, T., Mercalli, G., 1886. "I terremoti andalusi cominciati il 25 dicembre 1884". *Atti Reale Accademia dei Lincei (Roma)*, vol. III, serie 4, 116-222.
- Vidal Sánchez, F., 2011. El Terremoto de Alhama de Granada de 1884 y su impacto. *Anuary Verdaguer* 19: 11-45.

EARTHQUAKE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF THE AD 1755 LISBON-EARTHQUAKE-TSUNAMI IN SPAIN

P.G. Silva¹; P.V. Gómez-Diego¹; J. Elez¹; J.L. Giner-Robles²; M.A. Rodríguez-Pascua³;
E. Roquero⁴; A. Martínez-Graña¹; T. Bardaji⁵; B. Bautista⁶

¹Dpto. Geología, Universidad de Salamanca. Ávila – Salamanca, SPAIN. pgsilva@usal.es, jelez@usal.es, amgrana@usal.es

²Dpto. Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco, Madrid, SPAIN. jorge.giner@uam.es

³Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 28003-Madrid. SPAIN. ma.rodriguez@igme.es

⁴Dpto. Edafología, Universidad Politécnica de Madrid. 28040-Madrid. SPAIN. elvira.roquero@upm.es

⁵U.D.Geología, Universidad de Alcalá, 28871- Alcalá de Henares, Madrid, SPAIN, teresa.bardaji@uah.es

⁶Servicio de Bibliotecas, Universidad de Salamanca. Escuela Politécnica Superior de Ávila, SPAIN. begovigo@usal.es

ABSTRACT

This work presents a macroseismic analysis of the AD 1755 Lisbon Earthquake-Tsunami event by means of the combination of intensity data derived from the EMS-98 scale (Building damage), the ESI-07 scale (Environmental damage) and the TEE-16 scale (tsunami damage). Almost 600 records of environmental damage were identified and catalogued from Martínez Solares (2001): 18 slope movements, 15 cases of ground cracking, 19 cases of liquefaction, 153 hydrogeological anomalies (changes springs and wells), and 217 hydrological anomalies including anomalous waves in rivers and lakes, increasing turbidity in waters, and changes of river flow rates and even river paths. 66 tsunami records occurred along 200 km of the Spanish littoral in the Gulf of Cádiz. These last tsunami effects generated a narrow littoral fringe of intensity IX – VIII on which the huge energy released in the offshore macroseismic zone were transferred. In the rest of SW Spain intensities VIII – VII are clearly associated with site and topographic effects all along the Guadalquivir Basin and marginal reliefs, especially the Betic front around the Sierra de Cazorla Area.

RESUMEN

Este trabajo aborda el análisis macrosísmico del terremoto tsunami de Lisboa de 1755 AD mediante la combinación de datos de intensidades EMS-98 (daños en edificaciones), ESI-07 (daños ambientales) y TEE-16 (daños del tsunami). Cerca de 600 registros sobre daños ambientales han sido identificados y catalogados a partir del trabajo de Martínez Solares (2001): 18 Movimientos de ladera; 15 casos de agrietamiento del terreno; 19 casos de licuefacción; 153 anomalías hidrogeológicas (cambios en fuentes, manantiales y pozos); y 257 anomalías hidrológicas, que incluyen oleaje anómalo en ríos y lagos, incremento de la turbidez del agua, cambios en el caudal o curso de los ríos, etc. El análisis incluye 66 registros de daños ocasionados por el tsunami, los cuales afectaron a unos 2000 km de litoral el Golfo de Cádiz (Huelva – Tarifa). Los efectos del tsunami generaron una estrecha franja litoral de intensidad VIII a IX sobre la cual fue transferida la enorme energía liberada en la zona oceánica epicentral a lo largo de más de 150 – 200 km de distancia. En el resto del sector sur de España, las zonas de intensidad VIII-VII penetran claramente por la Cuenca del Guadalquivir y relieves limítrofes, especialmente los del frente bético en la zona de la Serranía de Cazorla.

INTRODUCTION

The AD 1755 Lisbon event is the largest historical earthquake affecting to the Iberian Peninsula and the Atlantic waterfront of Europe and Africa. Damage affected an area of 100,000 km² ($\geq$ VI EMS), with an estimated maximum local intensity of VIII EMS (IX MSK) in the littoral of Huelva at epicentral distances of 250-350 km (Martínez Solares, 2001). The maximum epicentral intensity is estimated in XI-XII EMS corresponding to a maximum magnitude between 8.5-8.9 Mw (Mendes-Vitor et al., 2010).

In Spain, maximum damage was recorded in the province of Huelva, with 66 deaths caused by the earthquake and about 1,214 victims along the Spanish littoral of the Gulf of Cádiz (Huelva to Cádiz) produced by subsequent tsunami waves. Major damage concentrated in the Atlantic coast of SW Portugal with main impact at the Algarve region and Lisbon. In Portugal caused about 12,000 deaths, 10,000 of them by the catastrophic destruction and the subsequent inundation of the City of Lisbon. Tsunami waves also reached the Atlantic coast of Morocco and the Canary Islands and were recorded by tide-gauges and anomalous at the other side of the Atlantic Ocean in México, Brazil, Barbados and the Caribbean Sea about 8-9 hours later (Martínez Solares, 2001). The total amount of victims caused by this earthquake-Tsunami event was about 15,000 and 20,000, concentrated in the littoral areas of Portugal, Morocco and Spain. Economic losses have been evaluated in a total amount

of about 536,000 Million € (Martínez Solares & López Arroyo, 2004). The earthquake was felt in an area of about $10 \times 10^6 \text{ km}^2$, with secondary effects (long-period standing waves and anomalous waves) at far away localities (c. 2,400 km away) such as South England, the Netherlands, Germany and Finland in Northern Europe, as reported in the volumes of the *"Philosophical Transactions of Royal Society of London"* of 1755 and 1756 (Gómez Diego, 2016). This work is focused in the identification, characterization, parameterization and cataloguing of the variety of Earthquake Environmental Effects (ESI-07 Macroseismic Scale) reported for Spain in the exhaustive documental analyses developed by Martínez Solares (2001). The obtained results help to refine intensity distribution by means of the combination and discrimination (i.e. tsunami damage) of conventional building damage data (Martínez Solares & López Arroyo, 2004) and environmental damage information (Gómez-Diego, 2016).

INLAND ENVIRONMENTAL DAMAGE.

Environmental Earthquake Effects (EEE) by secondary effects covered the whole Iberian Peninsula (c. $600 \times 10^3 \text{ km}^2$), but these mainly refers to hydrological (HA: anomalous waves in rivers and water bodies; changes in springs) and hydrogeological anomalies (HD variations in the chemical and/or physicochemical properties of water in wells, springs, etc.); considered in the ESI-07 Scale (Silva et al., 2015). Hydrological and hydrogeological anomalies covered all the intensity levels. However, the rest of EEEs considered in the ESI-07 Scale, such as landslides (SM), liquefaction (LQ) and ground cracking processes (GK) were observed in a significant amount as well (Figure 1).

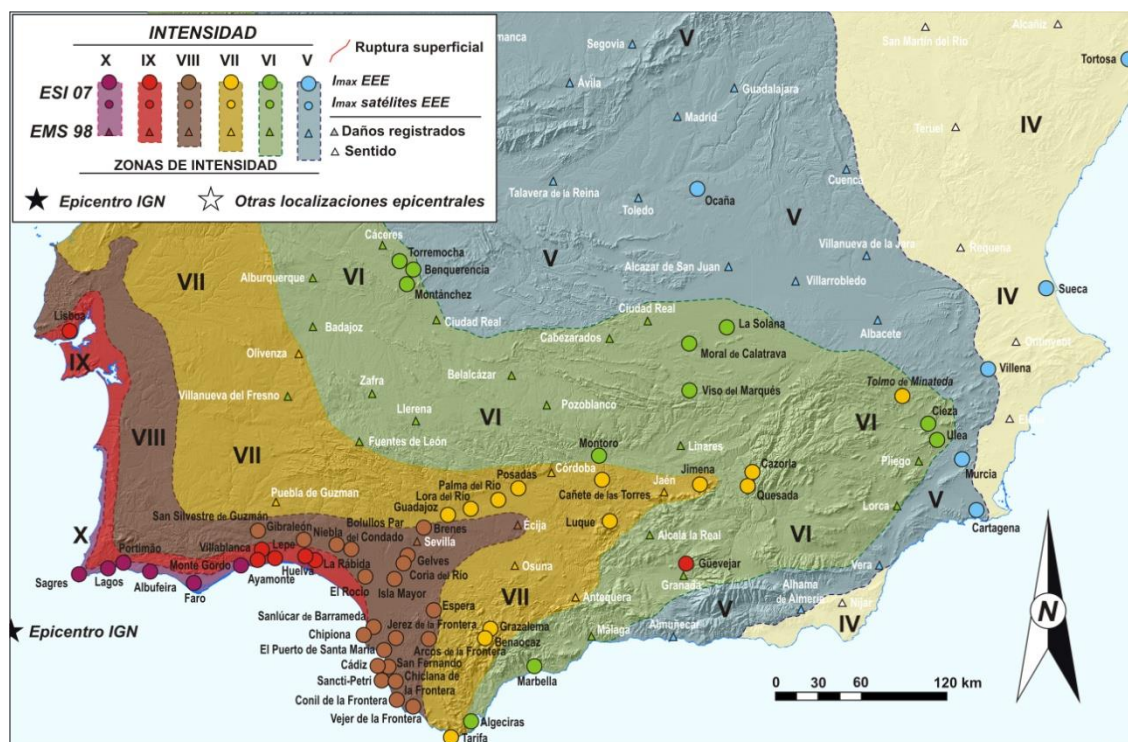


Figure 1. Intensity Map of the AD 1755 Lisbon Earthquake-Tsunami event obtained by means the combination of macroseismic data from the EMS-98 scale (Building damage) and the ESI-07 scale (Environmental damage). This last improved by the TEE-16 scale for tsunami damage cases.

Primary effects. Only there is an apparent record of primary effect onshore, such as the case of coseismic subsidence at the Montegordo Beach (Portugal), near the town of Ayamonte (Spain) in the opposite bank of the Guadiana river outlet. The epoch report said: *"The sea-level seems very high in this beach since 1st November, the ground seems to be moved in this place, no recognizable and lower. The river bed deepened, since in those places where a canoe hardly could navigate now small sailing ships (Jabeques) with a draft (keel) of about 5 meters"* (Martínez Solares, 2001). The description indicates probable local, but noticeable tectonic subsidence. Ship information allow to

infer at least metric-scale littoral subsidence in the intensity IX zone about 240 km away of the suspect earthquake epicenter offshore (Figure 1).

Ground cracks. Significant to noticeable ground cracking was observed between 200 and 300 km of epicentral distance along the littoral of Huelva at 15 localities, within the intensity zones VII and VIII (Figure 1). The larger ones of centimetric width, metric-decametric length and very deep were recorded at Las Antillas beach zone in Lepe (264 km away). Centimetre-scale ground cracks were observed in mountain slopes at far away localities such as Arcos de la Frontera (Cádiz) 377 km away, Luque and Cañete de las Torres (Córdoba) 523 km away or even Cartagena (Murcia) 812 km away.

Slope movements: Damage affected an area of $35 \times 10^3 \text{ km}^2$ for landslides. Scattered rock falls and minor earth avalanches mainly occurred in Andalucía (18 records), especially in the mountain zones of the Betic front area (Cádiz and Jaén), located at 350-650 km of epicentral distance, where the intensity was $\leq$ VII EMS. However, large rock falls were recorded at locations located as far as 770 km in Albacete (Tolmo de Minateda; Pérez-López et al., 2010) where slope vulnerability was important. Only and isolated large-scale ($>5 \text{ km}^2$) landslide event was recorded during this event in Spain. This one corresponds with the locality of Güevéjar (Granada) located at 578 km of epicentral distance, where the earthquake was felt with an intensity of V-VI EMS. The landslide strongly damaged the ancient village of Güevéjar, destroying about the 93% of the buildings of the village (63 of 70 existing houses). Landslide occurred about 20-24 hours after the main shock and a large ground crack (2.5 m wide and 3-4 m depth) was generated in the landslide head. The marly nature and steep slope on which this locality was founded favored site effect (Jiménez Pintor & Azor, 2006). The landslide was catastrophically reactivated during the Arenas del Rey 1884 AD earthquake triggering the complete destruction of the village, which was to be rebuilt in other different zone.

Liquefaction processes. Environmental damage for liquefaction processes occurred in an area about $10,000 \text{ km}^2$. Liquefaction processes (at least 19 records) were widely observed along the Huelva coastal zone, the Doñana Marshlands and the Lower Guadalquivir valley (around, Coria, Sevilla, Brenes, etc.), between 250 and 350 km of epicentral distance, where the earthquake was felt with an intensity of VIII (Huelva coast) or VII (Guadalquivir and Doñana). Most of this type of effects propagated along the Guadalquivir depression nearly delineating the intensity VII zone. In most of the cases, liquefaction originated sand volcanoes and open craterlets of few meters of diameter and in some points, large open ground cracks triggered the ejection of water and sands linked to lateral-spreading processes. In Huelva (Cartuja Convent) explosive liquefaction occurred with the occurrence of water fountains about 7 metres high (c. *eight "varas"*).

Hydrological (217) and Hydrogeological (153) anomalies. These Anomalies affected the whole Iberian Peninsula. Changes in the water level of wells (75 records) were reported for $\frac{3}{4}$ parts of Spain at epicentral distances between 260 and 925 km. In the 81% of the cases, the effects consisted in the elevation of the water table, in few cases accompanied by turbidity of water. The maximum frequency of this hydrological anomaly was associated with the VI intensity zone. Hydrogeological anomalies in springs were widely observed in the whole Spain, even at very far away zones (1270 km of epicentral distance), where the earthquake was not felt (Pyrenees). The most observed effect was the turbidity of water (83 records) in about the 60% of the cases, always in intensity zones $\leq$ VI EMS Intensity. Increases and decreases in spring flow-rates (88 records) were observed in about the 35% of the cases, concentrated between the V and VII Intensity zones. The rest 5% of the cases were associated with drying of springs (24 records), concentrated in the VI and VII Intensity zones. Hydrological anomalies also refers to **alteration of rivers** (waves, flow and turbidity), which were observed in most of the Spanish territory. Anomalous waves (47 records) and variations in the flow-rate (26 records), accompanied by turbidity in 15 of the cases, were the most observed effects, especially in the large Iberian rivers, such as the Guadiana, Guadalquivir, Duero, Tago and even the Miño, but mainly concentrated in the Guadalquivir basin and SW Spain. Overflows in river courses were the most numerous effect within the Guadalquivir river basin downstream Córdoba.

TSUNAMI ENVIRONMENTAL EFFECTS.

Large tsunami waves affected about 2,000 km of the Spanish littoral between Huelva (10-11 m high) and Gibraltar (3-5 m high). Most relevant tsunami effects occurred within the intensity zones $\geq$ VII in an area of about 23,500 km² in the provinces of Huelva, Sevilla, Cádiz and Córdoba. There are documentary record of tsunamis and/or anomalous sea-waves for 37 Spanish localities, mostly in the Atlantic coast of the Gulf of Cádiz, but also in Canary Islands, Galicia and several localities in the Cantabrian Sea (Martínez Solares, 2001). The IGN Tsunami Catalogue assigns a Grade 6 (Ambraseys scale; Disastrous) to this event, but in this work, we implemented the new Scale of Tsunami Environmental Effects (TEE16; Lario et al., 2016). In the Cabo de San Vicente, nearest terrestrial point to the macroseismic epicentre (110 km away), the height of the first wave reached 15m. In the Spanish coast, the tsunami waves reached heights between 11-9 m (Ayamonte -Huelva) and 3-5 m (Cádiz) causing significant destruction along the coast. 5 localities were affected by the tsunami in the province of Huelva and 15 localities in the Cádiz one. Important environmental effects occurred in the estuarine areas of the zone, with the record of the breaching of spit bars (Punta Umbría, El Rompido, Valdelagrana), generation of washover fans, an large inundated zones even 9-10 km inland. The tsunami didn't trespass the Gibraltar Strait and the last locality with relevant tsunami damage is Conil de la Frontera (about 350 km away). TEE records allow to estimate a maximum local intensity X in Huelva and VIII in the Cádiz-Tarifa zone. On the other hand, the areal extension of significant secondary effects ($>10 \times 10^3$ km²) indicates a maximum epicentral intensity of XI ESI-07. Intensity zones. As in other cases of large tsunamis, zones of maximum intensities (IX-VIII) at the Spanish coasts delineate a narrow littoral fringe indicating maximum run-up and inundation of the tsunami. This littoral fringe records the direct transfer of the large amount of energy released in the offshore macroseismic zone (i.e. Gorringe Bank) to the nearest coastal zones over hundred kilometers of distance (Lario et al., 2016). In the rest of southern Spain VIII to VII intensity zones clearly indicate site effects and topographic effects all along the Guadalquivir Basin.

ACKNOWLEDGEMENTS

Supported by the MINECO-FEDER Spanish research projects CGL2015-67169-P (QTECSPAIN - USAL), CGL2015-69919-R (UAH), EGEO (IGME Ref: 2612). This is a contribution of QTECT-AEQUA.

REFERENCES

- Gómez Diego, P.V., 2016. Análisis Geomático y Catalogación de los Efectos Geológicos y ambientales del terremoto de Lisboa de 1755 AD. Trabajo Fin de Grado Geomática y Topografía, USAL. 319 pp.
- Jiménez Pintor, J., Azor, A., 2006. El Deslizamiento de Güevéjar (provincia de Granada): un caso de inestabilidad de laderas inducida por sismos. *Geogaceta* 40: 287–290.
- Lario, J., Bardají, T., Silva, P.G., Zazo, C., Goy, J.L., 2016. Improving the coastal record of tsunamis in the ESI-07 scale: Tsunami Environmental Effects Scale (TEE-16 scale). *Geológica Acta* 14.
- Martínez Solares, J.M., 2001. Los efectos en España del terremoto de Lisboa (1 de noviembre de 1755). Monografías IGN, 19. IGN, Madrid (Spain), 756 pp.
- Martínez Solares J.M., López Arroyo, A., 2004. The great historical 1755 earthquake, effects and damage in Spain. *Journal of Seismology* 8: 275-294.
- Mendes-Victor, L., Oliveira, C., Azevedo, J., Ribeiro, A., 2010. The 1755 Lisbon Earthquake: Revisited. Springer., Berlin, Germany. 597 pp.
- Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Silva, P.G., Giner-Robles, J.L., Bischoff, J.L., Owen, L.A., 2010. Determinación de la curva de crecimiento para *Aspicilia radiosa* aplicada en dataciones liquenométricas en caídas de bloques. *Actas IX Reunión Nacional de Geomorfología*, Solsona (Barcelona), SEG., pp 503–507.
- Silva, P.G., Guerrieri, L., Michetti, A.M., 2015. Intensity scale ESI 2007 for assessing earthquake intensities. En: Springer Encyclopedia of Earthquake Engineering, M. Beer et al., Eds. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Silva, P.G., Rodríguez-Pascua, M.A., 2016. Peligrosidad y Riesgo Sísmico: Los Terremotos. En: Introducción a los Riesgos Geológicos (J. Lario, T. Bardají, Eds.). UNED, Colección Grado. Madrid, España. pp. 57–113.

Hutton, C., Shaw, G., Pearson, R., 1809. Philosophical transactions of the Royal Society of London 1750-1755. London. Vol. X. 646 – 656.

INTENSITY ESI-07 (MSK)		III		IV		V		VI		VII	VIII	IX
INTENSITY EMS-98		3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
HYDROGEOLOGICAL EFFECTS	Changes in the water-levels of wells (n = 75)	○		●	●	●	●	●	●	●	●	
	Springs. Temporal interruption of flow (n= 24)		●	●	●	●	●	●	●	●		
	Springs. Temporal changes of flow (n= 88)	○	●	●	●	●	●	●	●	●		
	Springs. Turbidity (n= 83)	○	●	●	●	●	●	●				
	Rivers. Turbidity (n=15)	○	○	●	●	●	●	●	●			
HYDROLOGICAL EFFECTS	Long-period standing waves (n= 29)	○	●	●	●	●	●	●	●	●		
	Anomalous waves in rivers and lakes (n= 49)	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Overflow of river and lakes, seiches (n=15)							●	●	●	●	
GROUND EFFECTS		3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
	Large ground cracks (n=19)			●				●	●	●	●	●
	Landslides (n=1) and rockfalls (n=12)					●	●	●	●	●	●	●
	Liquefaction processes (n = 12)								●	●	●	●
● < 5% ● Between 5% and 10% ● > 10% ● Mode and/or Maximum number of cases ○ few cases or isolated cases observed ● Locally or rarely observed effect. ● Frequently observed effect. ● Characteristically observed effect (Its apparition is diagnostic for the corresponding intensity level).		● Widely observed effect (their dimensions allow to establish the diagnostic intensity level in the ESI-07 Effect). ○ Effect typically observed in the far-field of strong earthquakes out of the ESI-07 Scale (Hydrological and hydrogeological effects).										

Figure 2. Relación entre los efectos geológicos secundarios (EEEs) y los grados de intensidad EMS-98 y ESI-07 para el terremoto de Lisboa (1755 AD) en España. Porcentajes de observaciones en relación al número total de observaciones (n) de cada efecto analizado (basado en Martínez Solares, 2001 – pág. 207; Silva y Rodríguez-Pascua, 2016 – pág. 99).

GEOMETRIA DA UNIDADE ALOSTRATIGRÁFICA SLD13 (CA. 3,7 - 1,8 MA) NO ALGARVE – INTERPRETAÇÕES DEPOSICIONAIS E TECTÓNICAS

P.P. Cunha¹; A.A. Martins²; A.A. Gomes³; M.P. Gouveia¹; T. Tominic¹

¹MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Dep. Ciências da Terra, FCTUC. pcunha@dct.uc.pt, mariamporto@gmail.com

²ICT- Instituto de Ciências da Terra, Dep. Geociências, Universidade de Évora. aam@uevora.pt, tina.tominic@gmail.com

³CEGOT- Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território; Dep. Geografia; Univ. do Porto. albgomes@gmail.com

ABSTRACT

Analysis of 1/50,000 geologic maps allowed geometric characterization of the allostratigraphic unit SLD13 (probable age- latest Zanclean to Gelasian, ca. 3.7 to 1.8 Ma) in the Algarve onshore; it culminates the Cenozoic sedimentary infill. The sedimentary discontinuity at the SLD13 base (at 25 to 150 m asl) is a vast wave cut surface, with low slope, that in the mouth of the coeval rivers is an erosive surface of deltaic/estuarine to fluvial/alluvial genesis. The SLD13 top is an aggradation surface, abandoned at the beginning of the fluvial incision stage. The thickness is estimated in ca. 25-18 m. After SLD13 genesis, displacements in WSW-ENE to SSW-NNE faults lead to subsidence at east but to progressive uplift towards west.

RESUMO

Com base na análise de cartas geológicas 1/50000 caracterizou-se a geometria da unidade alostratigráfica SLD13 (provável idade Zancleano final a Gelasiano; ca. 3,7 a 1,8 Ma) no *onshore* do Algarve; culmina o enchimento sedimentar. Concluiu-se que a descontinuidade sedimentar da base da SLD13 (aos 25 a 150 m asl) é uma vasta superfície de abrasão marinha, com suave declive subindo para terra, que na embocadura dos principais rios atuais passa a uma superfície erosiva com génese deltaica/estuarina a fluvial/aluvial (mais para interior). O topo da SLD13 é uma superfície de aggradação sedimentar, abandonada a quando do início da etapa de encaixe da rede hidrográfica. Estimou-se a espessura original da SLD13 em ca. 25-18 m. Após a deposição da SLD13, existiu tectónica ativa responsável por desnivelamentos tectónicos em falhas com direcções WSW-ENE a SSW-NNE e por basculamentos, conduzindo a soerguimento para oeste e subsidência a leste.

INTRODUÇÃO

Em Portugal, o enchimento sedimentar das bacias cenozóicas culminou com a unidade alostratigráfica SLD13, com idade provável 3,7 a 1,8 Ma (Zancleano terminal a Gelasiano). Nas Orlas Ocidental e Meridional geralmente a sua base é uma vasta superfície de abrasão marinha, coberta com depósitos marinhos siliciclásticos. Mais para o interior, a descontinuidade sedimentar basal está coberta por depósitos de ambientes de transição (deltaicos ou estuarinos), fluviais e mesmo de leque aluvial ou *fan-delta*. É geralmente considerado que o alto nível do mar coevo desta importante incursão marinha pliocénica é de ca. 40 masl (acima do nível médio do mar). Como esta unidade culminante tem uma ocorrência vasta, a sua superfície basal pode ser usada como indicadora do paleo-contexto sedimentar associado (ex. plataforma marinha, litoral, de rio, etc) bem como das modificações tectónicas ulteriores (tectónica activa).

No *onshore* do Algarve, esta unidade alostratigráfica é culminante no enchimento sedimentar e compreende várias unidades litostratigráficas: 1) “unidade de Monte Negro” (areias finas marinhas); 2) “Areias da Falésia” (areias brancas marinhas a deltaicas, com idades ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e associações faunísticas que indicam o Pliocénico); 3) “Areias de Quarteira” (também designada como a “Formação de Faro-Quarteira”), compreendendo areias grosseiras fluviais que poderão compreender o Plistocénico Inferior.

MÉTODOS

O estudo baseou-se em análise bibliográfica, de cartas geológicas 1/50000 e topográficas 1/25000, bem como em Modelos Digitais de Terreno e cartografia geomorfológica.

RESULTADOS

Na carta 51-B, a SLD13 está cartografada com a simbologia “P” quando está acima dos 100 m asl e por “Q” quando está abaixo, embora com continuidade geomorfológica. No extenso sector a norte de Vila do Bispo a SLD13 tem geometria tabular subhorizontal, com a discordância angular basal aos 125 m asl; o seu topo não erosivo (superfície regional de aggradação sedimentar, anterior ao

encaixe da rede hidrográfica) é horizontal aos 143 m asl, permitindo estimar uma espessura de ca. 18 m. No sector a sul do paralelo de Vila do Bispo, a base da SLD13 decresce em altitude para SE desde os 150 m asl (a NW, no vértice geodésico de Torre de Aspa) aos ca. 50 m (Cabo de São Vicente, a SW) e mesmo aos ca. 25 m (Monte Velho, a SE); neste sector meridional, a SLD13 está desnivelada pela zona de falha de Vila do Bispo, com direcções SW-NE a SSW a NNE.

Na carta 52-B (Portimão), a SLD13 apresenta-se cartografada sempre com a simbologia “P”. No sector mais a oeste, a SLD13 tem geometria tabular subhorizontal com a discordância angular basal aos 125 m asl a ocidente da falha SW-W que delimita a bacia mesozóica, mas está basculada para SE no compartimento oriental desta falha (a sua base desce dos 75 m (a NW) para ca. 25 m asl (a SE); assim, esta falha é responsável por um desnivelamento vertical de pelo menos 50 m. No sector central da carta 52-B (área de Lagos), a base da SLD13 decresce em altitude para SE desde os 50 m (Cascais) até ca. 5 m (Meia Praia) asl, podendo a atitude estar condicionada pela falha WSW-ENE que atravessa este sector. Quanto ao sector oriental da carta 52-B, na área de Alvor a base da SLD13 está a ca. 25 m asl subindo gradualmente para leste até atingir 50 m asl em Portimão; imediatamente a leste da falha N-S de Portimão, a base da SLD13 está a ca. 25 m asl (ca. 25 m de rejogo vertical pós SLD13).

Na carta 52B (Albufeira), a SLD13 apresenta-se em posição culminante no enchimento da bacia mas foi cartografada com a simbologia “M2”. No sector mais a oeste, a SLD13 ocupa o enchimento de um amplo paleovale com fundo aos 50 m asl e direcção ENE-WSW, passando por Lagoa (o ancestral Rio Arade ?); para sul do relevo com substrato cretácico ENE-WSW de Sobral (102 m asl), a base da SLD13 decresce em altitude para SE desde os 75 m (vértice geodésico de Cabeças s) até ca. 50 m (Alfanzina – Alcantarilha), e mesmo 25 masl mais para ESE em Armação de Pera. No sector mais a leste (Albufeira – Boliqueime), a base da SLD13 decresce em altitude para SSE desde os 100 m (no sopé do relevo com substrato cretácico de Mosqueira) até ca. 25 m (Sesmarias – Oura – Olhos de Água); a SLD13 tem aqui ca. 25 m de espessura. No extremo oriental identifica-se o paleovale deltaico da ancestral Rib. Quarteira, com a base da SLD13 atingindo no litoral cotas próximas a 0 m asl.

Na carta 53-A (Faro), a SLD13 apresenta-se em posição culminante no enchimento da bacia, assentando em discordância sobre unidades do Miocénico ao Jurássico, tendo sido cartografada com a simbologia “Qa”. A partir do sopé dos relevos com materiais mesozóicos, a base da SLD13 documenta uma vasta paleo-planície costeira com suave declive para sul, dos ca. 50 m (a norte) aos 25 m (junto ao litoral actual) asl.

Na carta 53-B (Tavira) a SLD documenta um leque aluvial (ou *fan-delta*) com ápex em Campina de Santiago (discordância basal a ca. 50 m asl), passando para sul a uma planície costeira (discordância basal a ca. 25 m asl).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Desta unidade alostratigráfica, as várias cartas geológicas 1/50000 originaram uma complexa nomenclatura litostratigráfica, também condicionada por insuficiente datação. Contudo, a sua posição geomorfológica é clara: ocupa posição culminante no enchimento sedimentar e antecede a etapa de incisão fluvial. A geometria da unidade evidencia ulterior actividade tectónica, já documentada em afloramento por vários autores.

No *onshore* do Algarve a SLD13 culmina o enchimento sedimentar. A descontinuidade basal (aos 25 a 150 m asl) é uma vasta superfície de abrasão marinha, com suave declive subindo para terra, que na embocadura dos principais rios atuais passa a uma superfície erosiva com génese deltaica/estuarina a fluvial/aluvial. O topo da SLD13 é uma superfície de agração sedimentar, abandonada a quando do início da etapa de encaixe da rede hidrográfica. Estimou-se a espessura em ca. 25-18 m. Após a deposição da SLD13 existiram desnivelamentos em falhas (WSW-ENE a SSW-NNE) e basculamentos, determinando subsidência a leste e progressivo maior soerguimento para oeste.



Sistemas de interface oceano-continente

Sistemas de interfaz oceano-continente

SEDIMENTOLOGÍA Y CAMBIOS DEL NIVEL DEL MAR EN EL ISLOTE GUIDOIRO AREOSO, RIA DE AROUSA, NO DE LA PENINSULA IBERICA

R. Blanco-Chao¹; M. Costa-Casais¹; T. Taboada-Rodríguez²; R. Tallón-Armada²

¹ Dpto. Geografía. Universidade de Santiago de Compostela. ramon.blanco@usc.es, manuela.costa@usc.es

² Dpto. Edafología y Química Agrícola. Universidade de Santiago de Compostela. teresa.taboada@usc.es, rebeca.tallon@usc.es

ABSTRACT

We identified an evolutive sequence with a period of deposition of sediments from weathering layers around 5.6 and 4.6 ky BP. Above this layer there is a beach-dune sediment. We obtained a sediment column in a formation between -1 m and the present mean sea level. Its properties suggest a fast sedimentation in an intertidal system that started around 3.9-3.7 kys BP.

RESUMEN

Se ha identificado una secuencia evolutiva con un periodo, entre 5.6 y 4.6 ka BP, de sedimentación de materiales procedentes de capas de alteración, sobre los que se dispone un sedimento de playa-duna. También se muestreó una formación situada entre -1 m y el nivel medio del mar actual, y cuyas características sugieren una rápida sedimentación en un ambiente intermareal que comenzó alrededor de 3.9 -3.7 ka BP.

INTRODUCCIÓN

El Isote Guidoiro Areoso se encuentra al oeste de la Illa de Arousa, en la Ria del mismo nombre. Se compone de un sector sur rocoso sobre el que se emplaza una cobertura dunar, y un sector norte compuesto por un lóbulo arenoso con una alta movilidad. En este trabajo se analizan dos testigos sedimentarios que si bien no forman una secuencia sedimentaria continua, permiten identificar las etapas principales en la evolución morfosedimentaria del isote.

MÉTODOS

Se tomaron muestras cada cinco cm en una cata situada al oeste del isote (ARE-S-I). Las muestras se tamizaron y se determinó la pérdida de peso por ignición (LOI), composición elemental y composición mineralógica. En el sedimento intermareal (ARE-IN-2) se extrajo un testigo de 50 cm (Figura 1), que fue dividido en secciones entre 2 y 4 cm, sobre las que se determinó la pérdida de peso por el método LOI. Se prepararon siete muestras para datación radiocarbónica, dos en el testigo ARE-S-I y cinco en el testigo ARE-IN-2.

RESULTADOS

Las propiedades del testigo ARE-S-I permiten identificar un nivel basal que se corresponde con una acumulación de un material grueso, pobremente clasificado con abundantes gravas de cuarzo y feldespato y valores de LOI < 1%. Un segundo nivel muestra un progresivo descenso en el tamaño del sedimento con la práctica desaparición de las fracciones de > 2 mm, una mejor clasificación y un descenso en los valores de LOI. El tercer nivel corresponde a un sedimento texturalmente muy uniforme, arenoso con muy buena clasificación y valores de LOI < 0.3%. Las mayores concentraciones de Si en el material más superficial descendiendo con la profundidad, al contrario que Ca, Na y Sr ya que son los niveles basales los más ricos en estos elementos. En el testigo ARE-IN-2 se identifica un primer nivel basal situado sobre el substrato rocoso, con alto contenido en arenas y valores de LOI entre 1.5% y 2.2%. Un segundo nivel con menos arenas y un marcado incremento en los valores de LOI, entre 3.2% y 11.6%. En el nivel superior los datos de LOI indican un nuevo descenso hasta valores entre 1.2% y 5.9%, aumentando el contenido en arenas.

DISCUSIÓN

Los testigos analizados ponen de manifiesto una fase continental, con un nivel del mar más bajo que el actual 3.5 – 4 m hasta 3.7-4 ka (González Villanueva et al., 2015; Costas et al., 2009). Entre 5.7 y 4.6 ka se produce una etapa de desmantelamiento de capas de alteración, que se acumulan en zonas preferentes de acuerdo a la topografía del substrato. Tras una fase de estabilidad estas acumulaciones fueron edafizadas, momento que puede coincidir con la ocupación funeraria adscrita

al III milenio AC (Rey García & Vilaseco Vázquez, 2012), cuando el islote se correspondía con una zona elevada. En torno a 4.0-3.7 ka se detecta la formación de un sedimento de tipo intermareal en el flanco occidental, evidenciando el cambio definitivo a un sistema morfodinámico litoral. Dado que este sedimento también está erosionado, no podemos conocer su potencia máxima, y por tanto dificulta inferir el nivel del mar durante su formación, aunque posiblemente se situaría en los primeros momentos de estabilización del nivel del mar en la cota actual, o con un nivel del mar ligeramente más bajo. La posterior erosión de los materiales acumulados en la etapa continental y los aportes biogénicos permiten el desarrollo de un sistema de playa duna que en el sector norte formó una pequeña flecha de tipo “trailing” o “comet spit”.

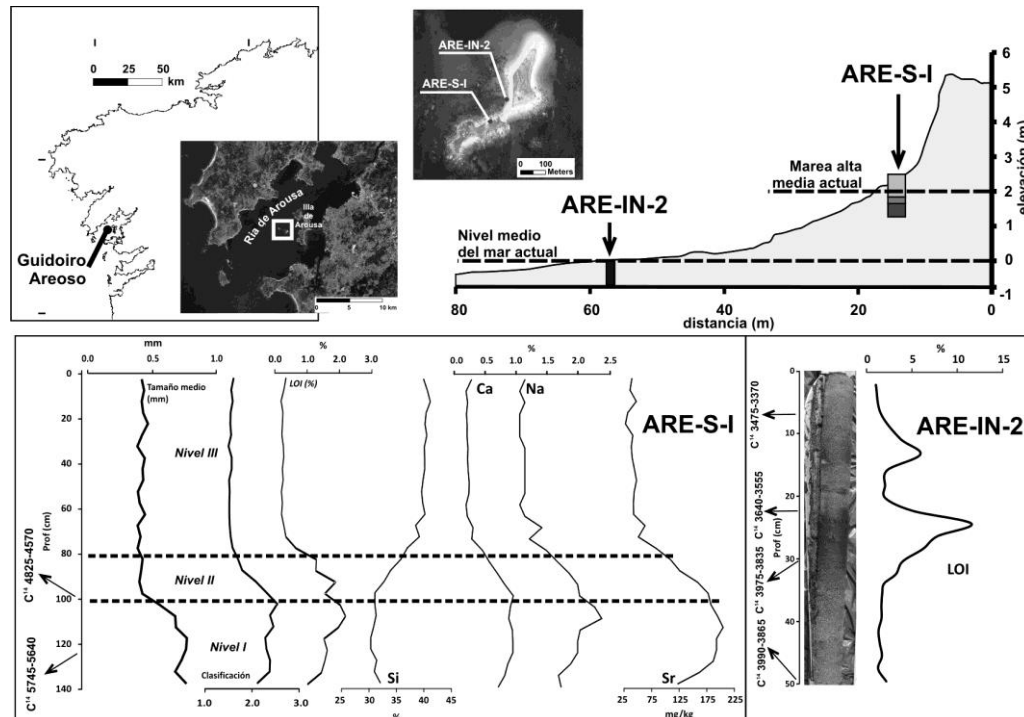


Figura 1. Localización del área de estudio, posición de los testigos analizados y propiedades de los testigos ARE-S-I y ARE-IN-2.

CONCLUSIÓN

Aunque los dos testigos analizados no forman una secuencia única, puede deducirse el cambio de un sistema intermareal a un complejo de playa-duna. Posiblemente la actividad eólica responsable de la génesis de los complejos dunares pudo iniciarse con anterioridad, una hipótesis que podrá verificarse cuando la excavación de uno de los túmulos permita obtener una secuencia en el interior de la isla.

REFERENCIAS

- Costas, S., Sobrino, C.M., 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.
- González-Villanueva, R., Pérez-Arlucea, M., Costas, S., Bao, R., Otero, X.L., Goble, R. 2015. 8000 years of environmental evolution of barrier-lagoon systems emplaced in coastal embayments (NW Iberia). *The Holocene* 25: 1786-1801.
- Rey García, J.M., Vilaseco Vázquez, X.I., 2012. Guidoiro Areoso. Megalithic cemetery and prehistoric settlement in the Ria de Arousa (Galicia, NW Spain). In: Campar Almeida, A., Bettencourt, A.M.S., Moura, D., Monteiro-Rodrigues, S., Caetano Alves, M.I., eds. *Environmental changes and human interaction along the western Atlantic edge. Mudanças ambientais e interação humana fachada atlântica ocidental*. Coimbra, APEQ – Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário: 243-258

NÍVEL DO MAR DURANTE OS ÚLTIMOS 13.5 KA INFERIDO DO REGISTOS SEDIMENTARES ESTUARINOS DO ATLANTICO SUL E NORTE

T. Boski¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000 FARO, Portugal.
tboski@ualg.pt

ABSTRACT

Holocene sea levels were reconstructed from sedimentary records studied in the estuaries of Guadiana on SE Portuguese coast and of Potengi-Jundiaí on Rio Grande do Norte, NE Brazil coast. The relation of sediment surface to the past sea-level was assessed from the foraminifera and diatom content and textural features of the estuarine infill deposits. The Guadiana record embraces the last 13.2 kyrs and Potengi-Jundiaí 10 kyrs representing sedimentary columns of 55 m and 28 m respectively. In both cases, we could distinguish two periods of sea level rise differing markedly in terms of rate. In Guadiana estuary, sea-level rose 7-8 mm/yr until ca 6500 yrs cal BP while in Potengi-Jundiaí the inferred rate is 8 – 9 mm year. In the following period, until actuality, the rate of sea-level rise was about 1mm year in Algarve while in NE Brazil the process is recorded less clearly, not permitting to propose any clear trend.

RESUMO

Os níveis do mar Holocénicos foram reconstruídos a partir de registos sedimentares estudados nos estuários de Guadiana na SE costa portuguesa e de Potengi-Jundiaí no rio Grande do Norte, NE Brasil. A relação da superfície do sedimento com o nível do mar passado foi avaliada com base na microfauna bentónica de foraminíferos e diatómeas e características texturais dos depósitos estuarinos. O registo do Guadiana abrange os últimos 13,2 kyrs e Potengi-Jundiaí 10 kyrs representando colunas sedimentares de 55 m e 28 m, respectivamente. Em ambos os casos, podemos distinguir dois períodos de subida do nível do mar diferindo marcadamente em termos de taxa. No estuário do Guadiana, o nível do mar subiu 7-8 mm/ano até cerca de 6500 anos cal BP enquanto em Potengi-Jundiaí a taxa inferida é de 8 a 9 mm/ano. No período seguinte, até a atualidade, a mesma taxa foi de cerca de 1 mm/ano no Algarve, enquanto no NE Brasil o processo é registrado de forma menos clara, não permitindo de inferir uma tendência.

INTRODUÇÃO

A rápida subida do nível do mar que ocorreu após o último máximo glacial (LGM) criou dezenas de metros de espaço de acomodação vertical para sedimentos depositados em paleovales fluviais. Os arquivos sedimentares estuarinos geralmente contêm abundantes itens datáveis do ¹⁴C e podem ser vistos como complementares aos registos clássicos, baseados em corais utilizados nas reconstruções do nível do mar, como p.ex. os de Barbados (Fairbanks, 1989). O processo de sedimentação costeira/estuarina pós-glacial na zona litorânea do Golfo de Cadiz foi estudado por vários autores (Zazo et al., 2008; Boski et al., 2008). No Nordeste Brasileiro destacam-se os estudos de Bezerra et al. (2003) dedicados a variação do nível médio do mar (NMM) durante os últimos 7000 anos. Em virtude do desconhecimento quase total da evolução do NMM no Brasil que antecede este período, foram realizadas várias campanhas de sondagens manuais e mecânicas nos sedimentos holocénicos na zona intermareal do estuário dos rios Potengi-Jundiaí cujos primeiros resultados serão aqui apresentados.

MÉTODOS

As amostras para as análises foram obtidas dos testemunhos de sondagens contínuas mecânicas de 15 cm de diâmetro (Guadiana) e sondagens manuais (trado Eijkelpamp 3.5 cm) e mecânicas de 7 cm de diâmetro. Foram realizadas as análises micropaleontológicas de diatómeas e foraminíferos bentónicos, datações ¹⁴C por método AMS, análises granulométricas e geoquímicas.

RESULTADOS

O preenchimento do paleovale do Rio Guadiana exhibe um claro gradiente de decrescente influência marinha em termos da energia do meio da deposição. Consequentemente as duas sondagens (CM5 e CM6) com registo sedimentar mais contínuo e mais completo situam-se cerca de 9 km da foz. A análise da microfauna revelou a dominância dos foraminíferos *Trochammina*

macrescens, *Ammonia beccarii* e *Haynesina germanica* e diatomáceas *Nitzschia navicularis*, *Scolioneis tumida* and *Diploneis didyma*) típicas das águas salobras. As datações da matéria orgânica de origem de sapal, associada a análise textural dos mesmos revelou que o período de acreção sedimentar num ambiente predominantemente intermareal, documentado em duas sondagens abrange os últimos 13.2 ka cal BP, sem interrupções evidentes exceto um corpo arenoso de 5 m nos 55 m de sedimentos siltosos da sondagem CM6.

O preenchimento do paleovale Potengi-Jundiai revela uma contínua influência marinha com conjuntos de foraminíferos bentónicos dominados, por espécies exclusivamente calcárias: *Ammonia tepida*, *Elphidium excavatum*, *Elphidium poeyamn*, *Partarotalia cananeaensis*, *Elphidium* sp., *Haynesina germanica*. Nas sondagens Ig8 e IG9 o corpo sedimentar de cerca de 30 m, depositados durante os últimos 10 ka consiste em dois horizontes silto-argilosos de manguezal, separados pela sequência arenosa do delta de enchente.

DISCUSSÃO

No estuário do Rio Guadiana, o registo dos processos que acompanharam a subida do nmm após a última glaciação foi conseguido, devido à sua situação geomorfológica privilegiada. A reconstrução do processo, desde ca 13.2 ka cal BP, revelou uma subida do NMM com a taxa de 7 mm a⁻¹ que chega a estagnar durante o Drias Recente para seguidamente recomeçar a partir de 11.5 ka cal BP, por mais 4 milénios. A partir de 7.5 ka cal BP a taxa média de subida decresceu para 1.2 mm a⁻¹.

O preenchimento do vale estuartino, que acompanhava a subida do NMM interferia com o equilíbrio da floresta de manguezal da *Rhizophora* e *Avicennia* que em função do espaço disponível migrava com a zona intermareal. O registo sedimentar das sondagens mecânicas revela, a partir da base de Holocénico há 10 ka cal BP, uma floresta halofítica cujo desenvolvimento, na parte central do estuário, é interrompido pela entrada maciça de área litorânea aquando do último pulso da subida de NMM. Somente depois da estabilização do NMM observa-se o regresso desta vegetação a parte central do estuário. As datações do material orgânico dos sedimentos desta parte do registo sedimentar, tanto no estuário Potengi-Jundiai como Assu (300 km NW) indicam NMM abaixo do presente durante o Holocénico superior. Esta informação contraria geralmente aceite hipótese de NMM mais alto que presente, posterior a 7 ka cal BP.

CONCLUSÃO

Os estudos realizados permitiram evidenciar que no estuário do Guadiana, o nível do mar subiu 7-8 mm/ano até cerca de 6500 anos cal BP enquanto em a taxa inferida foi de 8 a 9 mm/ano. No período seguinte, até a atualidade, a mesma taxa foi de cerca de 1 mm/ano no Algarve, enquanto no NE Brasil o processo é registrado de forma menos clara, não permitindo de inferir uma tendência.

REFERÊNCIAS

- Bezerra, F.H.R., Barreto, A.M.F., Suguio, K., 2003. Holocene Sealevel History on the Rio Grande do Norte State Coast, Brazil. *Marine Geology* 196: 73–89.
- 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(2): 230-244.
- 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.
- Zazo, C., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Lario, J., Cabero, A., Silva, P.G., Bardají, T., 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 (1): 72-87.

EVOLUTION OF THE SADO ESTUARY LIMIT OVER THE LAST 8400 YEARS: IMPLICATIONS FOR THE MESOLITHIC COMMUNITIES

A.M. Costa^{1,2,3}; M.C. Freitas³; M. Leira³; C. Andrade³; R. Mota⁴; J. Duarte⁵; A. Rodrigues⁵; M. Diniz⁶; P. Arias⁷

¹ LARC – DGPC and CIBIO / InBIO, Rua da Bica do Marquês 2, 1300-087 Lisboa. acosta@dgpc.pt

² IIIPC, Universidade de Cantábria, Avda de los Castros S/N, 39005 Santander

³ Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, Piso 3, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

⁴ LNEC, Núcleo de Geologia de Engenharia e de Ambiente, Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa

⁵ Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1296-093 Lisboa

⁶ UNIARQ, Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa

ABSTRACT

In this work we present preliminary results of the palaeoenvironmental reconstruction of the Sado valley over the last 8400 years. The reconstruction relies upon environmental proxies in sediments taken from six cores collected between Arapouco and Laxique (Alcácer do Sal), near the Mesolithic shell middens found in the area. Additionally, electric resistivity profiles were used to characterize the subsurface Sado valley configuration. Results suggest a more or less extensive brackish environment since, at least, 8400 cal BP in the studied area, i.e. there is evidence for the influence of marine water in the vicinity of the area occupied by the Mesolithic groups.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados preliminares da reconstrução paleoambiental do vale do Sado nos últimos 8400 anos. As interpretações fundamentam-se na análise de indicadores ambientais em sedimentos obtidos em 6 sondagens recolhidas entre Arapouco e Laxique (Alcácer do Sal), localizadas na proximidade da área ocupada pelos caçadores – recolectores do Mesolítico Final. Adicionalmente, foram executados perfis de resistividade eléctrica com o objectivo de compreender a configuração subsuperficial do vale. A interpretação dos resultados aponta para a presença de água salgada nas proximidades da área ocupada por estes grupos de caçadores-recolectores no Mesolítico.

INTRODUCTION

Since the Last Glacial Maximum (LGM) several environmental and landscape changes occurred in response to a major climatic re-organisation. Those changes are particularly visible in coastal areas that, due to the sea-level rise induced by global warming, were flooded or led to the formation of “new” boundary spaces at the interface between land and sea.

The surroundings of estuarine areas shaped contemporaneously to the maximum reach of marine influence of the Holocene transgression, particularly on the Tagus and Sado rivers, were occupied and exploited by Late Mesolithic hunter-gatherer communities between ca. 8400 and 7000 cal BP (e.g. Arnaud, 1989; Diniz and Arias, 2012). These groups are known to have exploited high quantities of marine resources and recent data reveals large asymmetries concerning marine resources consumption within Sado shell middens that remain to be explained (e.g. Peyroteo-Stjerna, 2016). However, the maximum extension of marine invasion in the Sado river has never been studied since it was predicted (e.g. Arnaud, 1989) that the shell middens area should be similar to Tagus paleoestuary environment.

In this work we present preliminary results of multiproxy analysis combined with a detailed ¹⁴C dating program performed in six sediment cores collected upstream the present-day limit of the Sado estuary, between Arapouco and Laxique (Alcácer do Sal; Figure 1-A and -B). The palaeoenvironmental reconstruction is also supported by several electric resistivity profiles performed in the Sado alluvial plain (Figure 1-C).

METHODS

Sediment cores were measured for magnetic susceptibility (MS; Bartington equipment) and then open, described, weighted and freeze-dried. Sub-samples were analysed for grain-size (Malvern laser equipment), calcium carbonate (CaCO₃; Eijkelkamp calcimeter), organic matter (OM; adapted from Kristensen, 1990) and organic carbon (C_{org}; Thermo Finnigan elemental analyser) contents, and

for diatoms identification. Electrical resistivity profiles were performed with an ABEM 4000 resistivity meter with Lund system.

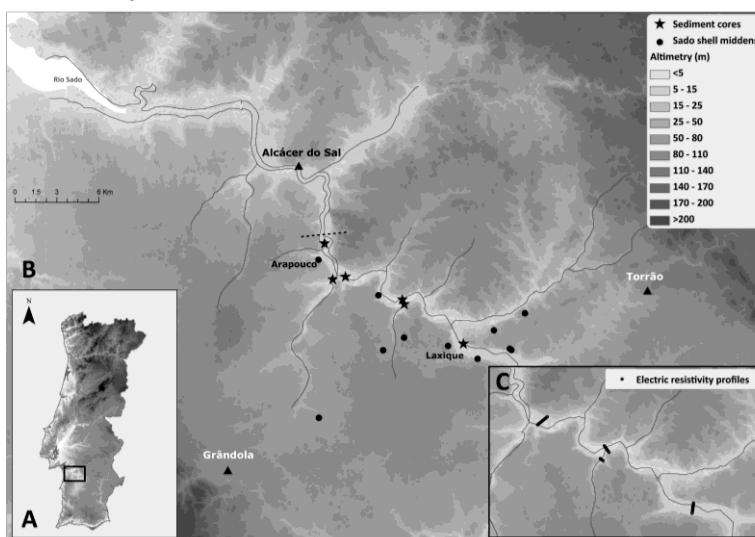


Figure 1. A- Location of the Sado Valley in Portugal; B – Location of the sediment cores analysed in this work and the Mesolithic archaeological sites from Sado estuary; C – Location of the electric resistivity profiles. Dashed line represents the present-day limit of salt-water influx.

RESULTS, DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The interpretation of the electric resistivity profiles allows recognising a deeply incised valley (~40m) in the main Sado channel in opposition to less deeper valleys in the tributaries. The ^{14}C dates obtained for the base of each sediment core indicate higher sedimentation rates at the Sado main stream than in the tributaries. The analysed proxies, particularly MS, OM and diatom assemblages, reflect the marine influence upstream the present-day estuary and within the Sado river, reaching at least the westernmost area occupied by Late Mesolithic groups. The results of the organic carbon in sediment reflect a mixed source between terrestrial and marine components with exception of the topmost section of the cores where the terrestrial/fluvial component increases in importance. Major differences in the results (MS, OM and diatoms) occur at a depth similar to the present mean sea level, pointing to higher fluvial influence and to the aggradation of the alluvial plain. Small pulses in the sea level rise rate (ca. 3600 cal BP; Costas et al., 2016) may have promoted higher marine influence and contribute to higher sedimentation rate, at least, at Arapouco.

In conclusion, our data points to an estuarine environment between Arapouco and Laxique during the Late Mesolithic occupation, with favourable conditions for the local exploitation of marine/estuarine resources. The definition of the maximum estuarine environment area it still in course of analysis.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was done in the scope of the FCT PhD Grant SFRH/BD/110270/2015. The authors would like to acknowledge the support of the Instituto Dom Luiz — IDL (UID/GEO/50019/2013) and of the projects COASTTRAN (HAR2011-29907-C03-00) and CoChange (HAR2014-51830-P) financed by the Spanish Ministry of Science and Innovation and Back to Sado (PTDC/HIS-ARQ/121592/2010) funded by FCT.

REFERENCES

- Arnaud, J.M., 1989. The Mesolithic communities of the Sado valley (Portugal) in their ecological setting. In: Bonsall, C (Eds.), *The Mesolithic in Europe, Papers presented at the III International Symposium*. John Donald, Edinburgh, pp. 614-631.
- Costas, S., Ferreira, O., Plomaritis, T.A., Leorri, E., 2016a. Coastal barrier stratigraphy for Holocene high-resolution sea-level reconstruction. *Scientific Reports* 6: 38726.
- Diniz, M., Arias, P., 2012. O povoamento humano do paleo-estuário do Sado (Portugal): Problemáticas em torno da ocupação dos concheiros Mesolíticos. In: Almeida, A.C., Bettencourt, A.M.S., Moura, D., Monteiro-Rodrigues, S., Alves, M.I.C., Eds. *Mudanças ambientais e interação humana na fachada atlântica ocidental*. Coimbra, pp. 139-157.
- Kristensen, E., 1990. Characterization of biogenic organic matter by stepwise thermogravimetry (STG). *Biogeochemistry* 9: 135-159.
- Peyroteo-Stjerna, R., 2016. On Death in the Mesolithic. Or the Mortuary Practices of the Last Hunter-Gatherers of the South Western Iberian Peninsula, 7th–6th Millennium BCE. Doctoral thesis. Occasional papers in archaeology 60. 511 pp. Uppsala University.

HOLOCENE EVOLUTION OF THE CATUMBELA DELTA (ANGOLA): FROM A DEFLECTED TO ASYMMETRIC WAVE-DOMINATED DELTA

P.A. Dinis¹; J. Huvi²; J.M. Azevedo³

¹ MARE -Marine and Environmental Sciences Centre; Dep. de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Portugal

² MARE - Marine and Environmental Sciences Centre; Universidade Katiavala Bwila, Angola

³ CITEUC - Centro de Investigação da Terra e do Espaço; Dep. de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Portugal

ABSTRACT

We present the results of research on the stratigraphy and morpho-sedimentary evolution of the Catumbela delta (Angola). The planform geometry of this delta is characteristic of a wave-dominated accumulation strongly influenced by north longshore drift. The present study shows a case of major morphological transformations in a wave dominated delta due to successive shifts in the location of the river and distributary channels. In a millennial time scale a trend for updrift relocation of the river mouth is observed, that is responsible for the transition from a deflected to an asymmetric delta type. Avulsion processes in the delta plain explain this transition.

RESUMO

Apresenta-se uma investigação sobre a estratigrafia e evolução morfo-sedimentar do delta Catumbela (Angola). A geometria em planta deste delta é característica de uma acumulação dominada por ondas e fortemente influenciada por uma corrente de deriva litoral para norte. O presente estudo mostra um caso em que um delta dominado por ondas sofre grandes transformações morfológicas devido a mudanças sucessivas na localização dos canais fluviais e distributários. Para a escala do último milénio, observa-se uma tendência para a deslocalização no sentido barlamar do troço terminal do rio e da sua foz que é responsável por profundas alterações morfológicas no delta. Os processos de avulsão na planície delta, por si só, podem explicar estas alterações.

INTRODUCTION

The delta of Catumbela River is located in SW Angola. It presently displays a sharp asymmetry marked by the presence of an amalgamated beach ridge plain in its updrift side (i.e., to the south of the river channel), contrasting with the occurrence of wide floodplain and lagoon deposits between isolated beach ridge sets in its downdrift side (Dinis et al., 2016). The morphology of this coastal accumulation, however, changed during the Holocene. It is possible to recognize abandoned channels within the delta plain and the presence of isolated troughs cutting the northern beach ridge plain that are attributed to former river mouths. Satellite images and maps of the mid-20th-century also show that the Catumbela outlet shifted periodically and that these changes had correspondence with changes in the shoreline configuration. Bhattacharaya & Giosan (2003) considered that the facies distribution and the asymmetry of a wave dominated delta can be predicted from an asymmetry index that expresses the relation between the intensities of longshore marine currents and fluvial processes, such that the asymmetry is higher when the longshore net transport is more important. The deltas may become deflected, showing a river mouth running sub-parallel to the coast, when the net transport is very high and persistent. However, it has been proposed that other factors may play a role in delta asymmetry (Anthony, 2015; Rossetti et al., 2015). In this work we report the results of the investigation on the evolution of the Catumbela delta based on the analyses of sediment samples and the interpretation of aerial images, ancient maps and historical data. This set of data provides valuable information to establish the Holocene evolution of the Catumbela delta during the last 1000 years, with particular emphasis on its planform asymmetry.

METHODS

Seventy eighth boreholes were drilled with an Edelman hand auger providing approximately 200 sediment samples. The grain-size distributions of the collected samples were obtained by laser diffraction and sieving and the results of the two techniques were merged using the SLCombo application (Dinis & Castilho, 2012). Other recognizable features, such as the sedimentary structures, color and shell fragments were reported systematically. A set of samples with fragments of shells from marine organisms and organic matter were selected for C¹⁴ dating. In addition, several high

resolution GeoEYE-1 satellite images available through Google Earth™, aerial photos, old maps, sketches in documents on the evolution of the region and ancient maps were analyzed in order to establish the distribution of morho-sedimentary units at different times.

RESULTS AND DISCUSSION

Four sedimentary facies can be broadly distinguished in Catumbela delta: (1) beach, (2) coastal lagoons and marshes, (3) fluvial and distributary channels and (4) floodplain and floodplain lakes. The spatial distribution of the different facies reflects the west to northwest progradation of the delta. The direction of progradation should be strongly conditioned by the paths of the Catumbela River and its distributary channels.

The available maps of 17th and 18th centuries suggest that the river was deflected in the downdrift direction after entering the delta plain and the outlet was displaced to the north of its present location. It is possible to recognize abandoned meanders in the floodplain near Lobito (10 km to the north of today's river mouth) that may be linked with a former path of Catumbela. This possibility is also reinforced by the abundance of fluvial channel deposits in a belt that extends to the north of the point where the river leaves its incised valley and enters the delta plain. Other former outlets of the Catumbela River are identified at approximately 8 km and 5 km to the north of today's river mouth, being dated back to approximately 1000 AD. By the end of the 18th century or early 19th century the Catumbela River already had an outlet at today's latitude and the path of the major river channel in the delta plain remained with an approximately E-W direction. During this period, the progradation was localized at the vicinity of the river mouth. Minor changes in the final course (last 2 km) of the river and distributary channels occurred during the last decades.

CONCLUSION

The planform geometry of the Catumbela delta is characteristic of a wave-dominated accumulation strongly influenced by north-directed longshore drift. A typically deflected delta can be proposed for a time period when the river mouth was near Lobito region (10 km to the north of today's outlet). After that, the river channel migrated southward (i.e., updrift) and relocated, first, ca. 8-5 km to the north of present position (> 1000 AD), and, later, to approximately the present day latitude (18th to 19th century). From the mid-19th century onwards the channel course shifted in its lowermost stretch, being responsible for shoreline changes in the evolving areas. The present study shows a case of major morphological transformations in a wave dominated delta due to successive shifts in the location of the river and distributary channels. For a millennial time scale it is observed a trend for updrift relocation of the river mouth that has been provoked by avulsion processes.

REFERENCES

- Anthony, E.J., 2015. Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review. *Marine Geology* 361: 53-78.
- Bhattacharya, J.P., Giosan, L., 2003. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology* 50: 187-210.
- Carvalho, G.S., 1963. Problemas de sedimentologia das praias do litoral de Angola: entre a foz do rio coporolo e o Lobito. *Garcia de Orta* 11: 291-313.
- Dinis, P.A., Castilho, A.M., 2012. Integrating sieving and laser data to obtain bulk grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Research* 82: 747-754.
- Dinis, P.A., Huvi, J., Cascalho, J., Garzanti E., Vermeesch, P., Callapez, P., 2016. Sand-spits systems from Benguela region (SW Angola). An analysis of sediment sources and dispersal from textural and compositional data. *Journal of African Earth Sciences* 117: 171-182.
- Kullberg, C., 2008. Selos de Angola (Angola e Congo) (1870/1974). Biblioteca Electrónica de Filatelia (e-B), Edições Húmus Lda
- Maia, C.R.M.F., 1937. Algumas modificações geofísicas em portos e embocaduras de rios na África Portuguesa. *A Terra* 28: 11-30.
- Rossetti, D.F., Polizel, S.P., Cohen, M.C.L., Pessenda, L.C.R., 2015. Late Pleistocene–Holocene evolution of the Doce River delta, southeastern Brazil: Implications for the understanding of wave-influenced deltas. *Marine Geology* 367: 171-190.

SENSITIVITY OF SALTMARSH PLATFORMS FOR SEDIMENT SUPPLY REDUCTION DUE TO REGULATION OF FLUVIAL DISCHARGE INTO THE GUADIANA ESTUARY IN THE CONTEXT OF SEA-LEVEL RISE

D.M.R. Sampath¹; T. Boski¹

¹ CIMA- Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.
rmudiyansele@ualg.pt

ABSTRACT

Development of saltmarshes and their long-term survival depends on the sea level rise rate and the sedimentation rate in the new accommodation space. The most widely used strategy to mitigate the negative consequences of river flow regulations is based on defining ecological flows (EF), which are the minimum water requirements left in a river system—or released into it—for managing ecosystem. But methods applied to estimate EFs do not consider the fluvial discharge required to maintain saltmarsh habitats in the context of SLR. Therefore, simulations were carried out to understand the sensitivity of saltmarsh habitats for reduced sediment supply. Results of the study suggests that defining the minimum EF as a percentage of dry season flow (in Portugal) is inadequate for mitigating impacts of SLR on saltmarshes.

RESUMO

O desenvolvimento dos sapais e a sua sobrevivência a longo prazo depende da taxa de subida do nível médio do mar e da taxa de sedimentação no novo espaço de acomodação. A estratégia mais utilizada para mitigar as consequências negativas da regulação do caudal fluvial é baseada na definição de caudais ecológicos (CE), que são os requisitos mínimos de água deixados no sistema fluvial—ou nele libertados—para a gestão do ecossistema. Mas os métodos aplicados para estimar os CAs não consideram a descarga fluvial necessária para manter os habitats de sapal no contexto da subida do nível médio do mar. Assim, efetuaram-se simulações para compreender a sensibilidade dos habitats de sapal para um reduzido fornecimento de sedimentos. Os resultados do estudo sugerem que a definição de um CE mínimo como a percentagem de um caudal de época seca (em Portugal) é inadequado para a mitigação dos impactos da subida do nível do mar.

INTRODUCTION

In contrast to the Holocene period of high sediment input, which accompanied a depositional coastal response to SLR, coastal habitats such as saltmarshes will retreat under rapid SLR, due to reduced fluvial sediment supply, provoked by dams. In the Guadiana River basin, hundreds of dams were constructed since 1950s, which includes the Alqueva dam, the largest artificial lake in Western Europe. In the context of a rapid SLR with increased ice sheet melting during the 21st century (Paolo et al., 2015), the reduction of fluvial sediment supply due to the regulation of river discharge represents a major challenge for the management of the Guadiana estuarine system. For the Guadiana River, EF is 2 m³/sec, during the dry season (Wolanski et al., 2006). Thus, the present study aims to assess sensitivity of saltmarsh habitats for reduced sediment supply and projected SLR of the Guadiana estuary during the 21st century.

METHODS

The simulations were based on a hybrid model developed using a set of analytical solutions to simplified equations of tidal wave propagation in shallow waters and empirical knowledge of the system (Prandle, 2009). The river discharge in the model consists of a base flow (BF) and pulses. The BF of the Guadiana River discharge after the closure of the Alqueva Dam is approximated as a combination of trigonometric functions. For sensitivity analysis, the amplitudes of the trigonometric functions were multiplied by a factor of 1.5 to 5, with 0.5 intervals, while keeping the peaks from 2000–2014. The worst case sea-level rise scenario of IPCC (2007) was considered for the study (95% limit time-series of the A1FI).

RESULTS

According to the results, saltmarsh habitats may be affected severely in response to upper-limit scenarios of sea-level rise after 2050. A significant increase of the mud-flat area is a concern

due to its low biodiversity. The available area for high saltmarshes will shrink when compared to the situation observed in the year 2000. Decadal volume of net sediment erosion from the Guadiana Estuary due to the projected scenarios will tend zero when the BF of the modelled river discharge increased by a factor of 1.0 to 5 with 0.5 intervals.

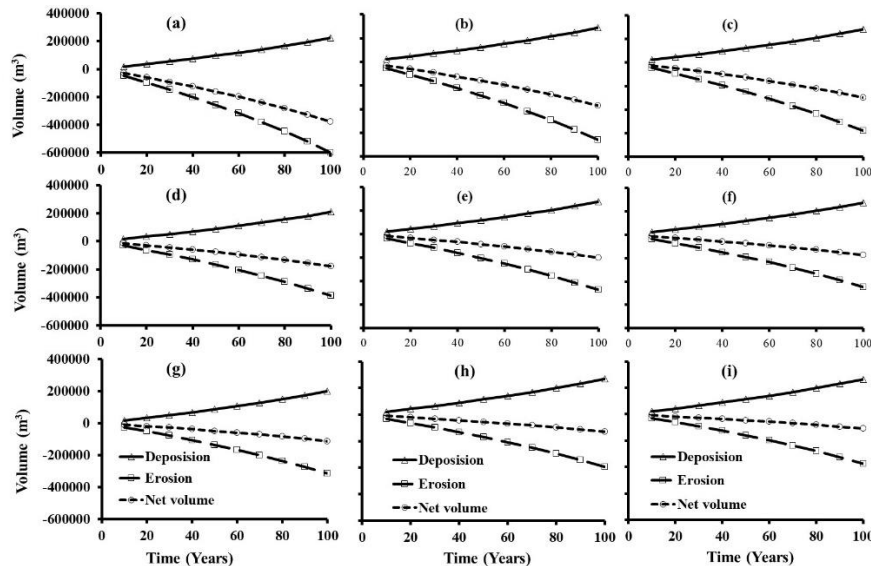


Figure 1. Sediment erosion, accretion and net erosion from the Guadiana Estuary due to the A1FI SLR scenario (95%) and sedimentation scenario is: (a) the observed river discharge (Q) pattern from 2000–2014; and (b) to (i) the BF of the modelled Q multiplied by a factor of 1.5 to 5 with 0.5 intervals, respectively. (Source: Sampath & Boski, 2016).

DISCUSSION

Due to rapid SLR, saltmarshes can be exposed to increased tidal flooding or submergence, and erosion. The applicability of larger factors for BF may not be feasible under the present water demand in the Guadiana basin. Despite the erosion volume will decrease with increase BF that does not ensure the submergence of saltmarsh habitats due to SLR. Therefore, a simple increase of BF is not sufficient to overcome the risks of habitat extinction and this points to the deficiencies of defining the EF as a percentage of dry season flow.

CONCLUSION

Defining the minimum ecological flows as a percentage of dry season flow (as done presently) is inadequate for mitigating impacts of SLR on saltmarshes. As permanent submergence of intertidal habitats can be significant after 2050 due to the projected worst case sea-level rise scenario, a multi-dimensional approach should be adopted to mitigate the consequences of SLR and strong flow regulations on the ecosystem of the Guadiana Estuary.

REFERENCES

- 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.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. Eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- Prandle, D., 2009. Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology. Cambridge University Press, Camb., UK, 235 pp.
- Paolo F. S., Fricker H. A., Padman, L., 2015. Volume loss from Antarctic ice shelves is accelerating. *Science* 6232: 327–331.
- Sampath, D.M.R., Boski, T., 2016. Morphological response of the saltmarsh habitats of the Guadiana estuary due to flow regulation and sea-level rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Wolanski, E., Chicharo, L., Chicharo, M.A., Morais, P., 2006. An ecohydrology model of the Guadiana estuary (South Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70, 132–143.

GEOMORPHOLOGY OF A MEDITERRANEAN BARRIER LAGOON SYSTEM. SUBSIDENCE, CLIMATE CHANGE AND HUMAN ACTION (CASTELLÓ, EASTERN SPAIN)

P. Carmona¹; J.M. Ruiz¹; A. Pérez Cueva¹

¹ Departamento de Geografía. Universitat de València. Pilar: Carmona@uv.es, jose.m.ruiz-perez@uv.es, Alejandro.Perez@uv.es

ABSTRACT

Geomorphological changes and processes are characterised in a Spanish Mediterranean coastal plain and barrier lagoon system. These changes are related to local processes, such as subsidence and human action and global climatic episodes. Both the geoarchaeological study of the Torre la Sal zone and sedimentological data from drillings carried out in the nearby lagoon, which covered the entire Holocene sequence, provide clues to coastal evolution and neotectonic background. The coastline retreat associated to subsidence has caused a progressive increase in salinity and marine influence in the wetlands since the Middle Holocene. The climatic changes might be related to the depopulation of the zone during certain historical periods, including the Roman Imperial time and the Little Ice Age. On a decadal timescale, the processes in the recessive barrier denote a sedimentary deficit aggravated by anthropic action.

RESUMO

Mudanças geomorfológicas e processos são caracterizados em uma planície litorânea do Mediterrâneo espanhol e sistema de barreira da lagoa. Essas mudanças estão relacionadas a processos locais, tais como subsidiação, ação humana e episódios climáticos globais. Tanto o estudo geoarqueológico da zona de Torre la Sal como os dados sedimentológicos das perfurações realizadas na lagoa próxima, que abrangeu toda a sequência do Holoceno, fornecem indícios da evolução costeira e do fundo neotectônico. O retiro do litoral associado à subsidência causou um aumento progressivo da salinidade e influência marinha nas zonas húmidas desde o Holoceno Médio. As mudanças climáticas podem estar relacionadas ao despovoamento da zona durante certos períodos históricos, inclusive o tempo imperial romano e a Pequena Idade do Gelo. Em uma escala de décadas, os processos na barreira recessiva denotam um déficit sedimentar agravado pela ação antrópica.

INTRODUCTION

The geomorphology of the low-lying Spanish Mediterranean coastline is characterised by a succession of elongated lagoons parallel to the coast alternating with fluvial fans at the river mouths. The area subject of study is located in the narrow coastal plain on the eastern branch of the Iberian Range. From a structural point of view, the coast is situated on a tectonic depression (Maestrat sector), bounded by NE or ENE faults, staggered to the East. Pleistocene and Holocene coastal alluvial fans and barrier-lagoon systems are spread over the foot of these fault systems.

METHODS

The methodology was based on GIS integration of geomorphological, geoarchaeological, sedimentological and LIDAR data. Changes of the barrier over the last 100 years have been studied by comparing georeferenced aerial photographs from 1945 to 2015 and historical maps. To determine wetland and barrier evolution, manual drillings were also conducted. Seven ¹⁴C datings were established by the Beta Analytic and Poznan Laboratories. All this information is related to abundant archaeological and documentary data.

RESULTS

The Cabanes-Torreblanca marsh forms a coastal lagoon with permanently flooded areas and peatlands between the Pleistocene fluvial fans of the Chinchilla and Sant Miquel rivers. A narrow coastal gravel barrier with discontinuous Pleistocene sandstone outcrops isolates the lagoon from direct marine influence (Figure 1). The gravels are coarse and moderately homometric, well rounded and slightly flattened. Towards the mainland, they have a dark coating and usually lack sand matrix. The barrier is retreating or transgressive, as evidenced by the presence of recent peat on the beach (Ruiz & Carmona, 2009; Carmona et al., 2014).

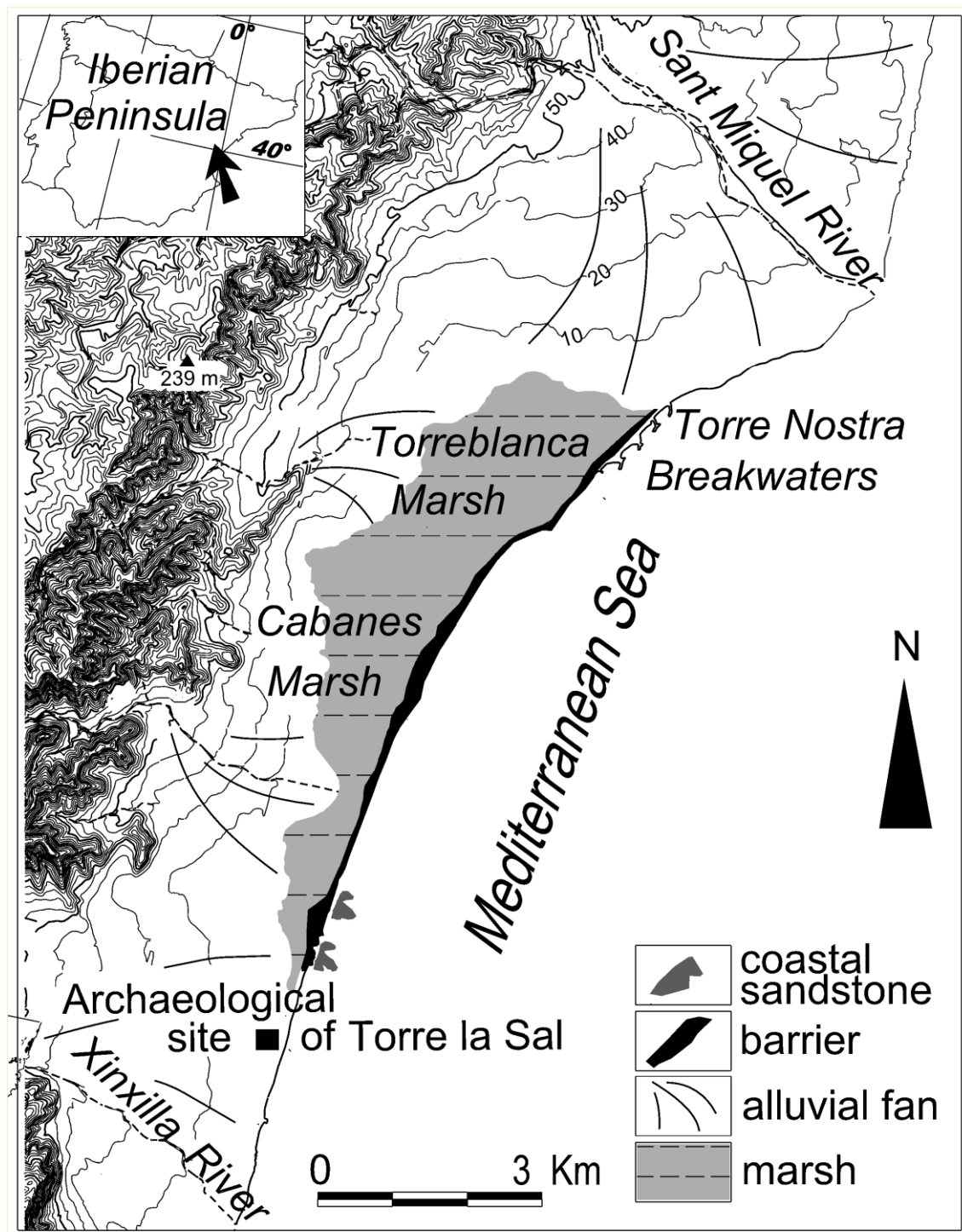


Figure 1. Geomorphological map.

Geoarchaeological Record

Recent excavations carried out close to Torre la Sal, in the Pleistocene coastal alluvial fan of the river Chinchilla, detected 683 negative structures with a variety of buckets, silos, holes, wells, treadmills, ponds, and ditches, among others, of which more than 500 correspond to the Neolithic period (VI-V millennium BC) (Flors, 2009) (Figure 1). Other structures correspond to the Iberian, Roman and Andalusian periods. Islamic wells are deep (> 3 m); they reached the water table after breaking Pleistocene conglomerates and calcareous crusts. Likewise, the remains of a large port city with marine anchorage from the Iberian period (VI-I centuries BC) were excavated (Fernández,

1990; Flors, 2009). It is important to note that groundwater currently emerges both from the bottom of the Neolithic silos and from a Bronze Age hut excavated in the distal part of the fan (2-3 m asl). On the other hand, dozens of silos from the Neolithic period (III millennium BC) were excavated on the coastal sandstones (Guillem et al., 2006), which are currently located in the swash zone of the beach; in addition, there are some Iberian walls and wells (freshwater supply), now submerged below sea level.

Sedimentological Record in the Marsh

A core (4 m depth) sampled 350 metres from the coastline provides information on the evolution of the lagoon adjacent to Torre la Sal. Sedimentological data and radiocarbon dates show that there was a freshwater lagoon during most of the Holocene and historical period (from 7530 to 7320 cal years BC). Towards the top of the record, the lagoon shows a progressive increase in salinity with a peak at 1.25 m depth (level of *Cerastoderma* shells) dating from the Roman epoch. Accretion rates throughout the Holocene ranging between 0.25 and 0.50 metres per millennium led to a gradual infilling of the lagoon, which would have been well advanced between the imperial Roman period (1820 $\pm$ 40 cal years BP at 1.25 m depth) and the Late Middle Ages (740 $\pm$ 40 years BP at 0.8 m depth).

Historical and Current Processes in the Barrier and the Shoreline

The topographic maps of municipal territories (1:25,000) drawn up in 1910, along with aerial photography from 1945, show not only a completely smooth profile of the shoreline but also the development of a long sandy spit at the mouth of the river Sant Miquel. This morphology, with slight retreats, remained stable until 1957. However, in some sectors of the inner part of the barrier adjacent to the wetland, it had already been modelled by washover fans.

The comparison of aerial photographs from 1945 to 2003 (year in which the beach restoration works started) evidences a progressive retreat of the shoreline in several sectors of the barrier, particularly in certain areas, such as Torre la Sal, where a retreat of around 47 m occurred over the aforementioned years. In the northern sector, to the south of Gola del Trenc, the barrier retreat was much greater due to the construction of breakwaters (Torrenostro) between 1967 and 2003 (Figure 1). In this sector, the barrier moved 54 m towards the interior of the wetland between 1945 and 2003, advancing by up to 80 m in 2014. In addition, the shoreline has been experiencing landward rollover which is rapidly spreading in a longitudinal direction (276 m between 2003 and 2014). It should be noted that in all sectors in retreat, these processes are associated with a major loss of the barrier width, strong indentation of the shoreline, and progression of washover fans in the adjacent wetlands.

Finally, it is worth pointing out that not all the barrier is recessive. There is a stable stretch of considerable width and an extension in the central part of the barrier formed by large sandy splays and extensive gravel ridges corresponding to deposits from strong coastal storms. The ^{14}C dating of sediments which lie under the surface of the inland extension of the sand-splay provides a chronology between the end of the 19th century and the beginning of the 20th century (47 $\pm$ 29 cal years BP).

DISCUSSION

Coastal Retreat and Increasing Salinity during the Holocene

Both the geoarchaeological research of the Torre la Sal area and sedimentological data of the nearby lagoon, which covered the entire Holocene sequence, provide clues to the coastal evolution and the neotectonic background. The progressive increase in salinity and marine influence associated with this characterises the evolutionary model of the lagoon. This model is quite different from those established in low gradient coasts for other Mediterranean lagoons, such as Almenara (Mediato, 2015; Rodríguez, 2017) or Valencia (Carmona et al., 2016), characterised by processes of barrier progradation and continentalisation. On the other hand, the neotectonic background would explain the high subsidence rates measured in this lagoon. With regard to geoarchaeological evidence, it would seem clear that the Neolithic structures and the Bronze Age hut were out of reach of the water table fluctuations at the time when they were in use. On the other hand, the silos excavated on the coastal sandstone and the Iberian walls and wells submerged below the sea water indicate that the coastline was further away from its present position. Thus, subsidence has situated them within the

reach of groundwater and caused the retreat of the coastline towards the mainland, submerging the archaeological structures under sea water and promoting early saline intrusion. Subsidence related to Pleistocene extensional tectonics has been confirmed in the reliefs to the north of the studied area (Simon et al., 2013).

Changes since the End of the Little Ice Age

The relative rise in sea level caused the landward migration of the shoreline, and possibly (depending on the rates of sedimentation) the complete erosion of the associated barriers. This fact explains why levels of Upper Holocene barriers, which are frequent in other prograding coastal barriers (Ruiz & Carmona, in this volume), have not been detected. Nevertheless, a century scale approach enables a greater resolution in the analysis of changes. According to the cartography of 1910 and aerial photography of 1945-1957, the coast had a smooth profile at that period of time, conserving in the central sector an extensive thickening conformed of sandy splays and gravel ridges dating ca. 47 ± 29 cal years BP. In this regard, it should be highlighted that the maximum frequency of river floods in the basins of the Gulf of Valencia occurred during the climatic transition at the end of the Little Ice Age, between 1850 and 1907 (Ruiz et al., 2014). This fact can be related to strong marine storms and to greater sedimentary contributions from the mouth of the river Sant Miquel (sand spit in 1910).

Since the mid-20th century, the coast has been progressively eroded; during this period, sand and gravel extractions have been carried out on the beach. Erosion has been accelerated by anthropic action with the construction of breakwaters since the 1970s.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by grant CSO 2016-78204-P, Ministerio de Economía y Competitividad de España. Fomento de investigación científica y Técnica de Excelencia.

REFERENCES

- Carmona, P., Ruiz, J.M., Ibáñez, M., 2014. Erosión costera y cambio ambiental en el humedal de cabanes-torreblanca (Castelló). datos para una gestión sostenible. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 66: 161-180.
- Carmona, P., Ruiz, J.M., Blázquez, A., López-Belzunce, M., Riera, S., Orenge, H., 2016. Environmental evolution and mid-late Holocene climate events in the Valencia lagoon (Mediterranean coast of Spain). *The Holocene* 26 (11): 1750-1765.
- Fernández, A., 1990. «El yacimiento submarino de Torre de la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón). Nuevas aportaciones». *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonenses* 13: 229-248.
- Flors, E. (Coord.), 2009. Torre la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón). Evolución del paisaje antrópico desde la Prehistoria hasta el Medioevo. *Monografies de Prehistoria y Arqueologia Castellonenses* 8, 606 p.
- Guillem, P.M., Fernandez-Lopez de Pablo, J., Martinez, R., Pérez-Milián, R., Perez Jorda, G., 2006. Primeros datos sobre el poblado neolítico del Prat de Cabanes (Cabanes, Castellón). Promontoria Monografica. Do Epipaleolítico ao Calcolítico na Península Ibérica. *Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular* (Faro, 2004), pp.197-206.
- Mediato, J.F., 2015. Oscilaciones del nivel del mar desde el Pleistoceno superior en el sector costero Sagunto-Benicasim (Valencia-Castellón, España). Registro sedimentario, geoquímico e histórico. Ph. Thesis, Univ. Complutense de Madrid. 536 pp.
- Rodríguez, A., 2017. Evolución holocena del marjal de Almenara: cambios eustáticos y climáticos. Ph. Thesis, Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir", 283 pp + anejos.
- Ruiz, J.M., Carmona, P., 2009. Geomorfología y cambios ambientales desde el Holoceno medio en el litoral de Torre la Sal (Castellón). Litoral mediterráneo de la Península Ibérica. *Monografies de Prehistoria i Arqueologia Castellonense* 8: 21-38.
- Ruiz, J.M., Carmona, P., Pérez-Cueva, A., 2014. Flood frequency and seasonality of the Júcar and Turia Mediterranean Rivers during the 'Little Ice Age'. *Mediterranée* 122: 121-130.
- Ruiz, J.M., Carmona, P.(this volume). Coastal evolution at the northern margin of Valencia lagoon related to channel changes of the Turia River delta since the Ibero-Roman epoch.
- Simon, J.L., Perez Cueva, A., Calvo, A., 2013. Tectonic beheading of fluvial valleys in the Maestrat grabens (eastern Spain): Insights into slip rates of Pleistocene extensional faults. *Tectonophysics* 593: 73-84.

HOLOCENE EVOLUTION OF THE RIA FORMOSA BARRIER ISLAND SYSTEM: A STUDY BASED ON 3D ARCHITECTURE AND DEPOSITIONAL RECORD.

C. Sousa¹; T. Boski¹; L. Pereira¹

¹ Centro de Investigação Marinha e Ambiental – Universidade do Algarve. cssousa@ualg.pt

ABSTRACT

The Holocene depositional record of the Ria Formosa barrier island system was studied through the analysis of a large subsurface dataset. Obtained results outline a pre-Holocene topography subdivided into two depositional environments: the Ludo paleovalley to the east and the central Ria Formosa. This fragmentation dictated the available accommodation space, affecting the hydrodynamic conditions under which the system evolved. The development of major geomorphic features was also shaped by Holocene sea-level rise, first at a rapid rate of 7 mm/yr, followed by a 1 mm/yr slow-down after 7000 cal. yr BP.

RESUMO

O registo deposicional do Sistema de ilhas barreira da Ria Formosa foi estudado através da análise de um grande conjunto de dados de subsuperfície. Os resultados obtidos perfilam uma topografia pré-Holocénica subdividida em dois ambientes deposicionais distintos: o paleovale do Ludo a Este, e a zona central da Ria Formosa. Esta fragmentação condicionou o espaço de acomodação disponível, afectando as condições hidrodinâmicas sob as quais o sistema evoluiu. O desenvolvimento das principais unidades geomorfológicas foi de igual modo moldado pela subida do nível do mar durante o Holocénico, primeiro a uma elevada taxa de 7 mm/ano, seguida por uma fase de abrandamento de 1mm/ano após o limite dos 7000 anos cal. BP.

INTRODUCTION

The few available studies focused on the origin and Holocene evolution of the Ria Formosa barrier island system provide conceptual models based on a combination of shore morphodynamics (namely longshore transport), Holocene rapid sea-level rise, and extreme hydrodynamic events (e.g. Pilkey et al., 1989; Bettencourt, 1994; Andrade et al., 2004). Both the unusual present-day triangular shape of the barrier chain, as well as its Holocene origin and evolution chronology, are still poorly explained by all the previous models. This work presents a follow-up of the analysis of a large subsurface dataset (Sousa et al., 2014), aiming to provide a time-constrained conceptual model (after Hayes & Fitzgerald, 2013) for the Holocene origin and evolution of the Ria Formosa barrier island system.

METHODS

The underlying 3D architecture of the Ria Formosa barrier island system was studied by combining various subsurface data acquisition campaigns, collating them in ArcGIS[®] 10, and interpolating a 3D digital terrain model of the pre-Holocene surface. Coring samples were collected for granulometric and fossil foraminiferal assemblage analysis according to changes in lithology, on average every 0.8m, allowing the characterization of different depositional environments. The chronology was achieved by calibrated ¹⁴C dating of 16 samples, complemented by the results obtained from Andrade et al. (2004).

RESULTS

The analyzed sedimentary sequence reinforces the interpretation of a system evolving in two depositional environments until the near mid-Holocene sea-level rise (SLR) slowdown (Sousa et al., 2014). In the central basin, Tidal Flat deposition environments were predominant, composed of silty-clay sequences with a foraminifera assemblage indicating subtidal conditions. In the east, the Ludo paleovalley depositional record is more complex, with a sequence of depositional environments from bottom to top of Fluvial, Tidal Channel/ Flood Delta, Tidal Flat and Tidal Channel. The present-day barrier island position was attained during the mid-Holocene (ca. 6000 cal. yr BP), when sea level almost reached its maximum transgression, allowing widespread deposition of fine material in the sheltered flooded coastal lagoon.

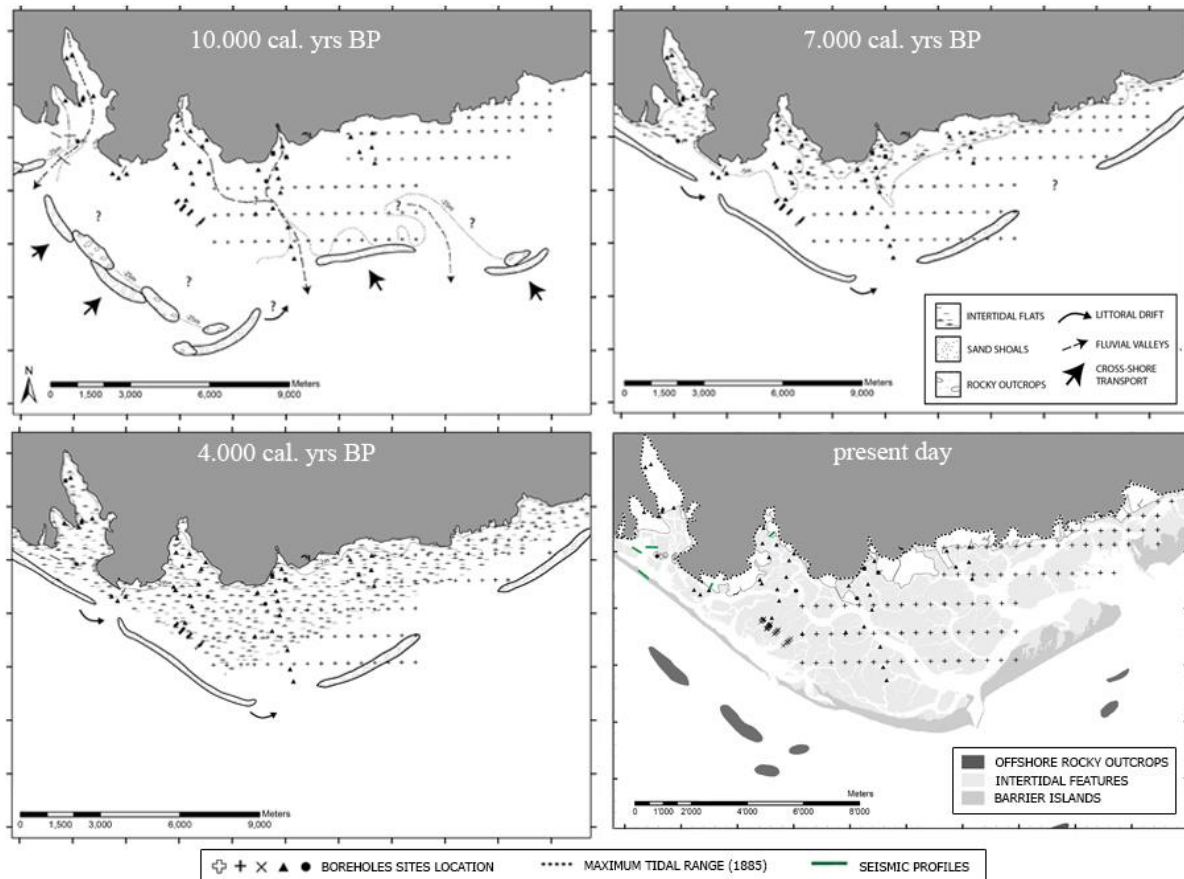


Figure 1. Holocene evolution of the Ria Formosa barrier island system conceptual model.

DISCUSSION

Three major steps are identified in the origin and Holocene evolution of the Ria Formosa system: a) with fast SLR (early Holocene), sediment deposits migrated across the mid-continental shelf, generating large sandy shoals in the paleovalleys embayments; b) as SLR slowed down in the mid-late Holocene, longshore sediment transport and tidal currents become the dominant factors in the system's development. Sandy spit elongation at estuary entrances allowed tidal inlet stabilization; c) maturation of the system was followed by sand-dune formation, creating a low energy environment in the coastal lagoon and allowing the salt marsh deposits to accumulate.

CONCLUSION

The triangular shape of the Ria Formosa barrier island system is related to its inherited paleotopography. The two separate sub-environments evolved under different hydrodynamic conditions in the early Holocene. The system only attained its present-day architecture around the maximum SLR transgression at 7000 cal. yr BP, defined as such as the origin of the system.

REFERENCES

- Andrade, C., Freitas, M. C., Moreno, J. and Craveiro, S. C., 2004. Stratigraphical evidence of Late Holocene barrier breaching and extreme storms in lagoonal sediments of Ria Formosa, Algarve, Portugal. *Marine Geology* 210:1-4: 339-362
- Bettencourt, P., 1994. Les Environnements Sédimentaires de la Côte Sotavento (algarve, Sud Portugal) et leur Évolution Holocène et Actuelle. PhD, Université de Bordeaux.
- Hayes, M.O., Fitzgerald, D.M., 2013. Origin, Evolution, and Classification of Tidal Inlets. *Journal of Coastal Research* SI 68: 14-33
- Pilkey, O.H., Neal, W.J., Monteiro, J.H., Dias, J.M.A., 1989. Algarve barrier Islands; A Noncoastal-Plain system in Portugal. *Journal of Coastal Research* 5: 239-261.
- Sousa, C., Boski, T., Gomes, A., Pereira, L., Lampreia, J., Oliveira, S., 2014. Holocene reconstruction of the lagoon system of Ria Formosa, based on a pre-Holocene paleosurface digital terrain model. *Comunicações Geológicas* 101, SI.: 635-639.

COASTAL EVOLUTION AT THE NORTHERN MARGIN OF VALENCIA LAGOON RELATED TO CHANNEL CHANGES OF THE TURIA RIVER DELTA SINCE THE IBERO-ROMAN EPOCH

J.M. Ruiz¹; P. Carmona¹

¹ Departamento de Geografía. Universitat de Valencia. jose.m.ruiz-perez@uv.es, pilar.carmona@uv.es

ABSTRACT

A sedimentological and geomorphological survey was carried out with 9 manual drillings and radiocarbon dating of 35 samples. The deltaic coast was shaped by Turia River migrations to the south (La Punta) during the Roman epoch and to the north (El Grau) during the medieval period. The evolution of marsh and lagoon environments was affected by the changing position of the river mouth. In the northern sector of the Valencia lagoon, successive sandy spit barriers prograding to the sea were dated. The closing of the barrier-lagoon at this sector was completed during the High Medieval Period as a consequence of the Turia River migration to the south (around 1650 cal yr BP) and the formation of *La Punta* alluvial ridge. A sandy spit was dated as before 1373 ± 173 cal yr BP at -0.65 m bsl, and the last barrier (closest to the sea) was formed during Medieval times. Fluvial dynamics increased sediment yield and brought a barrier progradation of ca. 400 m until mid 20th century.

RESUMO

Realizou-se um levantamento geomorfológico e sedimentológico suportado por 9 perfurações manuais e 35 datações com radiocarbono. A costa deltaica foi moldada pelas migrações do rio Turia para o sul (La Punta) durante a época romana e para o norte (El Grau) durante o período medieval. A evolução dos ambientes de pântano e lagoa foi afetada pela mudança de posição da foz do rio. No setor norte da lagoa de Valência, as sucessivas barreiras progradantes (*sand spit*) foram datadas. O fecho do sistema de ilha barreira - laguna neste setor foi concluído durante o Alto Período Medieval como consequência da migração do rio Turia para o sul (cerca de 1650 cal yr BP) e a formação da crista aluvial La Punta. Uma grande restinga arenosa foi datada de antes de 1373 ± 173 cal de BP a -0,65 m bsl, e a última barreira (mais próxima do mar) foi formada durante a época medieval. A dinâmica fluvial aumentou o acarreo de sedimentos e provocou uma progradação de barreira de ca. 400 m até meados do século 20.

INTRODUCTION

The evolutionary model of the Turia delta plain and lagoon-barrier system of the northern sector of the Valencia lagoon, based on previous works (Ruiz & Carmona, 1999; Carmona & Ruiz, 1999, 2011; Carmona et al., 2016), is completed with data from new manual drilling and radiocarbon dating in this study. The aim is to relate the river migrations and fluvial dynamics to phases of barrier formation and the closing of the lagoon since Ibero-Roman times.

METHODS

An extensive geomorphological survey and sedimentological study was carried out with 9 manual drillings (S1 to S9) up to 5 m depth in the Turia River delta, adjacent marshes, and the Valencia lagoon. Sedimentary columns were described in field studies and C-14 dating of 35 samples was established at the Poznań Radiocarbon Laboratory (Poland). These data are related to abundant geoarchaeological records and historical documents and maps (Carmona & Ruiz, 2011; 2014).

RESULTS

Turia River Migrations

The sedimentary record of the coastal plain reports on migrations of the Turia River before its pattern was stabilised to the south of the actual harbour. Former palaeochannels exist in the north (HON) and southeast (La Punta) of the river's present position (Figure 1). To the southeast of the city of Valencia, there were freshwater marsh environments dating from the Neolithic to Medieval periods. Marshland peats were dated 7570 ± 140 cal yr BP at -5/-6 m depth, below modern Turia channel gravels (RBR). On the other hand, to the north of its present position, fluvial sand structures, understood to be a palaeochannel near the river mouth, were described by Carmona et al. (1994) in

Honduras section (HON). This palaeochannel (gravel bar at 0-1 m asl) was dated ca. 3rd–5th century cal BC.

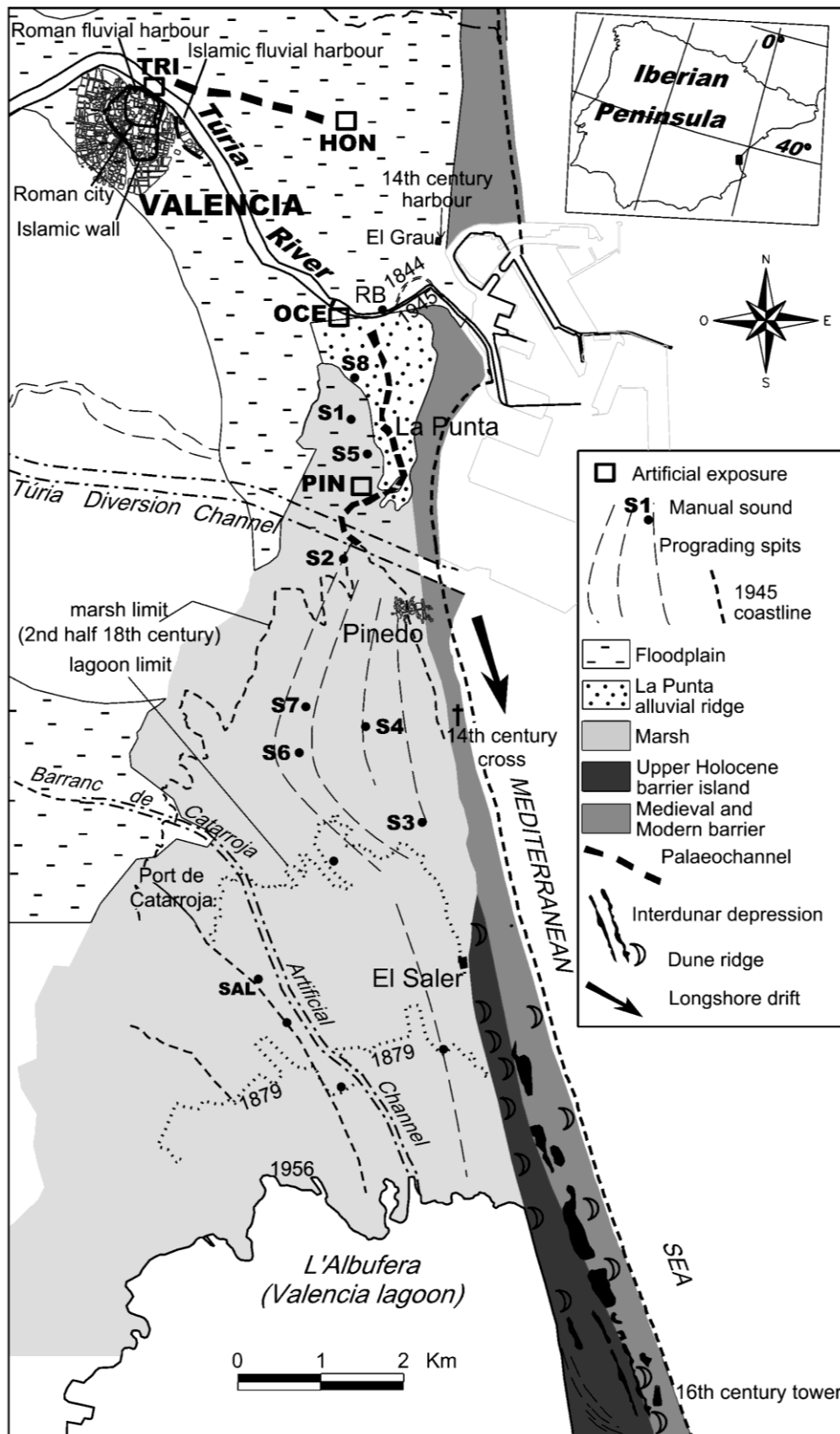


Figure 1. Geomorphological map and situation of drillings.

On the right margin of the river, a sequence of organic silts and peats from the Ibero-Roman period is covered by a thick layer of fluvial sands (crevasse splay or avulsion) (S8). This abrupt contact, dated ca. 1650 cal yr BP, can be interpreted as a result of the migration to the south of the river previously described (HON). This new southern palaeochannel was active at least between the 4th century and the High Medieval Period, and marsh environments were covered with the alluvial ridge at “La Punta” forming a prograding deltaic coast (beach to fluvial). It is important to note that a fluvial metamorphosis occurred during Medieval times, as manifested in the flood layers from Islamic times (9–11th century AD), which can be seen in archaeological excavations of the city of Valencia (Carmona & Ruiz, 2011) and the 14th century gravel-bar sedimentary structures with ceramics displayed at artificial exposures, including the archaeological excavation at Trinidad bridge (TRI) and the Oceanographic Museum (OCE) construction.

Finally, contemporary documents describe the migration of the Turia River towards *El Grau* marsh, probably indicating an avulsion to the north during Medieval times (Ruiz & Carmona, 1999). A marine harbour (El Grau) was established near this position during the 14th century.

Prograding Spits at the Northern Margin of Valencia Lagoon

The Valencia lagoon extended to the North as far as Pinedo (Figure 1) forming an embayment between this sector and the barrier island El Saler-El Palmar during the Late Holocene. A transgressive beach (grey sands with *Glycimeris*) at the Pinedo section (PIN) was dated 7500–7300 cal yr BP (Figure 1). The alluvial sands and silts at “La Punta” formed a deltaic coast to the east of this point. The Turia River mouth fed sand spit barriers to the south. These spits have been identified as layers of sand with fine flattened gravels and *Posidonia* that progressively closed the lagoon northern sector (Pinedo-El Saler) during the Late Holocene. The more recent prograding spit bars are higher, possibly indicating the subsidence of the area. There are different levels of brackish lagoon at the top of these sandy layers dating back to 2881 ± 158 cal yr BP at S2 (-190 cm bsl), 2401 ± 69 cal yr BP at S7 (-165 cm bsl), 2230 ± 281 cal yr BP at S4 (-144 cm bsl), and 1373 ± 137 cal yr BP at S3 (-55 cm bsl). The more recent unit, which finally closed the lagoon, has been formed since the Middle Ages, as indicated by a medieval cross (14th century) and a 16th-century tower situated on a dune ridge parallel to the shore. From that time, progradation continued until mid 20th century.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Evolution of the Lagoon

The modern beach complex of the Valencia lagoon extended from the maximum transgression during the Late Holocene with four beach barriers, two of them formed after 3220 BP (Santesteban et al., 2009). The barrier-island of Valencia lagoon (El Saler-El Palmar) opened to the north (between Pinedo and El Saler) during the Late Holocene. The definitive closing of the barrier at this sector was completed during the High Medieval Period as a consequence of the Turia River’s migration to the south (around 1650 cal yr BP) and the formation of La Punta alluvial ridge. Prograding gravelly sand layers have been found at different depths in drillings S2, S3, S4, and S7 below brackish lagoon sediments. The southern river mouth fed the gravelly sand spit identified in drilling S3 (Figure 1), at 1.05 m depth (-0.65 m bsl) and dated before 1373 ± 173 cal yr BP. These changes can be related to the evolutionary model of the Holocene concerning the environment of the Valencia lagoon in the inner part (manual drilling SAL) with a transition from brackish to freshwater around 1000 cal yr BP (Carmona et al., 2016). Throughout Medieval and Modern times, shore-parallel dune ridges were formed, and progradation of the barrier reached a distance of 200–400 m south of the river.

Infilling of Lagoons and Marshes

Between the Roman Republican and the Late Antiquity, vertical accretion on the marshes south of the Turia River (S1 and S5) increased, a fact probably linked to the avulsion of the river to the south. Maximum rates of accretion have occurred since the Medieval epoch. Nearest to the river (S8), rapid accretion of peat and organic silts with freshwater malacological fauna (*Theodoxus fluviatilis* and *Melanopsis*) occurred between 2216 ± 100 cal yr BP and 1651 ± 136 cal yr BP. In the

brackish lagoon environment, high accretion rates during the Late Bronze-Iron Ages are also observed.

River Metamorphosis and Loss of the Turia Navigable Channel

The major fluvial changes, which took place in the floodplain and Turia River delta, are the channel migration (at least 3 km) to the south between the Iberian and Late Roman times, the development of a prograding alluvial ridge (La Punta) during late Antiquity and the High Medieval Period, and a new avulsion to the North (El Grau) during the Medieval Period. Also, it must be taken into consideration that the Turia River was navigable until the 14th century, and there were fluvial ports in the city of Valencia during Roman (1st–3rd century AD) and Islamic periods (8–9th century AD) (Burriel et al., 2004). Before the fluvial metamorphosis of medieval and modern times, a gentle slope of the river enabled the navigation of shallow draft boats from the sea to the city.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by grant CSO 2016-78204-P. Ministerio de Economía y Competitividad de España. Fomento de Investigación Científica y Técnica de Excelencia.

REFERENCES

- Burriel, J., Ribera, A., Serrano, M., 2004. A fluvial harbour of the Roman period at Valentia (Hispania Tarraconensis). *BAR International Series* 1283: 129-137.
- Carmona, P., Dupré, M., Belluomini, G., 1994. Coastal changes in the Gulf of Valencia (Spain) during the subatlantic period. *Quaternaire* 5: 49-57.
- Carmona, P., Ruiz, J.M., 1999. Evolución en el Holoceno reciente del delta del río Turia y la restinga de la Albufera de Valencia. En: Rosselló, V.M. ed. *Geoarqueología i Quaternari litoral*. Memorial Maria Pilar Fumanal. Universitat de València. Departament de Geografia, pp. 321-330.
- Carmona, P., Ruiz, J.M., 2011. Historical morphogenesis of the Turia River coastal flood plain in the Mediterranean littoral of Spain. *Catena* 86: 139-149.
- Carmona, P., Ruiz, J.M., Blázquez, A., López-Belzunce, M., Riera, S., Orengo, H., 2016. Environmental evolution and mid-late Holocene climate events in the Valencia lagoon (Mediterranean coast of Spain). *The Holocene* 26 (11): 1750-1765.
- Ruiz, J.M., Carmona, P., 1999. La desembocadura del Guadalaviar en época medieval: Progradación deltaica y avulsión. En: Rosselló, V.M., ed. *Geoarqueología i Quaternari litoral*. Memorial Maria Pilar Fumanal. Universitat de València. Departament de Geografia, 245-256.
- Santisteban, C., Marco Barba, J., Miracle, M.R., 2009. La evolución Holocena de la Albufera de Valencia. *Geogaceta* 46: 99-102.

MODELLING SEDIMENT INFILLING OF THE LUDO SUB-BASIN OF THE RIA FORMOSA LAGOON SYSTEM IN RESPONSE TO EUSTATIC SEA-LEVEL RISE DURING THE HOLOCENE

D.M.R. Sampath¹; T. Boski¹; C. Sousa¹

¹CIMA- Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.
rmudiyanseilage@ualg.pt

ABSTRACT

Long-term coastal evolution of the Ludo sub-basin of the Ria Formosa Lagoon was simulated using a hybrid modelling approach. The spatial and temporal response of the basin to eustatic sea-level rise (SLR) varies significantly. The inner basin accretes due to sea-level rise (SLR) while the initial response of intertidal zone to SLR is the erosion of the frontal land masses. The net erosion rate decreases with further increase of sea-level. As the intertidal zone was submerged below 2 m relative to the corresponding mean sea level sediment infilling initiated, resulting net accretion rate. Sea-bed erosion was continuous because sediment transfers into the lagoon basin, in parallel to the increase of accommodation space. The presented approach will be useful for understanding of system behaviour, under forcing of SLR in decadal to millennial time scales.

RESUMO

A evolução a longo prazo da sub-bacia do Ludo do sistema lagunar da Ria Formosa foi simulado com recurso a abordagem de modelação híbrida. A resposta espacial e temporal da bacia analisada à subida eustática do nível médio do mar (NMM) varia de forma significativa. Enquanto a bacia interna apresenta acreção em resposta à subida do NMM, a resposta inicial da zona intertidal à subida do NMM é erosão das unidades frontais emersas. Com a submersão da zona intertidal abaixo dos 2 m relativamente ao NMM correspondente, inicia-se o preenchimento sedimentar com uma taxa de acreção positivo. A taxa de erosão diminui com o aumento da posição do NMM relativamente ao fundo. Verifica-se, contudo, que o fundo marinho é erodido em resposta ao transporte contínuo de sedimento na direção da bacia lagunar de forma a compensar o aumento de espaço de acomodação resultante da subida do NMM. A abordagem utilizada revela-se útil para a compreensão do comportamento do sistema natural, uma vez que o modelo permite prever a evolução do sistema lagunar em resposta à subida do NMM durante o Holocénico.

INTRODUCTION

Ria Formosa is a complex geomorphological feature as its water mass is enclosed by barrier islands and sand spits with multiple tidal inlets. The ability to simulate the behaviour of long-term coastal evolution due to SLR during the Holocene aims a better understanding of the sensitivity of systems to natural and human forcing. Long-term modelling is a demanding task given the limited capacity of available models to predict millennial scale coastal morphological forced SLR. We expect to fill this gap by developing long-term back-barrier evolution model in line with the Hybrid Estuarine Sedimentation Model (HESM) of Sampath et al. (2015).

METHODS

The sediment infilling mechanism of the Ludo sub-basin was simulated using the modified approach of Sampath et al. (2015). Simulations were carried out in two steps: 1) short-term simulations (decadal scale) and long-term simulations (centennial and millennium scale). The sediment diameter (D_{50}) was related to the habitat type and D_{50} was updated every 100 years using average sediment size identified in each habitat (sea, deep channel, shallow channels, mud flats, salt marshes) of the study area. Long-term evolution of sediment surface elevation will be controlled only by the dominant long-term processes like SLR (curve of Sousa et al., 2015) and assuming that the disturbances to the sediment budget of the Ria Formosa lagoon due to storms recover with time without residual effect, short-term sedimentation was estimated by solving Exner equation. Simplified and semi-empirical methods were used to estimate the required parameters including current velocity. The palaeovalley of the Ludo sub-basin was reconstructed using the data obtained from manual drilling; mechanical drilling, seismic refraction surveys and from previous borehole campaigns (Sousa et al., 2015). The depth-age model representing the depositional processes was based on ^{14}C AMS dating of 16 selected samples. As there is a lack of data to determine the near bed

suspended sediment concentration of the lagoon during the Holocene, simulations were carried out by introducing a calibration coefficient (CC) for theoretical reference suspended sediment concentration near to the bed of the palaeovalley.

RESULTS

The model was able to simulate the palaeovalley infilling of the Ludo basin from 10125 ± 182 to 7815 ± 102 cal. yr. BP. (Figure 1). According to results, only the frontal side of the present-day lagoon was inundated until 7815 cal. yr. BP due to eustatic SLR. The eastern margin submerged rapidly compared to the western margin. An intertidal zone and channels start to develop, which may be suitable for saltmarsh habitats (Figure 1c). The initial response of the intertidal zone to an SLR is the erosion of the land area. When the intertidal zone was further submerged below 2 m relative to the corresponding mean sea level, sediment infilling started resulting in net accretion rate. The intertidal zone of a typical region of the Ludo sub-basin started eroding after 40 years, and net erosion reached a maximum when sea-level rises over another 30 years (Figure 1d). The net erosion rate decreased with further increase of sea-level. However, seabed eroded continuously as sediment was transported into the lagoon to compensate for the increase of accommodation space with SLR. The average net accretion rate in the lagoon basin is about 0.011 m/yr for the calibration coefficient 0.2. The average seabed erosion rate is about 0.002 m/yr. A smaller value can be expected as the area of sediment supply into the basin was larger than the area of deposition region. Theoretically, this region will be extended up to continental shelf.

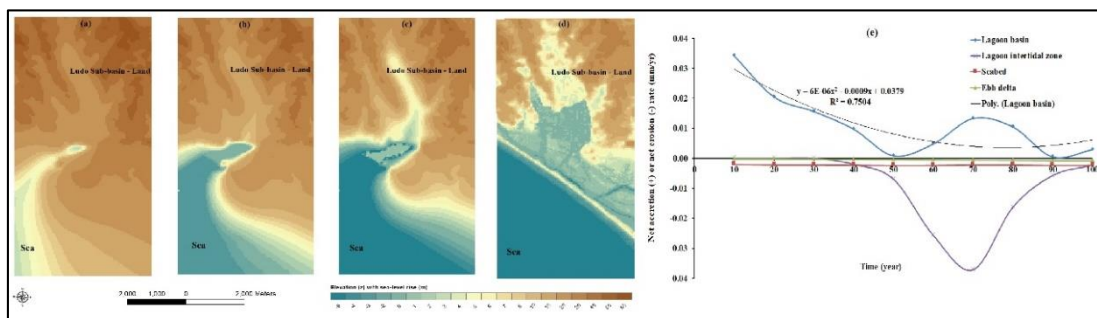


Figure 1. Evolution of the Ludo palaeovalley of the Ria Formosa Lagoon due to sea-level rise. a) 10125 cal yr BP, b) 8815 cal yr BP, c) 7815 cal. yr. BP, d) present-day and e) net accretion or erosion rate of the basin and seabed.

DISCUSSION

According to Sousa et al. (2015), the sedimentation rate in the inner basin is around 0.007 m/yr from the 12500 to 7250 cal yr BP. If $CC=0.2$, the predicted net sedimentation rate in the basin is higher than the observed rate. The observed rate may be able to replicate if a suitable CC is selected in between 0.1 and 0.2 (simulations will be continued for those cases). The model assumes that disturbances to the sediment budget of the Ria Formosa lagoon due to storm surges recover with time without residual effect. But several studies have identified a long-term effect of storms in the system (Matias et al., 2008). Such a simplification has not hindered the ability of the model to predict system behaviour in response to SLR.

CONCLUSION

Hybrid Estuarine Sedimentation Model can be used to simulate the behaviour of long-term coastal evolution of Ria Formosa given that suitable calibration coefficients are selected. The ability of this approach is useful for coastal zone management and understanding system behaviour because few models can be applied to the evolution of back-barrier systems due to the Holocene SLR.

REFERENCES

- Matias, A., Ferreira, O., Vila-Concejo, A., Garcia, T., Dias, JA., 2008. Classification of washover dynamics in barrier islands. *Geomorphology* 97, 655–674.
- Sampath, D.M.R., Boski, T., Loureiro, C., Sousa, C., 2015. Modelling of estuarine response to sea-level rise during the Holocene: application to the Guadiana Estuary-SW Iberia. *Geomorphology* 232, 47–64.
- Sousa, C., T. Boski, L. Pereira, A. Gomes, 2015. Holocene reconstruction of the depositional record and sea level rise in the Ria Formosa barrier system, Portugal. *Resúmenes sobre el VIII Simposio MIA15, Málaga del 21 al 23 de septiembre de 2015*, pp. 321–324.

ORIGIN AND COMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN INTERTIDAL DEPTH-PROFILES SEDIMENTS FROM RIA FORMOSA SALT MARSHES ECOSYSTEM (SOUTH, PORTUGAL) BY ANALYTICAL PYROLYSIS (PY-GC/MS)

M. Kumar^{1,2}; T. Boski¹; F.J. González-Vila³; J.A. González-Pérez³

¹ CIMA, Universidade do Algarve, 8005-139 Faro, Portugal. a40176@ualg.pt

² Universidad de Cádiz, Campus de Puerto Real, 11519 Puerto Real, Cadiz, Spain

³ IRNAS-CSIC. Avda. Reina Mercedes 10, 41012, Sevilla, Spain

ABSTRACT

Analytical pyrolysis-gas chromatography / mass spectrometry (Py-GC/MS) was used to achieve fast fingerprinting of intertidal sediments from Ria Formosa salt marshes ecosystem (Algarve, Portugal). Origin and deposition of organic matter (OM) to the intertidal marsh sediments were evaluated by analysing molecular composition of OM in one-meter deep core sediments. Py-GC/MS biomarkers distribution including n-alkanes, n-alkanoic acids, n-alkan-2-ones, hopanes, sterols and linear alkyl benzene were useful for discrimination of OM origin. N-alkanes results showed a greater contribution of microbial, phytoplankton's and aquatic macrophytes derived OM than vascular plant-derived terrestrial OM throughout the core sediments. Presence of methylated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), hopanes, unresolved complex mixture (UCM) in gas chromatograms showed an evidence of anthropogenic contamination in sediments from petroleum / oil spills.

RESUMO

De forma conseguir uma rápida identificação da origem da matéria orgânica nos sedimentos da zona intertidal Ria Formosa (Algarve, Portugal) recorreu-se à pirólise analítica-cromatografia gasosa / espectrometria de massa (Py-GC/MS). A origem e deposição de matéria orgânica (MO) nos sedimentos da zona intermareal do sapal foi avaliada através da análise da composição molecular da MO em sedimentos amostrados em sondagens de um metro de profundidade. A distribuição molecular dos biomarcadores Py-GC/MS, incluindo n-alcenos, ácidos n-alcanóicos, n-alcan-2-onas, hopanos, esteróis e alquil benzeno linear foi útil para a discriminação da origem da MO. Os resultados de N-alcenos mostraram uma maior contribuição da MO derivada de micróbios, fitoplâncton e macrófitas aquáticas do que da MO derivada de plantas vasculares terrestres. A presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos metilados (PAHs), hopanes, mistura complexa não resolvida (UCM) em cromatogramas de gás mostrou evidência de contaminação antropogénica dos sedimentos por derrames de petróleo / óleo.

INTRODUCTION

Salt marshes are an important feature of temperate coastal ecosystems and their capacity to act as carbon sinks are mainly dependent on the amount of OM accumulated within the sediments. Revealing of the sources and distributions of sedimentary organic matter composition on molecular-level in the intertidal sediments of Ria Formosa salt marshes coastal lagoon provide an important understanding of carbon cycling on continental margin of South West Iberian Peninsula. Ria Formosa is a meso tidal coastal lagoon and tides are semi-diurnal with amplitudes that range varies from 1 to 3.5 m. Floristically, the Ria Formosa coastal lagoon is dominated by salt marsh and sea grass vegetations, can be classified as a macrophyte dominated coastal lagoon ecosystem. Salt marshes are separated into bands paralleling to the shoreline and mainly composed of two dominant species. The dominant salt marsh species small cordgrass (*Spartina maritima*), which is a pioneer species in the lower marsh areas usually flooded at every tide and exposed during low tide whereas, the *Sarcocornia fruticosa* is the dominant species in the mid-high marsh region of the lagoon.

METHODS

Py-GC/MS was performed using a double-shot Frontier Laboratories, model 2020i, Fukushima, Japan, pyrolyser directly connected to an Agilent 6890 GC/MS system (Agilent, Santa Clara, CA). The detector consisted of an Agilent 5973 MSD (mass selective detector), and mass spectra were acquired with a 70 eV ionising energy. The identification of individual compounds was achieved by single ion monitoring for different homologous series, and comparison was done with

published data. Additionally, an individual compound assignment was done by NIST and Wiley libraries data.

RESULTS

The result of the Py-GC/MS analysis obtained in the present study is depicted in Figure 1 A to E. N-alkanes distribution ranges from C₁₀ to C₃₄, with bimodal distribution exhibiting dominant peaks at C₁₃ and C₂₅ homologues. The average chain length (ACL) values ranges from 13.08 to 21.13 and n-alkane CPI₍₂₄₋₃₁₎ value ranges from 0.41 to 1.26. The ratio of terrigenous-to-aquatic n-alkanes (TAR) ranged from 0.15 to 1.06. While, aquatic macrophytes proxy (Paq) ratio ranges from 0.31 to 1.00. The n-alkanes C₃₁/C₁₇ ratio ranges from 0.00 to 1.27, and C₃₁/C₁₉ n-alkanes ratio ranges from 0.00 to 1.40. Series of hopanes (C₂₉-C₃₆), steranes, PAHs, linear alkyl benzenes (C₄-C₂₂) and UCM were found in samples.

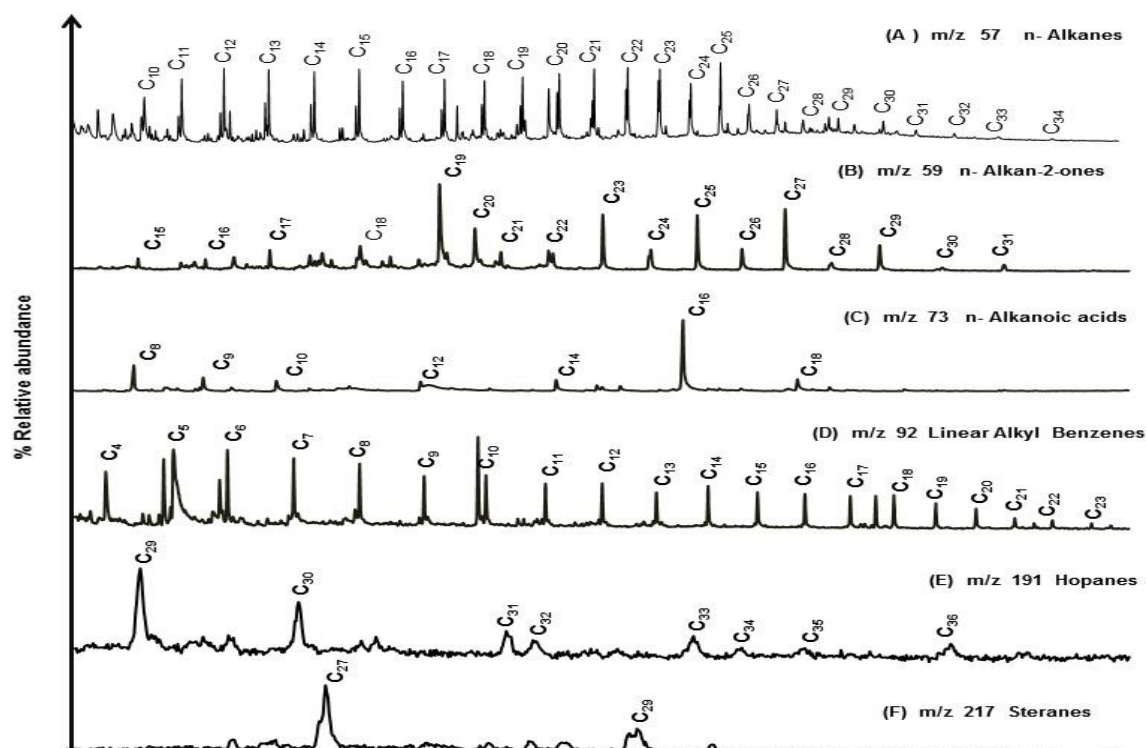


Figure 1. Reconstructed ion traces of n-alkanes (m/z 57), n-alkan-2-ones (m/z 59), n-alkanoic acid (m/z 73), Linear alkyl benzenes (m/z 92), hopane's (m/z 191) and steranes (m/z 217) series in surface sediments samples. Number on the peak refers to carbon chain length

DISCUSSION

High relative abundance of short-chain (C₁₀-C₂₀) and mid-chain (C₂₁-C₂₅) homologues compared to long-chain (C₂₇-C₃₃) n-alkanes, suggesting a substantial contribution from microbial, algal and macrophytes derived OM inputs in the salt marshes sediment. This is also supported by presence of short-chain n-alkanoic acids (< C₁₉). Relatively low abundance of long-chain n-alkanes with an odd-over-even predominance indicates the small contribution of OM from terrestrial plants input. High relative abundance of low molecular weight PAHs and their methylated homologues (e.g. naphthene and fluorene) were dominant in core profiles. While, PAHs consisting of 3-4 rings were in low relative abundance. Hopane's biomarker compositions were characterized by the predominance of C₂₉ hopane over C₃₀ hopane, with a stair-step progression of C₃₁ to C₃₆ hopanes in sedimentary profiles. Low CPI₍₂₄₋₃₁₎ values (>1) for the n-alkane, presence of UCM, methylated PAHs and series of C₂₉-C₃₆ hopane's all these signals most likely reflecting anthropogenic contamination from both sources i.e. petrogenic as well as pyrogenic throughout sedimentary profile. Ion chromatograms of steranes (m/z = 217) showed the presence of steranes C₂₇-cholestane and C₂₉-stigmastane in the sediments also confirming the conclusion that petroleum derived OM were

abundant in the sediments. Furthermore, linear alkyl benzene's (LABs) in the sediments attributed to domestic sewage inputs. LABs are dominated with a distinctive C₄-C₁₂ n-alkyl chain pattern, characteristic of anionic surfactant residues.

CONCLUSION

This study showed that Ria Formosa salt marshes sediments consist in a mixture of compounds from natural and anthropogenic sources. Significant contribution from microorganisms, algae, recycled OM, and also macrophyte derived OM input to the sediments. Whereas, higher plants derived OM inputs is minor to the marsh sediments. This study demonstrates the evidence of anthropogenic contamination in sediments from domestic effluents as well as from petroleum / oil spills.

REFERENCES

- Boski, T., Camacho, S., Moura, D., Fletcher, W., Wilamowski, A., Veiga-Pires, C., Correia, V., Loureiro, C. and 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.
- De la Rosa, J.M., González-Pérez, J.A., González-Vila, F.J., Knicker, H., Araújo, M.F., 2011. Molecular composition of sedimentary humic acids from South West Iberian Peninsula: a multi-proxy approach. *Organic geochemistry* 42:791-802.
- Gonzalez-Vila, F.J., Polvillo, O., Boski, T., Moura, D. de Andres, J.R., 2003. Biomarker patterns in a time-resolved Holocene/terminal Pleistocene sedimentary sequence from the Guadiana river estuarine area (SW Portugal/Spain border). *Organic Geochemistry* 34: 1601-1613.
- Medeiros, P.M., Bicego, M.C., Castelao, R.M., Del Rosso, C., Fillmann, G. Zamboni, A.J., 2005. Natural and anthropogenic hydrocarbon inputs to sediments of Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Environment International* 31: 77-87.

A INFLUÊNCIA DAS SURGÊNCIAS DE ÁGUA DOCE NA CONCENTRAÇÃO DAS DIATOMÁCEAS EM LITORAIS ROCHOSOS

A. Gomes¹; D. Moura²; S. Oliveira^{2,3}

¹ Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano, Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

aisgomes@ualg.pt

² Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Faro, Portugal

³ Universidade de Cádiz, CEIMAR, Espanha

ABSTRACT

The aim of this work was to study how diatom concentrations change with the influence of freshwater springs in rocky coasts. Diatoms were chosen as indicators of fresh water influence, because they are known to be highly sensible to environmental changes (especially nutrient availability), have short-live cycle span and are easy and inexpensive to study. Despite these characteristics, their usefulness as bio-indicators were never tested on rocky coasts. For testing purposes, we collected 11 samples on an intertidal rocky shore of the Olhos de Água Beach (Algarve Coast). These samples were used for diatom, nutrient and pH analysis and we also measured interstitial water salinity. Results showed that diatoms increase their concentrations in response to higher nutrient concentrations (particularly phosphate and nitrogen) that are transported to the coast by freshwater discharge of the local aquifers.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estudar como a concentração de diatomáceas varia com a influência das surgências de água doce em litorais rochosos. As diatomáceas foram escolhidas como indicadores da influência de água doce, porque elas são extremamente sensíveis a alterações ambientais (especialmente a disponibilidade de nutrientes), têm um curto ciclo de vida e o seu estudo é fácil e económico. Porém, a sua capacidade como bio-indicador nunca foi testada em costas rochosas. Para testar esta hipótese, recolheram-se 11 amostras na plataforma rochosa da zona intermareal da Praia dos Olhos de Água (costa do Algarve). Estas amostras foram analisadas quanto à concentração de diatomáceas, nutrientes e pH. Além disso, mediu-se a salinidade da água intersticial do sedimento em cada um dos pontos de amostragem. Os resultados mostraram que a concentração de diatomáceas co-varia com a concentração de nutrientes (particularmente de fosfatos e azoto) que são transportados para a costa pelas descargas de água doce dos aquíferos locais.

INTRODUÇÃO

As diatomáceas são algas unicelulares que possuem uma frústula siliciosa. São o maior grupo que compõe o microfítobentos do mundo. Contudo, a sua diversidade e ecologia são pouco conhecidas em ambientes de transição, como as zonas intermareais de praias e estuários (Cooper, 1999), por comparação com os ambientes marinhos e de água doce. O vasto conhecimento sobre as diatomáceas de água doce permitiu conhecer o seu potencial como bio-indicador neste ambiente (e.g. Coste et al., 2009). Além disso, as diatomáceas são ubíquas e têm tempos de geração muito curtos o que permite o desenvolvimento rápido de blooms, aumentando o número de células em muitas ordens de magnitude em apenas alguns dias. Isto permite-lhes responder rapidamente a alterações ambientais. Assim, considerando que até ao momento não existem estudos sobre os factores limitantes da distribuição das diatomáceas em litorais rochosos, é imperioso aumentar este conhecimento. Tal permitirá desenvolver índices, por exemplo, para avaliar o estado ecológico destes ambientes transição ou detetar a ocorrência das surgências de água doce. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar como a concentração de diatomáceas varia com a influência das surgências de água doce, e respectiva descarga de nutrientes, em litorais rochosos.

MÉTODOS

Em Outubro de 2016 recolheram-se 11 amostras de sedimento superficial/raspagem da rocha da plataforma de abrasão e sua cobertura, ao longo da zona intermareal e durante a baixa-mar de uma maré viva. As amostras foram recolhidas por forma a englobar áreas com e sem influência de surgências de água doce. Todos os pontos de amostragem foram georeferenciados, descritos e mediu-se a salinidade da água com recurso a uma sonda multi-paramétrica Ysi 556 MPS, sempre que possível. Além disso, recolheram-se amostras de água para análise de nutrientes e pH no Laboratório

de Análises Químicas da Universidade do Algarve. As amostras foram preparadas e analisadas quanto à concentração de diatomáceas de acordo com Lapointe (2000).

RESULTADOS

Verificou-se que a concentração de diatomáceas é maior junto às surgências de água doce. O valor mais elevado foi registado em F3 que é a surgência que se encontra mais próximo da base da arriba rochosa (Tabela 1 e Figura 1). É também naqueles sítios que se registam os valores mais elevados de PO_4^{3-} , $\text{NO}_3^{3-} + \text{NO}_2$ e Si, que são nutrientes fundamentais para o crescimento das diatomáceas.

Tabela 1. Descrição dos sítios de amostragem (de F1 para F11 a proximidade à água do mar aumenta).

Sítios	Descrição
F1	Área de escorrência de água sobre a plataforma rochosa povoada por algas verdes, negras e castanhas, lapas e pequenos mexilhões.
F2	Área de areia marginal a uma tina de dissolução; área de escorrência.
F3	Área de areia dentro de uma tina de dissolução cheia de água.
F4	Área de escorrência entre tinas de dissolução povoada por algas castanhas, verdes e pretas e com sedimento arenoso.
F5	Área mais elevada da plataforma rochosa entre as tinas de dissolução. A área encontra-se coberta por algas verdes e pretas e cracas. Não foi possível medir parâmetros ambientais porque estava emersa.
F6	Área de transição entre F4 e F5, povoada por algas vermelhas.
F7	Área marginal a tina de dissolução com escorrência para um canal e povoada por algas principalmente castanhas e verdes.
F8	Área de tina de dissolução com sedimento arenoso; dentro da tina há blocos de rochas e algumas algas verdes.
F9	Área de plataforma rochosa com algas vermelhas, castanhas e pretas, lapas, cracas e litorinas e sedimento arenoso.
F10	Área de plataforma rochosa, mais deprimida relativamente a F10, com algas de vermelhas, castanhas e verdes e sedimento arenoso.
F11	Tina de dissolução junto à beira da plataforma com algas vermelhas e algumas algas verdes, mexilhões e sedimento arenoso no fundo.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Este estudo revelou que a concentração de diatomáceas é um bom bio-indicador das surgências de água doce e nutrintes em litorais rochosos. Assim, pode ser um excelente indicador para o controlo da qualidade das descargas de água doce dos aquíferos locais, influenciados pela actividade agrícola. Este indicador pode ser aplicado em qualquer área geográfica (Desrosiers et al., 2013). Futuramente, será ainda importante estudar como as surgências influenciam a diversidade de diatomáceas em cada um dos sítios amostrados.

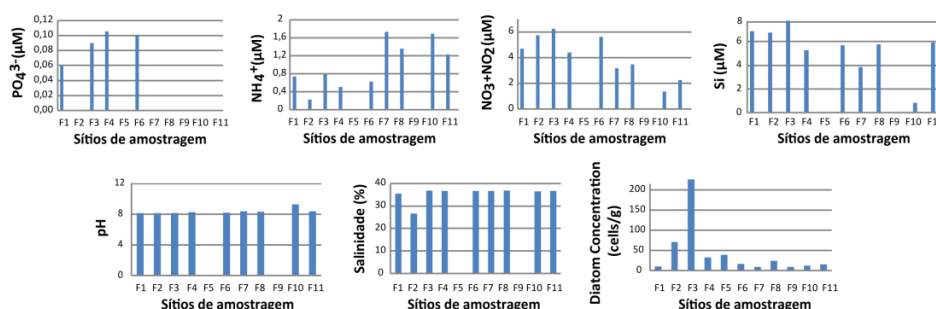


Figura 1. Variação de nutrientes, pH, salinidade e concentração de diatomáceas pelos sítios de amostragem.

REFERÊNCIAS

- Cooper, S.R., 1999. *Estuarine paleoenvironmental reconstructions using diatoms*. In: Stoermer, E.F. e Smol, J.P., Ed. *The Diatoms: Application for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 352–373.
- Coste, M., Boutry, S., Tison-Rosebery, J., Delmas, F., 2009. Improvements of the biological diatom index (BDI): description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators* 9: 621–650.
- Lapointe, M., 2000. Modern diatom assemblages in surface sediments from the Maritime Estuary and the Gulf of St. Lawrence, Québec (Canada). *Marine Micropaleontology* 40: 43–65.
- Desrosiers, C., Leflaive, J., Eulin, A., Ten-Hage, L., 2013. Bioindicators in marine waters: Benthic diatoms as a tool to assess water quality from eutrophic to oligotrophic coastal ecosystems. *Ecological Indicators* 32, 25–34.

ÚLTIMO INTERGLACIAL: TERRAÇOS NA COSTA ROCHOSA DO ALGARVE CENTRAL

D. Moura¹; S. Oliveira¹; J. Horta¹; A. Gomes²; A. Nascimento¹

¹ Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Universidade do Algarve, Ed.7, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro.

dmoura@ualg.pt

² Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano (ICArEHB), Universidade do Algarve, Ed.1, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro

ABSTRACT

Marine terraces identified at the Albandeira site, are here characterized and correlated to highstands of the Marine Isotope Stage (MIS) 5, substages 5a, 5c and 5e. Based in this interpretation we estimated the uplift rate in 0,15 mm/year. In addition, three main karstogenic phases were identified and correlated to highstands of the Upper Pleistocene (MIS 7 and 5). We assumed that the main mechanism was dissolution (chemo-karst) promoted by freshwater discharges in the littoral zone between the high tide level and -2 m below the mean sea level (MSL) as happen currently. Nevertheless, the integrated interpretation of all the studied area (Ponta da Piedade-Galé) requires the existence of different uplift rates (between 0,15 mm/year and 0,10 mm/year).

RESUMO

Neste trabalho, identificamos terraços marinhos no sector costeiro de Albandeira atribuíveis ao Estádio Isotópico Marinho (MIS) 5, sub-estádios 5a, 5c e 5e. Com base nesta interpretação, obtivemos o valor de 0,15 mm/ano para a taxa de levantamento continental neste sector. Ainda, utilizando o análogo actual, correlacionamos três fases carsogénicas com o nível médio do mar (NMM) durante os MIS 7 e MIS 5. Para tal, assumimos que a dissolução (químico-carso) promovida pela descarga dos aquíferos foi o principal mecanismo carsogénico. No entanto, a interpretação integrada de toda a área de estudo (Ponta da Piedade-Galé), exige admitir diferentes taxas de levantamento continental entre 0,10 mm/ano e 0,15 mm/ano.

INTRODUÇÃO

A evolução dos litorais rochosos depende de factores intrínsecos ao substrato físico (litologia, estrutura e tectónica) e de variáveis ambientais como o clima de agitação marítima, as variações do nível médio do mar (NMM) e as condições sinóticas. As variações do NMM podem ficar testemunhadas nos litorais rochosos quer por superfícies de abrasão quer por depósitos de praia (neste trabalho receberão a designação comum de terraços). A correlação entre os terraços e o NMM associado à sua génese, é, na maioria das vezes uma tarefa difícil, quer pela ausência de material para datar, quer pela incerteza associada à idade dos limites dos ciclos de glacial-interglacial e das cotas atingidas pelo NMM. O limite inferior do Último Interglacial (MIS 5e) tem sido posicionado entre os 128 ka (e.g., Stirling et al., 1998) e os 135 ka (e.g., Lambeck & Nakada, 1992). O final do MIS 5e tem sido mais consensualmente fixado aos 116 ka, embora existam também algumas divergências. Neste trabalho utilizaremos os limites propostos por Kukla et al. (2002) para o Último Interglacial (5e): 130 ka a 116 ka.

O presente trabalho tem como objectivo interpretar cronologicamente os terraços litorais que ocorrem na costa rochosa do Algarve central com base na morfologia e nas fases carsogénicas. A área de estudo estende-se desde a Ponta da Piedade à Praia da Galé, um sector costeiro cujo suporte é a Formação Carbonatada de Lagos-Portimão.

MÉTODOS

Com o objectivo de caracterizar o contexto morfotectónico da área de estudo, realizaram-se descrições e medições *in situ* bem como levantamentos com um Veículo Aéreo Não Tripulado (drone). Sobre as imagens assim obtidas remotamente, realizou-se em ambiente SIG a morfometria das formas objecto deste trabalho. Recolheram-se amostras em alguns dos preenchimentos cársicos para análises granulométricas e geoquímicas.

RESULTADOS

Nos sectores costeiros da Ponta da Piedade e do Caniço, a extrema dissecação do planalto litoral por algares e ravinamentos, impossibilitaram a identificação de possíveis terraços, com

excepção da superfície sumital do planalto litoral (45 m a 35 m). Este, encontra-se desnivelado cerca de 21 m (média) de uma paleo-superfície a partir da qual se abrem os algares presentemente interceptados pela linha de costa.

Nos sectores de Albandeira e Castelo encontramos os mais notáveis e completos algares, abertos a partir de cotas entre os 20 m e os 16 m e livres de preenchimento detrítico. Em Albandeira, individualizámos 3 terraços marinhos com cotas máximas de 20,00 m (T1), 12,54 m (T2) e 10,46 m (T3).

Na praia da Galé, os algares pouco profundos encontram-se preenchidos por areia siltítica e abrem-se a partir de uma superfície com cotas entre 8 m e 7 m. As análises geoquímicas do preenchimento cársico configuram um contexto de dissolução do substrato carbonatado sob uma cobertura permeável. Este criptocarso está presentemente a ser erodido pelas ondas e interceptado pelo recuo das arribas.

DISCUSSÃO

A génese de algares e o preenchimento detrítico dos mesmos, tal como observado na Ponta da Piedade e no Caniço pode ser explicado em ambiente geomórfico litoral pouco profundo. Um análogo moderno deste contexto, encontra-se submerso na base das arribas ou adjacente às praias nelas ancoradas. Os aquíferos escoam para o litoral elevadas quantidades de água doce dando origem a surgências responsáveis pela formação de denso químiocarso. Durante as transgressões, os níveis freáticos acompanham a subida do NMM e por isso, a descarga faz-se na zona litoral (intermareal ou submersa de pouca profundidade). Na Ponta da Piedade, no Caniço e no Castelo, individualizámos duas prováveis paleo-plataformas litorais correspondentes a duas fases carsogénicas correlativas de NMM alto durante estádios de interglacial. A resposta para as posicionar cronologicamente pode encontrar-se em Albandeira.

No sector costeiro de Albandeira, os terraços T1 (20 m a 16 m), T2 (12,54 m a 11,48 m) e T3 (10,60 a 9,57 m) têm expressão morfológica e sedimentológica de terraços marinhos que podemos atribuir respectivamente aos sub-estádios MIS 5e, 5c e 5a. Utilizando a cota máxima de T1 e o limite inferior de 130 ka para o MIS 5e, obtemos a taxa de levantamento de 0,15 mm/ano. Este valor é muito próximo da taxa de 0,11 mm/ano obtido por Figueiredo et al. (2013) no SW do Algarve com base nos terraços marinhos aí identificados por esses autores.

Se aplicarmos a taxa de levantamento continental de 0,15 mm/ano, a fase carsogénica mais antiga é correlativa do NMM aos 270 ka: MIS 7.

CONCLUSÕES

(i) Foram identificadas três fases carsogénicas principais, utilizando a frequência de ocorrência de aplanamentos a partir dos quais se abrem algares: (a) 45 a 35 m, (b) 22 a 16 m; (c) 12 a 8 m; (ii) Baseados nos processos carsogénicos actuais, com a descarga de água doce dos aquíferos a assumir o principal papel entre o nível da maré alta e os 2 metros abaixo do NMM propomos que as fases carsogénicas referidas em i) estejam relacionadas com estádios do NMM associadas ao MIS 7 e MIS 5; (iii) Os terraços de Albandeira foram correlacionados com o MIS 5, sub-estádios 5e, 5c e 5a; (iv) Com base nos terraços de Albandeira, estimámos uma taxa local de levantamento continental de 0,15 mm/ano. Porém, para uma interpretação global da área de estudo, é necessário assumir taxas de levantamento sectoriais.

REFERÊNCIAS

- Figueiredo, P.M., Cabral, J., Rockwell, T., 2013. Recognition of Pleistocene marine terraces in the southwest of Portugal (Iberian Peninsula): evidences of regional Quaternary uplift. *Annals of Geophysics* 56, 6, S0672, doi:10.4401/ag-6276.
- Kukla, G.J., Bender, M., de Beaulieu, J-L., Bond, G., Broecker, W.S., 2002. Last Interglacial Climates. *Quaternary Research* 58: 2-13.
- Lambeck, K., Nakada, M., 1992. Constraints on the age and duration of the last interglacial period and on sea-level variations. *Nature* 357: 125-128.
- Stirling, C.H., Esat, T.M., Lambeck, K., McCulloch, M.T., 1998. Timing and duration of the Last Interglacial: evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth. *Earth and Planetary Science Letters* 160: 745-762.

REGISTRO DE LAS RELACIONES ENTRE DEPÓSITOS MARINOS Y CONTINENTALES DEL PLEISTOCENO EN ACANTILADOS COSTEROS: CASO DE PESSEGUEIRO (ALENTEJO, PORTUGAL)

E. Roquero¹; J.L. Goy²; C. Dabrio³; T. Bardaji⁴; C. Zazo⁵; T. Boski⁶; A. Martinez-Graña²; D. Moura⁶

¹ Departamento de Edafología. Universidad Politécnica de Madrid. Spain. elvira.roquero@upm.es

² Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. Spain. joselgoy@usal.es, amgranna@usal.es

³ Departamento de Estratigrafía. Universidad Complutense de Madrid. Spain. dabrio@geo.ucm.es

⁴ U.D. de Geología, Universidad de Alcalá, Madrid. Spain. teresa.bardaji@uah.es

⁵ Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid. Spain. mcnzc65@mncn.csic.es

⁶ CIMA, Universidad do Algarve. Portugal. bosky@ualg.pt, dmoura@ualg.pt

ABSTRACT

Marine and terrestrial pleistocene deposits relationship were established according to geomorphological and sedimentary facies analysis studies in Pessegueiro cliff. Prequaternary substratum formed by carboniferous phyllites underlies marine conglomerates covered by alluvial fan deposits with interbedded paleosols. The climatic factor controlled the sediment supply to the coast and the pedogenic processes that generated the red paleosols interbedded in the alluvial fan deposits. Agradational phases have been recognized with intervening periods of inactivity that coincided with episodes of paleosol generation. The humid climatic conditions that favoured the supply of sediment to the fans were followed by alternating humid and arid periods; the first promoted clay illuviation, and the second the rubefaction. The alluvial pedosedimentary sequence is sealed by cemented dunes dated by OSL about 130 Ka, then according to the geomorphological mapping and other datings along coastal cliffs, lower marine level underlying the whole sequence corresponds to middle Pleistocene.

RESUMEN

Los estudios de detalle de la geomorfología y del análisis de facies sedimentarias han permitido observar las relaciones entre los depósitos marinos y continentales del Pleistoceno. La secuencia sedimentaria se apoya sobre un sustrato pre-cuaternalio (filitas del Carbonífero). Sobre este se apoyan unos conglomerados marinos que quedan cubiertos por unos depósitos aluviales en los que se intercalan paleosuelos, objeto principal de este estudio preliminar. El factor climático controla tanto el aporte sedimentario a la costa como los procesos edafogénicos de los suelos intercalados en la secuencia aluvial. Las fases de agradación se intercalan con fases de inactividad donde predomina el desarrollo de los paleosuelos. Las condiciones climáticas húmedas que favorecen el aporte aluvial son seguidas por fases alternantes de humedad y aridez; en las primeras se favorece la iluviación, y, en las segundas la rubefacción. A techo esta secuencia queda sellada por una duna rampante cementada datada en 130 Ka, por consiguiente basándonos en la cartografía geomorfológica y las dataciones a lo largo de las secuencias estudiadas en acantilados, el nivel marino inferior sobre el que se apoya toda la secuencia le corresponde una edad del Pleistoceno medio.

INTRODUCCIÓN

Al pie de la Sierra do Cercal se desarrollan sistemas de abanicos aluviales caracterizados en muchos casos por arenas arcillosas de tonos rojos que se conocen en la literatura como “Formação vermelha” (Ramos Pereira, 2000). Estas facies rojas se reciclan varias veces dando origen a un sistema escalonado de abanicos aluviales en los que al llegar a la costa se observan paleosuelos intercalados y sellados a techo por sistemas de dunas cementadas, en algunos casos rampantes. Las secuencias de abanicos afloran en el acantilado de Pessegueiro (Alentejo, Portugal) (Figura 1A) por encima de un nivel conglomerático marino que se apoya a su vez en un sustrato metamórfico. El objeto de este trabajo es proporcionar un marco cronológico preliminar de la secuencia pleistocena a partir de las dataciones por OSL así como la caracterización de los paleosuelos intercalados en la unidad aluvial.

MÉTODOS

Se llevó a cabo una cartografía geomorfológica de detalle a partir de la fotointerpretación a escala 1:25.000. Se tomaron tres muestras (base, zona media, zona superior) para dataciones con OSL en la unidad aluvial y una muestra en la duna superior cementada. De todo el espesor se seleccionaron los paleosuelos de mayor grado de desarrollo morfológico. La descripción morfológica

se hizo siguiendo la sistemática de FAO (2006) y la nomenclatura del Soil Survey Staff (2014); el color según la escala Munsell Soil Color Chart (1990). Se tomaron muestras de cuatro de los paleosuelos y se analizó la textura, el carbonato cálcico equivalente y la materia orgánica según los procedimientos del Soil Survey Laboratory methods (USDA, 2014).

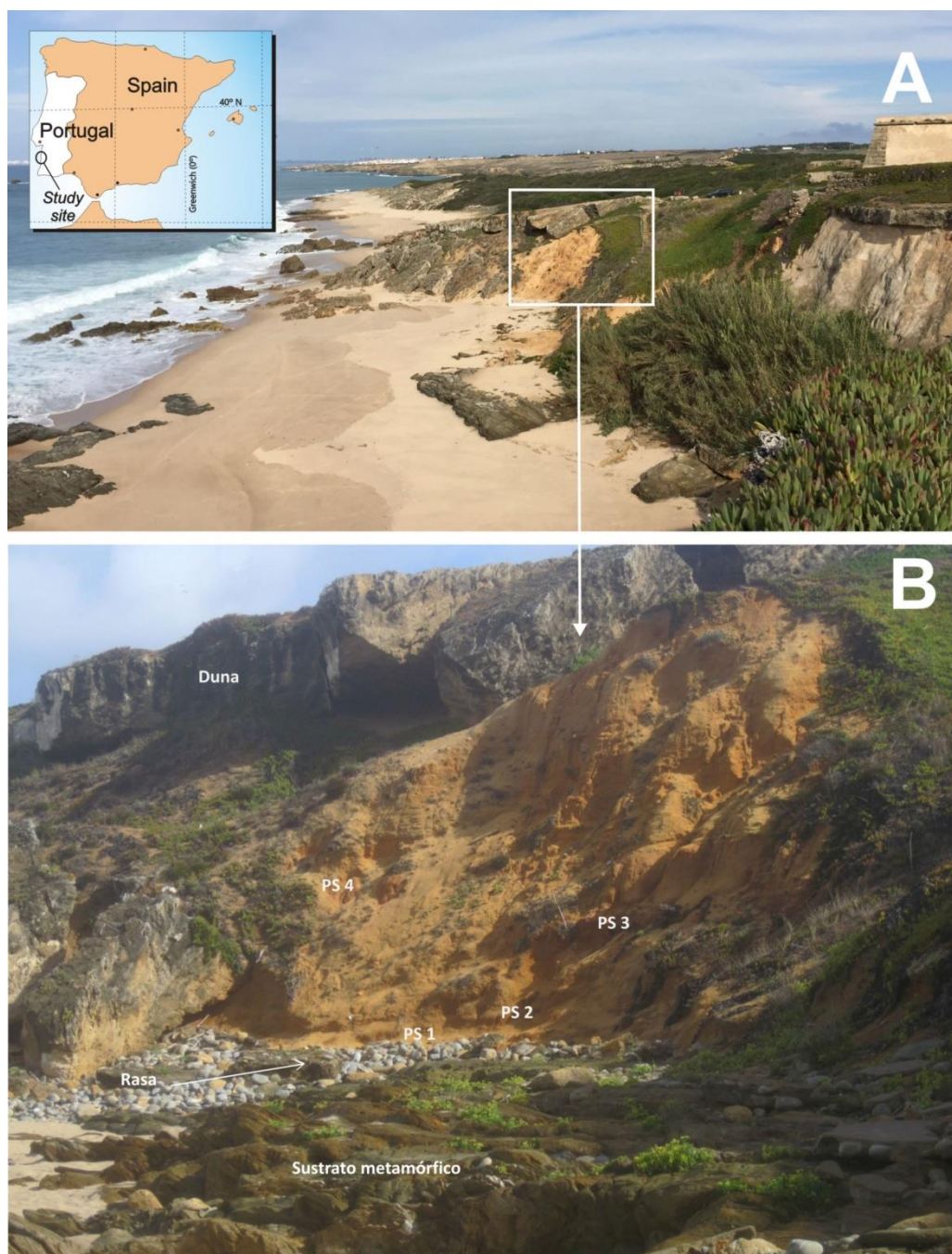


Figura 1. Afloramiento del Acantilado de Pessegueiro. A) vista general. B) localización de los paleosuelos situados en la secuencia inferior de la serie sedimentaria analizada. Rasa marina asociada al nivel marino conglomerático que constituye la base de la secuencia del acantilado. La acumulación de cantos procede en parte de la destrucción actual de ese depósito marino puesto que la rasa está siendo reutilizada por el nivel actual del mar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los paleosuelos se desarrollan sobre los depósitos de las facies distales de los abanicos aluviales cuya área fuente está formada por arenas finas rojas de la “Formação Vermelha” (Ramos Pereira, 2000) procedentes de la Serra do Cercal. La interrupción en el proceso de sedimentación de

los sucesivos abanicos se refleja en la presencia de paleosuelos cuyo grado de desarrollo es desigual, y está controlado tanto por el lapso de tiempo que dura la interrupción de los aportes sedimentarios, como por las características climáticas.

Ninguno de los paleosuelos presenta un horizonte A lo que sugiere su truncamiento previo o contemporáneo con el enterramiento. Morfológicamente, los horizontes argílicos en bandas tienen una presencia generalizada, y cuando se superponen, dan lugar a paleosuelos de un espesor significativo (Figura 1B). Ejemplo de ello son los paleosuelos que se manifiestan como un único horizonte continuo (PS1, PS2, PS3, PS4). De ellos el mejor desarrollado es el PS3, de color rojo (2,5YR 4/6 h) y con un espesor total observable de 50 cm. La textura (USDA) es arenoso franca, con un claro predominio de arena (88%), y un contenido máximo de arcilla del 7%. Presenta además un incipiente desarrollo de la estructura y son característicos los moteados y concentraciones de óxidos de Fe-Mn asociados a los procesos de oxidación-reducción.

Los otros paleosuelos PS1, PS2, PS4 de color rojo amarillento (5YR 5/6 a 5/8 h) presentan morfologías similares, con un espesor menor y contenidos de arcilla ligeramente superiores. En cualquier caso, en todos ellos la fracción arena gruesa es dominante sobre la fina, y junto con los contenidos muy bajos de limo determinan una porosidad favorable a la traslocación de las partículas de arcilla. La iluviación se ve favorecida además por la ausencia de carbonato cálcico en los sucesivos materiales parentales de los suelos.

A techo de la secuencia y por debajo de la duna cementada, el PS5 (Figura 2) está formado por dos niveles, uno inferior, con un espesor máximo de 2 m formado por bandas alternantes de color amarillo rojizo (5YR 5/8, h) y blanco rosado (5YR 8/2 s) limitado a techo por un nivel de gravillas, al que se superponen niveles arenosos con bandas rojas muy onduladas de espesor inferior a 1 cm. De los principales paleosuelos descritos, el PS3 refleja una interrupción más larga del aporte sedimentario y por tanto una actividad edafogenética más prolongada. Esta etapa parece finalizar con un periodo más dilatado de aridez que favorece el grado de rubefacción mayor de todos los paleosuelos estudiados.

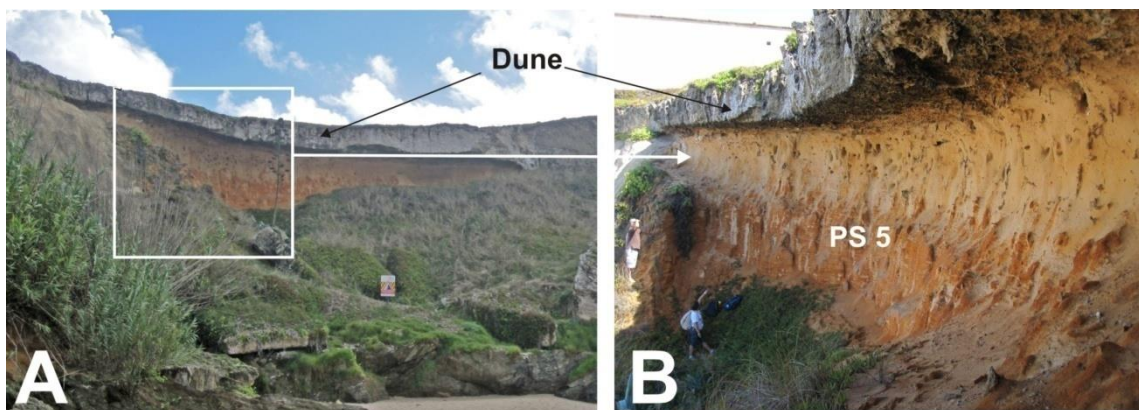


Figura 2. A. Afloramiento del paleosuelo superior (PS5). B. Detalle del desarrollo de horizontes argílicos en bandas de mayor espesor en la parte inferior. A techo duna cementada datada en 130 Ka.

CONCLUSIONES

El depósito marino conglomerático, que se apoya sobre la superficie erosiva labrada en el sustrato metamórfico está cubierto por una secuencia de abanicos aluviales del Pleistoceno medio. La duna rampante datada en 130 ka que sella estos depósitos indica que la edad de todos los sedimentos es anterior a ella. Esta duna estaría relacionada con la presencia de un nivel marino situado actualmente en nivel 0 m o ligeramente más bajo del nivel actual. Por consiguiente el nivel marino conglomerático sobre el que se apoyan las facies aluviales debe corresponder a un nivel marino isotópico (MIS) del Pleistoceno Medio. El factor climático controla tanto el aporte sedimentario a la costa como los procesos edafogenéticos de los suelos intercalados en la secuencia aluvial. Las fases de agradación se intercalan con fases de inactividad donde predomina el desarrollo de los paleosuelos. Las condiciones climáticas húmedas que favorecen el aporte aluvial son seguidas

por fases alternantes de humedad y aridez; en las primeras se favorece la iluviación, y, en las segundas la rubefacción.

ACKNOWLEDGEMENTS

Supported by Spanish projects CGL2015-69919-R.

REFERENCES

- FAO, 2006. Guideline for Soil Description, 4th edition. FAO, Rome, Italy. 109 pp.
- Munsell Soil Color Chart, 1990. Munsell Color Company, 1975. Munsell Soil Color Charts. Macbeth Division of Kollmorgen, Baltimore, MD. (USA).
- Soil Survey Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th Edition. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC., USA.
- United State Department of Agriculture (USDA), 2014. Soil Survey Laboratory methods, 2014. Soil Survey Laboratory Investigations Report No. 42.
- Ramos Pereira, A., 2000. A Geomorfologia e ordenamento da Costa Alentejana. Seminário “A Zona Costeira do Alentejo” Associação EUROCOAST-PORTUGAL. Porto, 9-26.

SEA-LEVEL HIGH-STAND DURING THE LAST INTERGLACIAL STAGE: SEDIMENTARY CHARACTERIZATION AND LUMINESCENCE DATING OF THE OYAMBRE COASTAL TERRACE (CANTABRIAN COAST, SPAIN)

E. Sainz de Murieta¹; A. Cearreta²; P.P. Cunha³; J.-P. Buylaert^{4,5}; A.S. Murray⁵

¹ Adaptation Lab, Basque Centre for Climate Change (BC3). elisa.sainzdemurieta@bc3research.org

² Department of Stratigraphy and Palaeontology, University of the Basque Country (UPV/EHU). alejandrocarrera@ehu.es

³ MARE - Marine and Environmental Sciences Centre, Department of Earth Sciences, University of Coimbra. pcunha@det.uc.pt

⁴ Centre for Nuclear Technologies, Technical University of Denmark, Risø Campus, Denmark. jabu@dtu.dk

⁵ Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University, DTU Risø Campus, Denmark. anmu@dtu.dk

ABSTRACT

In a context of climate change and global sea-level rise, the study of potential past analogues can play a key role in improving knowledge of natural- versus anthropogenic-induced climate variability. Special attention has been paid so far to the last interglacial stage maximum (MIS5e), that occurred at ca. 125 ka (ca. +6 m above present sea level). In this study, we have analysed a coastal sedimentary sequence located in Oyambre (Cantabria, north of Spain) above an erosive surface at about +6.9 m (above Bilbao ordnance datum). Based on sedimentological analysis, two depositional environments have been identified: an ancient beach environment, formed by gravels and brown pebbly sands, and an aeolian environment represented by yellow sands, that comprises the upper part of this coastal succession. OSL dating, using SAR quartz-OSL and pIRIR (K-feldspar) protocols, determined that the basal beach deposits correspond to a sea-level highstand during the last interglacial stage (ca. 125–108 ka).

RESUMO

Num contexto de mudança climática e de subida global do nível do mar, o estudo de potenciais análogos do passado pode desempenhar um papel chave na melhoria do conhecimento sobre a variabilidade climática em função de controlos naturais versus antropogénicos. Tem sido dada especial atenção ao máximo eustático do último interglacial (MIS5e), de há ca. 125 ka e ca. +6 m (acima do nível do mar actual). Analisámos a sequência sedimentar de um terraço costeiro localizado em Oyambre (Costa Cantábrica, norte de Espanha), com base erosiva aos +6,9 m (acima do *ordnance datum* de Bilbao). A análise sedimentológica identificou dois antigos ambientes deposicionais: um de praia, com cascalheiras e areias cascalhentas castanhas; e um eólico costeiro, constituído por areias amarelas (parte superior da sucessão). A datação por OLS, com protocolos SAR OSL-quartzo e pIRIR (feld.-K), determinou que os depósitos de praia correspondem com o alto nível do mar do último interglaciário (ca. 125–108 ka).

INTRODUCTION

In a context of global climate change, past analogues of previous interglacial stages that could resemble current climate change and future projections have been long studied (Tzedakis, 2003; Candy et al., 2014). Even though the analogy between the present and past interglacials is not straightforward and thus it should always be used carefully, geological observations, such as past sea-level positions, offer a sound reference for modern modelling approaches.

At the Oyambre beach (Cantabria, north of Spain), a 15 m-thick coastal sequence located above an erosive surface at about +6.9 m above Bilbao ordnance datum was identified. This surface separates Oligocene marls from a probable Last Interglacial (LIG/MIS5) unit. It comprises beach gravels and coarse gravelly sands, lagoon silts and aeolian sands. The aim of this study is to determine, using optically stimulated luminescence (OSL) dating techniques, the age of the Oyambre coastal terrace deposits and its probable assignment to a sea-level high-stand during the LIG.

METHODS

The information presented here is derived from stratigraphic, sedimentological and chronological data from the study site, using a standard fieldwork approach: a field description and stratigraphic correlation of deposits and the selection and sampling of materials for absolute dating. A standard single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol was used to estimate the quartz dose, using blue light stimulation at 125° C for 40 s with a 240° C preheat for 10 s, a 200° C cut heat and a high temperature (280° C) blue-light stimulated clean-out step (Murray & Wintle, 2003). The OSL signal was detected through a U-340 filter. All samples have a strong fast component. The net OSL

signal was calculated from the initial 0.0–0.8 s of stimulation and an early background between 0.8 and 1.6 s. The K-feldspar equivalent doses were measured using a post-IR IRSL SAR protocol using a blue filter combination (Buylaert et al., 2012). Additionally, we have performed grain size and micropalaeontological analyses of the samples.

RESULTS

Based on sedimentological analysis, two depositional environments have been identified: one formed by gravels and brown pebbly fine sands (2.3 m-thick) with abundant planktonic and benthic foraminifera, representing an ancient beach environment where the sea-level high-stand would be represented at the base of the gravels; the second one (12.8 m-thick), made of sands intercalated by thinner mud layers, represents an aeolian environment.

With regard to OSL dating, the samples with equivalent doses below saturation provided ages varying between 191 ± 14 ky and 89 ± 8 ky. There are 12 samples with equivalent doses over signal saturation (> 250 Gy).

DISCUSSION

The results of OSL dating are scattered and, in some cases, represented by ages not according to the stratigraphic order. It is very probable that this is due to partial bleaching of grains eroded from the paleocliff, consisting of soft Oligocene marls. If only samples in correct stratigraphic position that show lower contamination are selected, the probable depositional age of this terrace succession would be ca. 116 to 108 ky for the basal beach deposits and ca. 102 ky to 89 ky for the upper aeolian deposits. Consequently, the sedimentary sequence provided by this coastal outcrop should record the Marine Isotope Stage 5 (MIS5). With regards to the sea-level high-stand, the base of the marine deposits that indicates the minimum relative palaeosea-level (boulder gravels with sands) are today at an elevation of +6.9 m above Bilbao ordnance datum. Previous estimates of MIS5e sea-level high-stand have provided values ranging from 4 to 6 m above current MSL (e.g. Hearty et al., 2007). However, more recent probabilistic assessments found that 6 m above modern sea level is likely to be the best estimate (Masson-Delmotte et al., 2013). Our results are more in line with these recent studies.

CONCLUSION

Two depositional environments have been identified in the Oyambre sequence, an ancient beach environment followed upwards by an aeolian environment. Dating provided a probable age of the terrace succession corresponding to MIS5 (ca. 110 ± 8 ky to 108 ± 7 ky for the beach sands above the basal gravels and 102 ± 9 ky to 89 ± 8 ky for the upper aeolian deposits). The base of the beach deposit is located at +6.9 m above Bilbao ordnance datum, in line with recent studies that have defined 6 m above modern sea level as the best estimate for the LIG sea-level high-stand.

REFERENCES

- Buylaert, J.-P., Jain, M., Murray, A.S., Thomsen, K.J., Thiel, C., Sohbati, R., 2012. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments. *Boreas* 41: 435–451. doi:10.1111/j.1502-3885.2012.00248.x
- Candy, I., Schreve, D.C., Sherriff, J., Tye, G.J., 2014. Marine Isotope Stage 11: Palaeoclimates, palaeoenvironments and its role as an analogue for the current interglacial. *Earth-Science Reviews* 128: 18–51. doi:10.1016/j.earscirev.2013.09.006
- Hearty, P.J., Hollin, J.T., Neumann, A.C., O'Leary, M.J., McCulloch, M., 2007. Global sea-level fluctuations during the Last Interglaciation (MIS 5e). *Quaternary Science Review* 26: 2090–2112. doi:10.1016/j.quascirev.2007.06.019
- Masson-Delmotte, V., Schulz, M., Abe-Ouchi, A., Beer, J., Ganopolski, A., González Rouco, J.F., Jansen, E., Lambeck, K., Luterbacher, J., Naish, T., Osborn, T., Otto-Bliesner, B., Quinn, T., Ramesh, R., Rojas, M., Shao X. and Timmermann, A., 2013. Information from Paleoclimate Archives. In Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., eds. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, pp. 383–464.
- Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements* 37: 377–381.
- Tzedakis, C., 2003. Timing and duration of Last Interglacial conditions in Europe: a chronicle of a changing chronology. *Quaternary Science Review* 22: 763–768. doi:10.1016/S0277-3791(03)00004-0

GEOMETRIA DA UNIDADE ALOSTRATIGRÁFICA SLD13 (ZANCLEANO SUP. - GELASIANO) NO SECTOR SW DA BACIA CENOZÓICA DO BAIXO TEJO (ALPIARÇA - PENÍNSULA DE SETÚBAL) – INTERPRETAÇÕES DEPOSICIONAIS E TECTÓNICAS

P.P. Cunha¹; M.P. Gouveia¹; A.A. Martins²

¹ MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente; Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. pcunha@det.uc.pt, mariaimport@gmail.com, proj. UID/MAR/04292/2013 – MARE (FCT)

² Instituto de Ciências da Terra (ICT), Departamento de Geociências, Universidade de Évora. aam@uevora.pt

ABSTRACT

The geometry of the allostratigraphic unit SLD13 (uppermost Zanclean to Gelasian) in the area of Alpiarça - Setúbal Península (Lower Tejo Cenozoic Basin) was investigated. The methods involved comprised: a) literature review; b) identification of the unit base and top surfaces from geological maps 1/50000; c) production of maps with the altitudes of the base and top surfaces; d) production of maps with structure contours of the base surface; e) interpretation of the geometry of basal and top surfaces. The geometry of the basal surface allows us to identify large paleovalleys and the main paleodrainage axis, but also the sin-sedimentary tectonic deformation and the more recent tectonic displacements.

RESUMO

A geometria da unidade alostratigráfica SLD13 (Zancleano terminal a Gelasiano) na área de Alpiarça - Península de Setúbal (Bacia Cenozóica do Baixo Tejo) foi estudada por: a) análise bibliográfica; b) identificação da base e topo da unidade, a partir de mapas geológicos 1/50000; c) produção de mapas com as altitudes da base e topo; d) produção de mapas com linhas de contorno estrutural da base; e) interpretação da geometria das superfícies da base e topo. A superfície de contorno estrutural da base indica largos paleovales, os principais eixos de drenagem, bem como tectónica sin-sedimentar e ulterior.

INTRODUÇÃO

Em Portugal continental, o alto nível do mar do Zancleano final a Placenciano (a ca. de 40 m asl) foi responsável por transgressão marinha que atingiu até ca. 25 km para o interior da costa actual, desenvolvendo uma plataforma de abrasão marinha e litoral arenoso abastecido por sistemas deltaicos na foz de cursos de água, precursores dos actuais (Pais et al., 2012). Em contexto de alto nível do mar, ocorreu a progradação dos sistemas sedimentares costeiros. No litoral oeste, esta plataforma de abrasão marinha, com inclinação suave para o litoral, apresenta altitude variando entre ca. 0 e 250 m. Sobre esta plataforma existem depósitos marinhos, que geralmente compreendem uma *lumachela* basal e areias cascalhentas amarelas finas micáceas. Para o interior a superfície de descontinuidade está coberta por depósitos siliciclásticos deltaicos, fluviais ou de leque aluvial, assumindo a base uma outra geometria (geralmente de amplo paleovale). Esta unidade sedimentar culminante regista a formação do rio Tejo, drenando para o Oceano Atlântico a anteriormente endorreica Bacia Cenozóica de Madrid. A unidade alostratigráfica que em Portugal compreende estes depósitos foi definida como a SLD13 (prov. Zancleano a Plistocénico inicial; 3,7 a ca. 1,8 Ma). O seu topo é uma superfície de agradação sedimentar, abandonada no início do encaixe da rede hidrográfica. A área de estudo situa-se no sector SW da Bacia do Baixo Tejo, cujo relevo é dominado por planaltos correspondentes à superfície culminante do enchimento sedimentar (CSS), decrescendo em altitude desde ca. 350-290 m (Vila Velha de Ródão) a ca. 75-52 m (no eixo deprimido da Península de Setúbal). Este estudo da geometria da SLD13 visa fundamentar interpretações deposicionais e tectónicas.

MÉTODOS

Para a análise geométrica da SLD13 fez-se: a) pesquisa bibliográfica; b) identificação da base e do topo da unidade, a partir da análise de folhas da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000, nomeadamente 27C, 27D, 28B, 30D, 31A, 31B e 31D; c) produção de mapas em plataforma ArcGIS com marcação das cotas da base e topo; d) produção de mapas com curvas de contorno estrutural; e) interpretação da geometria da superfície da base.

RESULTADOS

Nos sectores Vila Nova da Barquinha - Entroncamento e Alcochete - Vila Franca de Xira, a base da SLD13 tem geometria apresentando vales largos correspondentes ao Tejo ancestral e seus tributários. Aqui a largura do Tejo ancestral era cerca de cinco a seis vezes maior que a da actual planície aluvial. Os eixos dos paleovales coincidem, aproximadamente, com os vales encaixados dos cursos de água actuais. As curvas de contorno estrutural apresentam-se a altitudes entre 125 m (margens do grande paleovale) e 50 m (depressão associada ao principal eixo de drenagem). O vale do Tejo é assimétrico, pois a evolução durante a fase de encaixe fluvial tem promovido a deslocação do eixo da drenagem para oeste. Para jusante do alinhamento tectónico (NNW-SSE) de Vila Franca de Xira – Palmela (falhas de Vila Franca de Xira e falha de Pinhal Novo), isto é, de Alcochete - Vila Franca de Xira ao litoral, o paleovale torna-se muito largo e o principal eixo de paleodrenagem fica orientado pelo Barreiro à Lagoa de Albufeira. Em grande parte do sector do Barreiro, as curvas estruturais da base da SLD13 possuem altitude negativa e a superfície do topo está a cerca de 10 m de altitude. Na Península de Setúbal, as curvas de contorno estrutural da base apresentam-se a altitudes entre os 250 m (margens do grande paleovale, nomeadamente os relevos da Arrábida e os relevos de Lisboa) e os 25 m de altitude (depressão associada ao principal eixo de drenagem); ao longo do eixo, a superfície do topo decresce em direcção ao litoral, desde ca. 75 a 52 m de altitude; a espessura atinge ca. 130 m (sondagem de Belverde). Do Castelo de Sesimbra ao Cabo Espichel existe uma superfície de abrasão marinha, dos 220 a 140 m asl.

DISCUSSÃO

Abacia de drenagem atlântica do rio Tejo ancestral formou-se num contexto de clima quente e húmido. Com persistente e elevado caudal líquido e sedimentar e em contexto de alto nível do mar (ca. +40 m), desenvolveu-se uma enorme planície aluvial, entrançada e areno-cascalhenta, abastecida lateralmente por leques aluviais e rios tributários cascalhentos. Em vários locais evidencia-se o desnivelamento da SLD13 por falhas. Para jusante de Alcochete - Vila Franca de Xira, o vale era largo e foi sede de sedimentação arenosa em delta dominado pela descarga fluvial. Tal como na actualidade, o sector imediatamente a jusante do eixo tectónico de Vila Franca de Xira - Palmela (NNW-SSE) era subsidente (Mar da Palha). A principal drenagem do Tejo ancestral era pelo centro do sinclinal da Península de Setúbal, com deformação sin-sedimentar por contínua compressão NW-SE, mas a rápida erosão remontante de um curso de água atlântico originou a desembocadura pelo “gargalo do Tejo”. O “gargalo” é ulterior à superfície de erosão das colinas de Almada/Amoreiras/Graça/aeroporto, a uma altitude de 100-110 m; esta superfície de erosão trunca a SLD13 no sector N da P. Setúbal.

A diferença de altitude entre o topo da SLD13 e o actual leito do Tejo permite calcular a taxa de incisão de longo-termo para os últimos ca. 1,8 Ma. O cálculo desta taxa de incisão para diferentes sectores do Baixo Tejo permite interpretar soerguimento diferencial.

CONCLUSÃO

A geometria da SLD13 define amplos paleovales correspondentes à fase inicial dos cursos de água actuais, numa agração generalizada em relação com um nível do mar a ca. +40 m, anteriormente à etapa de encaixe fluvial. A geometria da base é compatível com sedimentação fluvial (ampla planície aluvial areno-cascalhenta) e deltaica (delta dominado pela descarga fluvial). Detectou-se tectónica sin-sedimentar e também ulterior à SLD13. O Tejo ancestral tinha o principal eixo de drenagem dirigido à actual Lagoa de Albufeira, sendo o percurso pelo “gargalo do Tejo” ulterior e promovido pela rápida erosão remontante de um curso de água costeiro em contexto de baixo nível do mar durante o Plistocénico médio e final.

REFERÊNCIAS

Pais, J., Cunha, P.P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., Brum da Silveira, A., Kullberg, J.C., González-Delgado, J.A., 2012. The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal). A Cenozoic record in the European Atlantic domain. Springer, 158 p.



Sistemas marinhos

Sistemas marinos

GEOMORPHOLOGY AND EVOLUTIVE PROCESSES OF THE ALGECIRAS SUBMARINE CANYON

J.T. Vázquez¹; D. Casas²; D. Palomino¹; L.M. Fernández-Salas³; O. Tello⁴; M. Farran⁵; N. López-González¹; M.P. Mata²; J. Nespereira⁶; E. Moya⁷; J. Urra¹; B. Alonso⁵; G. Ercilla⁵

¹ Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Málaga, Puerto Pesquero S/N, 29640 Fuengirola, Málaga (Spain).

juantomas.vazquez@ma.ieo.es, desiree.palomino@ma.ieo.es, nieves.lopez@ma.ieo.es, javier.urrea@ma.ieo.es

² Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid (Spain). d.casas@igme.es, p.mata@igme.es

³ Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Cádiz, Muelle Pesquero S/N, 11640 Cádiz (Spain). luismi.fernandez@cd.ieo.es

⁴ Instituto Español de Oceanografía, Sede Central de Madrid. C/ Corazón de María 8, 28002, Madrid (Spain). olvido.tello@ieo.es

⁵ Institut de Ciències del Mar, ICM-CSIC, Grupo Márgenes Continentales, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona (Spain). mfarran@icm.csic.es, belen@icm.csic.es, gemma@icm.csic.es

⁶ Escuela Politécnica Superior de Zamora, Universidad de Salamanca. Campus Viriato, 49022 Zamora (Spain). inj@usal.es

⁷ Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos s/n, 29071 Málaga (Spain). emoyaurbano@gmail.com

ABSTRACT

Multibeam bathymetry and high-resolution seismic data obtained during the RIGEL1116 oceanographic survey, have allowed to study the morphology of the Algeciras submarine canyon (NE Strait of Gibraltar). Three sectors (headwall, middle and distal) have been defined by dominant processes responsible for their formation and evolution. In the headwall sector, the general presence of scars around the canyon head and along its steep wall are covered in the seafloor by sediments reworked and redistributed by contouritic processes. Erosive processes are dominant in the middle sector especially in the incisive gullies (eastern flank) and crescent-shaped bedforms along the distal sector (thalweg and E wall) indicating sediment reworking caused probably by the interaction of the Mediterranean water mass.

RESUMO

A batimetria multifeixe e os dados de sísmica com alta resolução adquiridos na expedição oceanográfica RIGEL1116, permitem o estudo da morfologia submarina do Canhão de Algeciras (NE do Estreito de Gibraltar). Foram definidos três setores (proximal, médio e distal) com base nos processos dominantes da sua formação e evolução. Há uma presença geral de cicatrizes erosivas em volta da cabeceira e ao longo da parede lateral do canhão, mas os processos contouríticos retrabalham e redistribuem os sedimentos nesta área. Os processos erosivos são dominantes no setor mediano, especialmente nas ravinas incisivas (flanco leste) enquanto que formas crescentes de acamadamento ao longo do setor distal (talvegue e E muro) indicam retrabalhamento dos sedimentos, provavelmente causado pela interação da Massa de Água Mediterrânea.

INTRODUCTION

In November 2016, the RIGEL1116 survey was carried out along the Algeciras Canyon located in the axis of the Algeciras Bay on board the R/V Angeles Alvariño (IEO). Due to the winding track of the canyon and its close distance (< 1 km) to the coast (Vázquez et al., 2014), the canyon dynamics could be considered as a threat for the high socioeconomic activity in this bay. The water masses dynamics has been analyzed by Sammartino et al. (2014) which propose a reverse model of tidal inflow and outflow of the Atlantic Jet and the Mediterranean Water Mass controlled by internal waves occurring in their interfaces. The main aim of this contribution is to characterise the geomorphology of this canyon using the new data available.

METHODS

Full coverage multibeam bathymetric data have been acquired with an EM710 echosounder, processed with CARIS Hips & ships software, obtaining a 6x6 m resolution mosaic. Additionally, a network of high-resolution parametric profiles (HRPP) was acquired with TOPAS PS 18. Bathymetric data were implemented in an ArcGIS project and parametric profiles into an IHS kingdom project for their interpretation.

RESULTS

The canyon head is located at 60-80 m below sea level (mbsl) and at a distance of 0.7 to 0.9 km from the shore, off the Palmones and Guadarranque rivers mouths. It reaches a length of 19 km and its width ranges from 1.2 to 3.6 km. The relief (margins–thalweg) varies between 90 and 560 m.

The canyon pathway has a main NNW-SSE trend, a sinuosity index of 1.15, and a winding course that outflow to the northeastern part of the Strait of Gibraltar at ~850 mbsl. The canyon has three sectors (headwall, middle and distal) defined by the segmented character of the middle course sector. This sector has larger N-S to NNE-SSW oriented segments and shorter sections controlled by WNW-ESE trending structures.

The **Headwall sector** (60-390 mbsl) has a sharp rim located at 60-80 mbsl, being in the western part shallower and sharper, additionally concentric erosive features are located at 55 mbsl and 0.45-0.6 km from the shore. The steep scarps have slope gradients exceeding 10° , while a smoother seafloor ($\sim 5^\circ$) reaches down to ~390 mbsl. This sector has an asymmetric transversal profile, the thalweg is located close to the W margin and towards the E margin the seafloor seems to be slightly draped by small contouritic drifts and associated moat, between 140 and 300 mbsl. Bottom current processes also generate a small mounded and separated contourite drift in the SE part of the sector. The architecture of these drifts is constituted in HRPP by aggradational layered deposits separated by erosive surfaces. The **Middle sector** (390-550 mbsl) is defined by a sharp meander at 390 mbsl and a structural forced bend at 550 mbsl. The upper part of this sector is defined by a gentler canyon axis (1.7°) and walls with an irregular morphology where the pattern of differential eroded layered-folded outcropping strata can be followed. Contrasting, in the lower part the W wall is mainly defined by arcuate scars of lengths ≤ 400 m and the E wall by pervasive V-shaped gullies that run from the canyon rim down to the thalweg. These gullies have lengths of 1-3 km and are separated by thin sediment ridges (< 80 m wide). A gully has a dendritic net connected upslope to an amphitheatre-like smooth embayment. The **Distal sector** (550-890 mbsl) is characterized by a thalweg with an initial slope gradient up to of 6.6° that decreases gradually to $< 2^\circ$ at 800 mbsl. The thalweg has an U-section and its walls appear to be rectilinear scarps with a relief of up to 200 m and high slope gradients ($25-40^\circ$). Many crescent-shaped bedforms are present along the thalweg.

DISCUSSION

The three defined morphological sectors of the Algeciras Canyon reflect a different sedimentary dynamics along the course. The headwall is characterized by erosive processes while the canyon floor and eastern flank are affected by bottom currents dynamics that rework and redistribute the sediments. Erosive processes dominate along the middle sector, which are marked by strata outcrops of the Campo de Gibraltar flysch units. Gullies incisions increase towards the down-canyon in both flanks, especially in the eastern one, which seem to control the processes of channeling. Finally, in the distal sector, confined gravitational processes related to the gullies dynamics predominate, although the numerous crescent-shaped bedforms spread along the thalweg indicate sediment reworking probably caused by the interaction of the Mediterranean Water Mass moving along the canyon (Sammartino et al., 2014).

CONCLUSION

The Algeciras submarine canyon has a complex geomorphology. Its course, especially the middle and lower sector, is controlled by WNW-ESE structures related to the Campo de Gibraltar flysch units and N-S to NNE-SSW faults. In addition, its morphological characterization (both thalweg and walls) allowed defining three sectors (headwall, middle course and distal sectors) where the different dominant sedimentary processes reflect the recent sedimentary dynamics along the system.

REFERENCES

- Sammartino, S., García Lafuente, J., Sánchez-Garrido, J.C., de los Santos, F.J., Álvarez Fanjul, E., Naranjo, C., Bruno, M., Calero, C., 2014. A numerical model analysis of the tidal flows in the Bay of Algeciras, Strait of Gibraltar. *Continental Shelf Research* 72: 34–46.
- Vázquez J.T., Ercilla G., Alonso B., Juan C., Rueda J.L., Palomino D., Fernandez-Salas L.M., Barcenas P., Casas D., Díaz-del-Río V., Estrada F., Farran M., García M., Gonzalez E., López-Gonzalez, N., El Moumni B., Contouriber, Montera, Mower Teams, 2015. Submarine Canyons and related features in the Alboran Sea: continental margins and major isolated reliefs. In CIESM Monograph 47, Briand, F., ed. Submarine canyon dynamics in the Mediterranean and tributary seas - An integrated geological, oceanographic and biological perspective, 232 p. CIESM Publisher, Monaco, pp. 183-196.

THE RECORD OF A HIGH-ENERGY EVENT IN A MUD ENTRAPMENT ON THE INNER SHELF OFF THE GUADIANA RIVER

I. Mendes¹; F.J. Lobo²; J. Schönfeld³; S.L. Lebreiro⁴; T. Hanebuth⁵; H. Lantzsch⁶; M.I. Reguera⁴; L. Antón⁴; Ó Ferreira¹

¹ Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Universidade do Algarve. imendes@ualg.pt

² Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Universidad de Granada). pacolobo@iact.ugr-csic.es

³ GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel. jschoenfeld@geomar.de

⁴ Instituto Geológico y Minero de España (IGME). susana.lebreiro@igme.es, mi.reguera@igme.es

⁵ School of Coastal and Marine Systems Sciences, Coastal Carolina University. thanebuth@coastal.edu

⁶ Department of Geosciences, University of Bremen. lantzsch@uni-bremen.de

ABSTRACT

Recent environmental changes associated with high-energy events and human impacts were investigated in a mud entrapment confined in the paleo-Guadiana incised valley. Those changes were recorded in a gravity core during the last 2500 years. An erosional event seems to have occurred at ca. 500 cal yr BP but it is not clear how much sediment was removed. This event was followed by an increase in river discharges until ca. 465 cal yr BP while the benthic foraminiferal faunas were dominated by species associated with shallow-water sandy sediments. Upward, sedimentological and benthic foraminiferal variations indicated environmental changes, promoted by variable sediment supplies to the shelf.

RESUMO

As mudanças ambientais recentes associadas a eventos de alta energia e impactos antrópicos foram investigadas numa área de deposição sedimentar recente, confinada pelo preenchimento do paleovale do Guadiana. Estas mudanças foram registadas durante os últimos 2500 anos. Um evento erosivo terá ocorrido ca. 500 cal anos BP, mas não é clara a quantidade de sedimento removida. Este evento foi seguido por um aumento das descargas do rio até ca. 465 cal anos BP e por um domínio de espécies que ocorrem associadas a sedimentos arenosos a pouca profundidade. Nas últimas quatro décadas, as variações sedimentológicas e das faunas de foraminíferos bentónicos indicam a ocorrência de alterações ambientais, promovidas por períodos de fornecimento sedimentar variável para a plataforma.

INTRODUCTION

Mud depocenters can be used as high-resolution archives, since they sensitively record environmental changes occurred during their formation. On the inner shelf off the Guadiana River, northern Gulf of Cádiz, the recent deposition is mainly driven by river discharges, with high sedimentation accumulation rates and consequently detailed temporal resolution. The purpose of this study is to unravel environmental changes recorded in a mud entrapment whose development is apparently linked by the previous local physiography dictated by the paleo-Guadiana incised valley. The distinct evolutionary phases observed within the depocenter are discussed in the context of high-energy events, including river discharges variability, and human impacts in the Guadiana River basin during the last 2500 years.

METHODS

A gravity core GeoB19522 was recovered in March 2015, during the RV Poseidon cruise POS482 CADISED, in a mud entrapment constituting the most recent Guadiana paleovalley infilling, at 14 m water depth. In this core, twenty seven samples were analyzed for grain size and benthic foraminiferal assemblages; the chronology was based on six radiocarbon datings.

RESULTS

The radiocarbon date obtained at the base of the analyzed core (228.5 cm) indicates a median probability calibrated age of 2516 cal yr BP (566 BC) (Figure 1). Low sedimentation rates were observed from the core base to ca. 508 cal yr BP (185.5 cm) with values ranging from 25 to 20 cm/ka. The highest sedimentation rates, with values ranging from 227 to 918 cm/ka, were observed above 185.5 cm, during the last ca. 508 cal yr BP (1442 AD) (Figure 1). The silt and clay fractions are generally most abundant along the core (together 38-99.8%) with two exceptions, near the core base and from 186 to 177 cm where the gravel and sand fractions exhibit higher proportions (0.2-62%)

(Figure 1). The benthic foraminiferal abundances varied between 9 and 1095 specimens per gram of sediment. The maximum value was obtained at 161 cm core depth, where the species richness was also higher (96 species). According to their relative abundances, benthic foraminiferal species were grouped in three clusters (Figure 1).

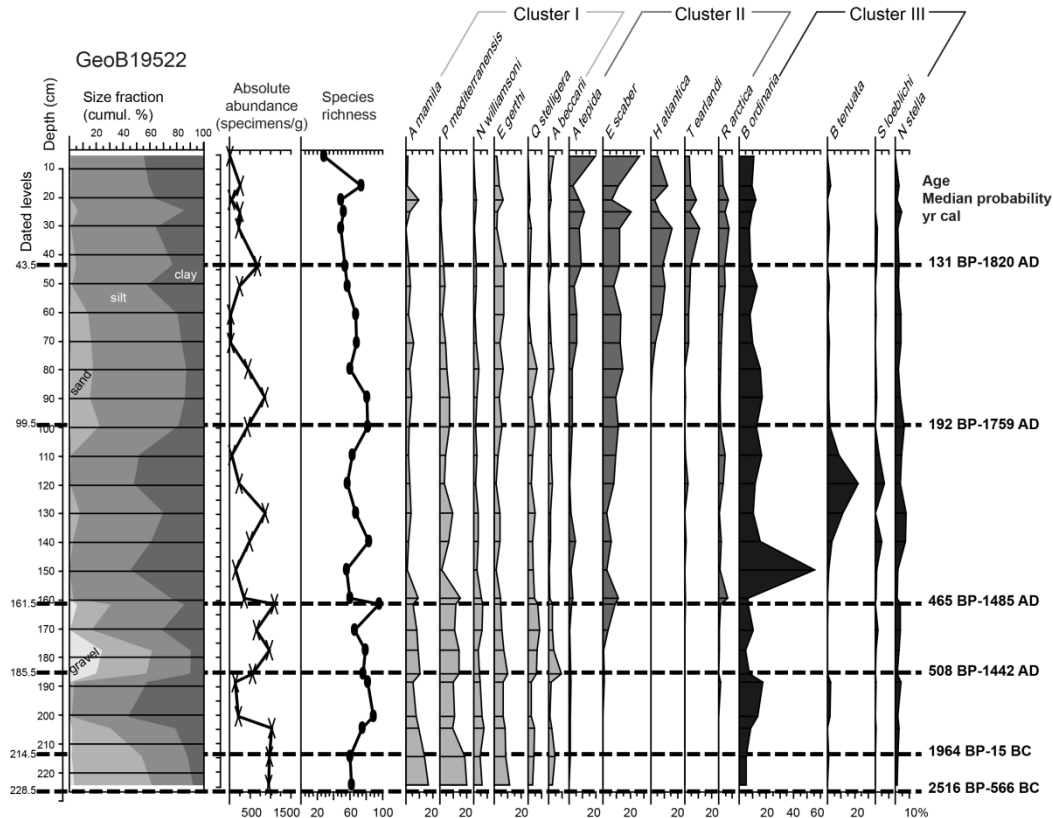


Figure 1. Variation of cumulative grain size fraction, benthic foraminiferal absolute abundance, species richness and relative abundance of most abundant benthic foraminiferal species with depth, for core GeoB19522. Results obtained by R-mode cluster analyses (Cluster I to III) are represented. Dashed lines indicate radiocarbon dated levels.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Several environmental changes were recorded during the last 2500 years in a mud entrapment constituting the most recent infilling phase of the Guadiana paleovalley. Low sedimentation rates recorded in the lower part of the core could be interpreted as the result of low sediment inputs to the shelf and/or the prevalence of erosional processes in this area. This period seems to culminate with the deposition of a coarse-grained layer possibly related with a high energy event recorded from ca. 508 to 465 cal yr BP (Figure 1). The transient increase of the gravel and sand fractions, normally associated with higher river discharges (e.g. Mendes et al., 2012a), the increase of benthic foraminiferal abundance and the number of species, suggest that a new environment with different substrate properties, which enabled the coexistence of more specimens and species in the same habitat was established. This environment was dominated by species from cluster I (Figure 1), normally associated with sandy sediments at shallow depths (Mendes et al., 2012b). In the last ca. 465 cal yr BP, sedimentological and benthic foraminiferal variations indicated subsequent environmental changes, promoted by alternating periods of increased/decreased sediment supply to the shelf.

REFERENCES

- Mendes, I., Dias, J.A., Schönfeld, J., Ferreira, Ó., Rosa, F., Gonzalez, R., Lobo, J.F. 2012a. Natural and human-induced Holocene paleoenvironmental changes, on the Guadiana shelf (northern Gulf of Cadiz). *The Holocene* 22: 1011-1024.
- Mendes, I., Dias, J.A., Schönfeld, J., Ferreira, Ó., 2012b. Distribution of living benthic foraminifera on the Northern Gulf of Cadiz continental shelf. *Journal of Foraminiferal Research* 42: 18-38.

O EFEITO DE RESERVATÓRIO OCEÂNICO PARA A COSTA ATLÂNTICA DA PENÍNSULA IBÉRICA. INFERÊNCIAS PALEO-OCEANOGRÁFICAS E CALIBRAÇÃO DE DATAS CONVENCIONAIS DE RADIOCARBONO DE ORGANISMOS MARINHOS

A.M. Monge Soares¹; P.J.C. Portela¹

¹ Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Estrada Nacional 10 (km 139,7), 2695-066 Bobadela, Portugal. amsoares@ctn.tecnico.ulisboa.pt, paulo.portela@ctn.tecnico.ulisboa.pt

ABSTRACT

The research carried out on the variability of the marine radiocarbon reservoir effect (ΔR) in the Atlantic coastal waters off the Iberian Peninsula allowed to verify the occurrence of this variability, not only over time for some of the coastal regions concerned, but also among regions during the Holocene. This study was essentially based on the radiocarbon dating of closely associated coeval samples from different geochemical reservoirs, namely from marine (mollusk shells) and terrestrial (animal bones and / or charcoal) reservoirs. In addition to these pairs of samples, live-collected pre-bomb marine mollusk shells were also radiocarbon dated. Further determinations of radiocarbon content of mollusk shells collected alive between 1986 and 2002 in different locations of the Atlantic coast of the Iberian Peninsula were also made for this research.

The values of ΔR obtained for the different coastal regions are shown in Figure 1. The different values correspond to different oceanographic conditions existing in the regions indicated. In those that are currently characterized by intense seasonal upwelling it has been found that there have been important variations in the values of ΔR during the Holocene, which should be associated with changes in regional oceanographic conditions, namely changes in the intensity of coastal upwelling. This variability in turn suggests the occurrence of changes in the climatic factors that are behind the existing upwelling in the Iberian Atlantic coasts.

Finally, the use of the values determined for ΔR allows greater accuracy and reliability, as well as a greater precision, when calibrating conventional radiocarbon dates obtained from marine organisms collected on the Atlantic coasts of the Iberian Peninsula.

RESUMO

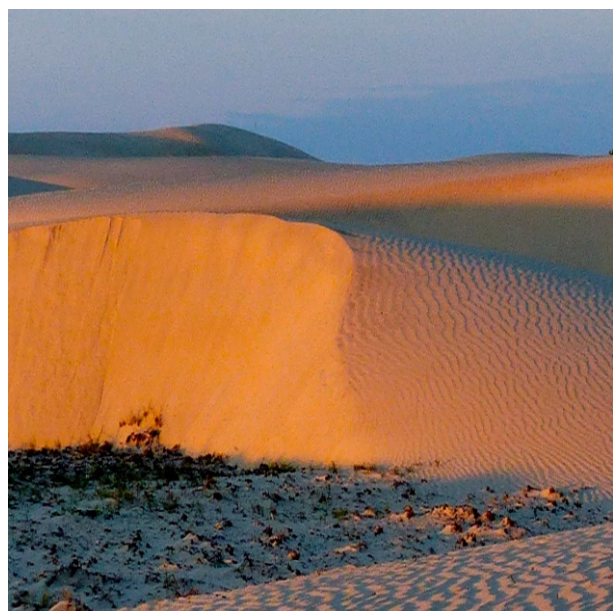
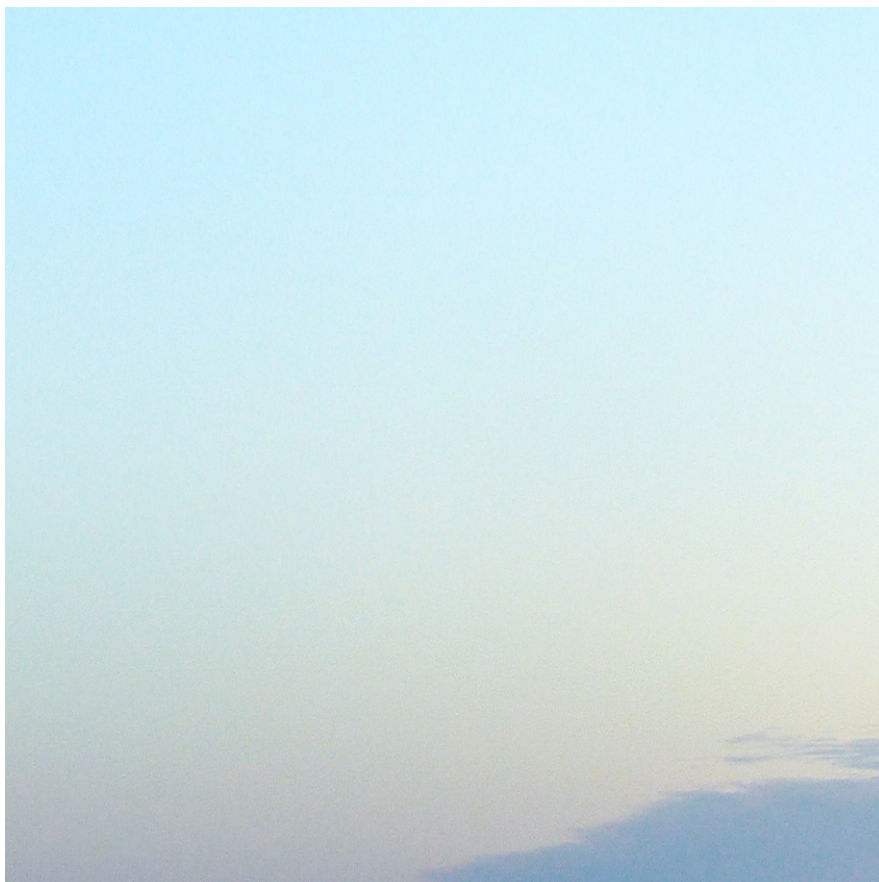
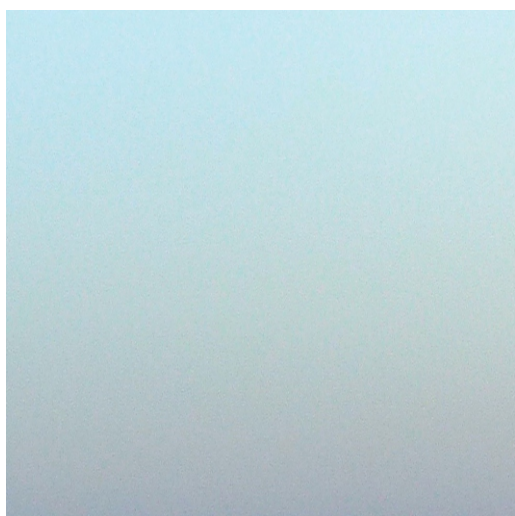
A investigação levada a cabo sobre a variabilidade do efeito de reservatório oceânico relativo ao radiocarbono (ΔR) nas costas atlânticas da Península Ibérica permitiu verificar a ocorrência dessa variabilidade, não só ao longo do tempo para algumas das regiões costeiras em causa, mas também inter-regiões, durante o Holocénico. O estudo baseou-se, essencialmente, na datação pelo radiocarbono de pares de amostras coevas, estreitamente associadas, provenientes de reservatórios geoquímicos diferentes: marinho (conchas de moluscos) e terrestre (ossos de animais e/ou madeira carbonizada). Para além destes pares de amostras, dataram-se conchas marinhas cuja colheita, anterior aos testes nucleares, estava historicamente datada e se conhecia o local onde tinha ocorrido, bem como se determinou o teor em radiocarbono de conchas de moluscos colhidos vivos, entre 1986 e 2002, em diferentes locais da costa atlântica da Península Ibérica.

Os valores de ΔR obtidos para as diferentes regiões costeiras encontram-se indicados na Figure 1. Os diferentes valores correspondem a diferentes condições oceanográficas existentes nas regiões assinaladas. Naquelas que são caracterizadas, actualmente, por um upwelling sazonal intenso verificou-se que, para o Holocénico, ocorreram importantes variações nos valores de ΔR , as quais deverão estar associadas a modificações das condições oceanográficas regionais, designadamente a modificações da intensidade do upwelling costeiro. Essa variabilidade sugere, por seu lado, a ocorrência de modificações nos factores climáticos que estão por detrás do upwelling existente nas costas atlânticas ibéricas.

Por fim, a utilização dos valores determinados para ΔR permite um maior rigor e fiabilidade, além de uma maior precisão, quando se calibram as datas convencionais de radiocarbono obtidas a partir de organismos marinhos colhidos nas costas atlânticas da Península Ibérica.



Figura 1. Valores médios ponderados de ΔR para as costas atlânticas da Península Ibérica durante o Holocénico.
Figure 1. ΔR weighted mean values for the Atlantic coasts of the Iberian Peninsula during the Holocene.



PÓSTERES

POSTERS



Arqueologia e Geoarqueologia

Arqueología y Geoarqueología

A OCUPAÇÃO NEANDERTHAL NO SUL DE PORTUGAL: A GRUTA DA COMPANHEIRA, PORTIMÃO.

N. Bicho¹; J.ascalheira¹; F. Tátá¹; P. Horta¹

¹ ICArEHB – Universidade do Algarve. nbicho@ualg.pt

INTRODUÇÃO

O Sul da Península Ibérica é muitas vezes considerado uma região particularmente importante para o estudo do Paleolítico Médio e da ocupação neanderthal da Europa ocidental. No entanto, ao contrário de outras regiões, o sul do território português é particularmente débil em informação sobre esse período (Bicho, 2004), com raras jazidas conhecidas na região do Algarve e Alentejo (Bicho, 2004b) a maior parte das quais de superfície.

O presente trabalho apresenta os dados preliminares da jazida recém-descoberta da Gruta da Companheira, no estuário do Arade, Portimão, a cerca de 1 km do sítio Moustierense da Gruta de IbnAmmar, Lagoa.

A GRUTA DA COMPANHEIRA

No início de 2016, durante o trabalho de construção da nova ETAR de Portimão, no sítio da Companheira, foi localizada uma nova cavidade com vestígios arqueológicos, pela empresa responsável pelo acompanhamento arqueológico da obra, a *Archaeofactory* liderada por Tiago Fraga. Uma intervenção curta, com recurso a uma sondagem de 1 m² revelou pelo menos dois horizontes arqueológicos com materiais de cronologia do Paleolítico Médio. A gruta é constituída por duas câmaras horizontais pequenas e vários corredores, um dos quais que lhe dá acesso a partir da EN125.



Figura 1. Mapa da localização da Gruta da Companheira.

Durante a sondagem foram recuperadas perto de uma centena de artefactos em pedra lascada e algumas dezenas de ossos e raras conchas marinhas. As matérias-primas presentes na coleção incluem o quartzo, o quartzito e o sílex, bem como o calcário. Os artefactos são claramente moustierienses (Bicho, 2004; Raposo & Cardoso, 1998), com a presença de lascas Levallois e entalhes, e ainda um percutor. Embora não tenham sido encontrados núcleos discoides, a presença e a baixa frequência das lascas Levallois podem ser indicativas de uma ocupação relativamente antiga. A fauna encontra-se em bom estado de preservação, ainda que alguns ossos se encontrem parcialmente cobertos por concreções calcárias, estando presentes o coelho, veado e um outro mamífero de dimensões médias-grandes, talvez auroque ou cavalo.

Não foram, até ao momento, encontrados vestígios de materiais de cronologia mais recente, mas uma vez que as sondagens foram limitadas, é possível que tal não se venha a confirmar no futuro. Por enquanto, temos informações limitadas sobre a ocupação dos Neandertais nesta região, sendo claro que jazidas como as grutas da Companheira e de IbnAmmar podem fornecer dados

fundamentais para o conhecimento sobre o Paleolítico Médio, os Neanderthais, e o processo de transição para a nova linhagem humana que ocupou o território do sul e centro de Portugal a partir de há cerca de 32 mil anos atrás (Bicho et al., 2015).

A Gruta da Companheira faz neste momento parte de um projecto do ICArEHB, “A transição Paleolítico Médio-Superior no Barlavento algarvio”, liderado por dois dos autores (NB e JC), enquadrado legalmente no âmbito dos Projectos de Investigação Plurianual de Arqueologia (Direcção Geral do Património Cultural), prevendo-se o início dos trabalhos no final de 2017.

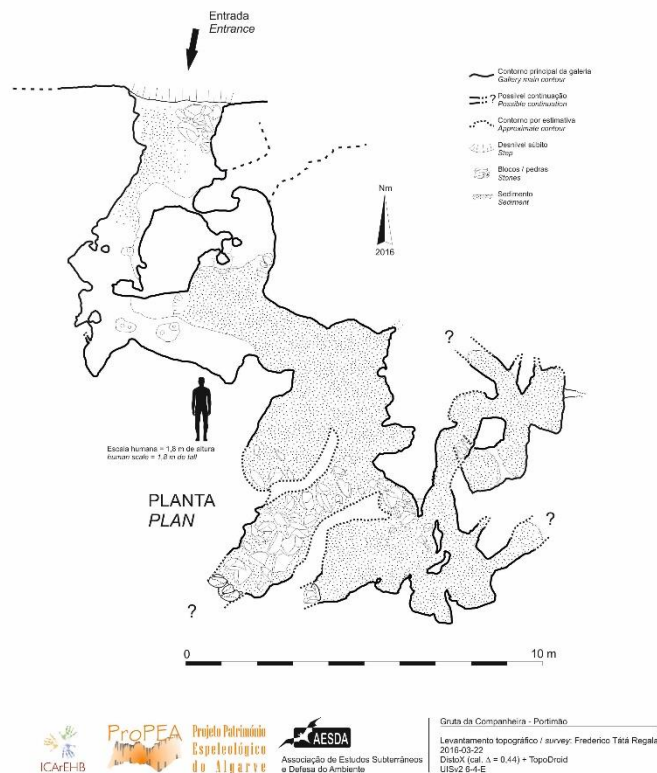


Figura 2. Planta geral da Gruta da Companheira.



Figura 3. Materiais líticos e restos faunísticos da Gruta da Companheira.

REFERÊNCIAS

- Bicho, N., 2004. The Middle Paleolithic Occupation of Southern Portugal. In Settlement Dynamics of the Middle Paleolithic and Middle Stone Age, Volume II, Conard, N., ed. Tübingen: KernsVerlag, pp. 513-531.
- Bicho, N., 2004b. As comunidades humanas de caçadores-recolectores do Algarve Ocidental Perspetiva ecológica. In: Tavares, A.A., Tavares, M.J.F., Cardoso, L. Evolução geológica do litoral português e fenómenos correlativos. FCT: Fundação para a Ciência e Tecnologia e União Europeia (FSE/FEDER), pp. 359-396.
- Bicho, N., Marreiros, J., Cascalheira, J., Pereira, T., Haws, J., 2015. Bayesian modeling and the chronology of the Portuguese Gravettian. *Quaternary International* 359–360: 499-509.
- Raposo, L., Cardoso, J., 1998. Las industrias líticas de la Gruta Nova de Columbeira (Bombarral, Portugal) en el contexto del Musteriense final de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 55, n.º1, 1998, pp. 39-62.

COMPANHEIROS NA VIDA E NA MORTE: OS MAMÍFEROS EM CONTEXTO FUNERÁRIO E NÃO FUNERÁRIODA IDADE DO BRONZE DO BAIXO ALENTEJO (PORTUGAL)

M. Senra¹; C. Costa²; A.M.S. Bettencourt³

¹ Mestranda de Arqueologia da Universidade do Minho, Instituto de Ciências Sociais, Braga. martaccsenra@gmail.com

² ICArEHB – Universidade do Algarve, Faro.

³ Laboratório de Paisagens, Património e Território – Lab2PT, Departamento de História da Universidade do Minho, Braga.

ABSTRACT

On this presentation, we purpose to compare the occurrence of mammals within the funerary and non-funerary practices on negative structures of the Iron Age (second millennium BC) on the Lower Alentejo (e.g., the district of Beja).

The data points out to the association of cattle, sheep/goat, pig/boar, dogs and rabbits on both funerary and non-funerary rituals. This pattern points to the non-existence of a real separation among consumed animals and the ones present on the funerary rituals. Even though, red deer and equids have a different behavior as they only appear on non-funerary contexts pointing to a probable differences on the relationship between these animals and Bronze Age communities.

RESUMO

Nesta apresentação propomo-nos comparar a ocorrência de mamíferos associados aos rituais funerários e não funerários encontrados em estruturas negativas da Idade do Bronze Pleno (2º milénio a.C.) do Baixo Alentejo (i.e., distrito de Beja).

A leitura dos dados aponta para a associação de vacas, ovelhas/cabras, porcos/javalis, cães e coelhos, tanto em contextos funerários como não funerários. Este padrão parece indicar a inexistência de uma separação efetiva entre os animais consumidos e os presentes nos rituais funerários. No entanto, os veados e os equídeos têm um comportamento diferente, pois apenas surgem em contextos não funerários fazendo prever hipotéticas diferenças na inter-relação entre estes animais e as comunidades da Idade do Bronze.

INTRODUÇÃO

A realização deste estudo tem como objetivo comparar a ocorrência de mamíferos encontrados quer em contextos funerários como não funerários da Idade do Bronze Pleno do Baixo Alentejo. As estruturas em negativo, abertas no subsolo, correspondem tanto a fossas de diversas tipologias como a hipogeus, com ou sem enterramentos humanos. Os contextos que contêm deposições humanas são designados como funerários por oposição aos sem deposições ou enterramentos humanos, designados como não funerários (*vide* Tabela 1).

Analisa-se os restos faunísticos provenientes dos sítios arqueológicos de Montinhos 6 (Costa, 2013), Torre Velha 3 (Alves et al., 2010), Alto de Brinches 3 (Delicado et al., 2017), Outeiro Alto 2 (Costa & Cabaço, 2012) e Belmeque (Soares, 1994), localizados em Serpa, e Horta do Jacinto, em Beja (Costa, 2013). Incorporaram-se, ainda, os resultados do estudo dos restos faunísticos provenientes de Torre Velha 12, Serpa.

Tabela 1. Ocorrência de mamíferos na Idade do Bronze do Baixo Alentejo.

Sítio arqueológico	Contexto	<i>Bos taurus</i>	<i>Ovis/ Capra</i>	<i>Sus sp.</i>	<i>O. cuniculus</i>	<i>Cervus elaphus</i>	<i>Equus sp.</i>	<i>Canis familiaris</i> + <i>Canis sp.</i>
Montinhos 6	Funerário	X	X		X			
	Não funerário	X	X	X	X	X		X
Torre Velha 3	Funerário	X	X					
Outeiro Alto 2	Funerário	X	X	X				
Horta do Jacinto	Funerário	X	X	X				X
Alto de Brinches 3	Não funerário		X	X		X	X	
Belmeque	Funerário	X						
Torre Velha 12	Não funerário	X	X	X	X	X		
	Funerário	X						

MÉTODOS

À parte da pesquisa bibliográfica referente aos dados já disponíveis, realizou-se o estudo da coleção faunística proveniente de Torre Velha 12 que permanecia inédita.

A identificação taxonómica e anatómica das espécies foi realizada com recurso à coleção de referência do Laboratório de Arqueociências da Direção Geral do Património Cultural (Moreno-García et al., 2003). Devido à semelhança morfológica de ovelhas e cabras, os espécimes serão designados em conjunto como *Ovis/Capra* (ovelha/cabra). Quanto aos suínos, serão designados apenas ao nível do género *Sus* sp..

RESULTADOS

Os dados disponíveis até ao momento (Figura 1) permitem observar a presença assídua de determinados mamíferos nos dois tipos de estruturas negativas da Idade do Bronze do Sudoeste.

A presença de bovinos (*Bos taurus*), ovinos/caprinos (*Ovis/Capra*), suínos (*Sus* sp.) e canídeos (*Canis familiaris* e *Canis* sp.) reflete-se, tanto em cenários funerários como não funerários e é bastante significativa e assídua na maior parte dos sítios arqueológicos apresentados. Denota-se, contudo, a ocorrência, sempre ocasional, de equídeos (*Equus* sp.) e de veados (*Cervus elaphus*) em contextos não funerários. No caso do coelho (*Oryctagulus cuniculus*), este parece surgir com maior incidência em contextos não funerários, embora esteja presente num contexto funerário identificado em Montinhos 6 (Costa & Baptista, 2014).

DISCUSSÃO

Observa-se que os mamíferos dos contextos funerários também ocorrem nos não funerários. Isto é, bovinos (*Bos taurus*), ovinos/caprinos (*Ovis/Capra*), suínos (*Sus* sp.), cães (*Canis familiaris*) e coelhos (*Oryctagulus cuniculus*) são espécies presentes nos dois tipos de contextos. Os veados (*Cervus elaphus*) e os equídeos (*Equus* sp.) surgem apenas nos contextos não funerários.

Questiona-se se a presença partilhada de vários mamíferos em ambos os contextos não poderá refletir a inexistência de uma clara e nítida separação entre a vida (i.e., os animais ligados ao consumo e às atividades diárias) e a morte (i.e., animais utilizados nos ritos funerários) no âmbito do quotidiano das comunidades da Idade do Bronze do Sudoeste Peninsular. Pode, ainda, questionar-se se a ocorrência ocasional de equídeos (*Equus* sp.) e de veados (*Cervus elaphus*), em contextos não funerários corresponderá a um comportamento associado a ações específicas.

CONCLUSÃO

Embora os dados disponíveis sejam limitados, já se identificam determinados padrões no que concerne à utilização de determinados mamíferos (como vacas, ovelhas/cabras, porcos/javalis, cães e coelhos) no âmbito das práticas vivenciais das populações da Idade do Bronze no Baixo Alentejo que importa continuar a investigar.

REFERÊNCIAS

- Alves C., Costeira, C., Estrela, S., Porfírio, E., Serra, M., Soares, A. M. M., Moreno-García, M., 2010. Hipogeus funerários do Bronze Pleno da Torre Velha 3 (Serpa Portugal). O Sudeste no Sudoeste?!. *Zephyrus* LXVI: 133-153.
- Costa, C., Baptista, 2014. The inclusion of faunal remains in Bronze Age funerary practices in Southern Portugal. Montinhos 6 -a case study, Detry, C., Dias, R., ed. *Proceedings of the First Zooarchaeology Conference in Portugal, Held at the Faculty of Letters, University of Lisbon, 8th-9th March 2012, BAR International Series S2662*: 33-46.
- Costa, C., Cabaço, N., 2012. Associação de restos de animais vertebrados a contextos funerários da pré-história recente: o caso do Outeiro Alto 2. *Apontamentos de Arqueologia e Património* 8: pp. 43-47.
- Delicado, C. S., Santos, A. B., Porfírio, E., Serra, M., Detry, C., 2017. Faunal remains from the Calcolithic and Bronze Age of Alto de Brinches 3 (Serpa, Portugal). Póster apresentado em *Encontro de Zooarqueologia Ibérica e 5ª Reunião Científica de Arqueomalocologia da Península Ibérica*, 26 – 29 de abril. Faro.
- Moreno-García, M., Pimenta, C., Davis, S. J., Gabriel, S., 2003. A osteoteca: uma ferramenta de trabalho. In Mateus, J.E., Moreno-García, M. 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.
- Soares, A.M., 1994. O Bronze do Sudoeste na margem esquerda do Guadiana. As necrópoles do concelho de Serpa. *Actas das V Jornadas da Associação dos Arqueólogos Portugueses* 2, pp. 179-197.

LOS EFECTOS DEL TERREMOTO DE LISBOA DE 1755 EN EL HOSPITAL DE TAVERA, TOLEDO (ESPAÑA)

M.A. Rodríguez-Pascua¹; J. Morín de Pablos²; M.A. Perucha¹; I. Sanchez Ramos³; P.G. Silva ⁴; J.R. González de la Cal⁵

¹ Instituto Geológico y Minero de España, IGME, Madrid, España. ma.rodriguez@igme.es; ma.perucha@igme.es

² Dpto. Arq., Pal. y RR. Culturales de AUDEMA. Madrid (Spain). jmorin@audema.com

³ Dpto. de Prehistoria y Arqueología. Fac. de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid, España. isabelm.sanchez@uam.es

⁴ Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior, Avila, España. pgsilva@usal.es

⁵ Escuela de Arquitectura de Toledo. Univ. Castilla-La Mancha. Toledo. España. info@paz-cal.com

ABSTRACT

The 1755 Lisbon Earthquake was the most destructive earthquake in the Europe history. This earthquake affected the entire Iberian Peninsula. The intensity of this earthquake was X (EMS-1998) and damaged the historical heritage of Spain. No damages were reported in historical documents inside of Toledo, but the Hospital of Tavera is located outside of the defensive wall of this city. The damages in this building are classified in this paper using the classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE), in order to study the strain structures and the seismic wave orientation.

RESUMEN

El terremoto de Lisboa de 1755 fue el más destructivo de la historia de Europa. Este terremoto afectó a la Península Ibérica en su totalidad. La intensidad máxima de este terremoto fue X (EMS-1998) y afectó seriamente al patrimonio cultural español. En la ciudad de Toledo fueron reportados daños en documentos históricos dentro de la ciudad, pero el Hospital de Tavera se encuentra fuera de la muralla defensiva de la ciudad. Los daños en este edificio han sido clasificados utilizando el método de Efectos Arqueológicos de Terremotos (EAEs), con objeto de estudiar estas estructuras de deformación y su orientación con respecto a la llegada de las ondas sísmicas.

INTRODUCCIÓN

El terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de 1755 ha sido el mayor terremoto que ha afectado a Europa en tiempos históricos. Este terremoto no solo afectó a la población en un sentido físico, sino que cambió la forma de pensar con respecto al origen de los terremotos y provocó que se cimentasen las bases de la sismología moderna. El terremoto de Lisboa afectó a gran parte de la Península Ibérica y el norte de África, llegándose a sentir en países centro europeos como Alemania (Martínez Solares, 2001). El epicentro del terremoto aún es objeto de debate científico (Gutscher, 2005), aunque la posición aproximada parece claro que está al SW del Cabo de San Vicente, independientemente de la falla exacta que lo generó. La intensidad máxima de este terremoto es X (EMS-1998) (Martínez Solares & Mezcua, 2002) localizándose en el sur de Portugal y entorno de Lisboa, pero con efectos importantes en el resto de la Península Ibérica. Algunos de estos efectos aún son visibles en nuestro patrimonio histórico, como glesias y grandes catedrales. En el caso de la ciudad de Toledo, su patrimonio no sufrió graves daños, al menos en su casco urbano intramuros. Sin embargo, se han podido observar algunas deformaciones en el Hospital de Tavera, edificio del s. XVII construido extramuros de la ciudad. En la encuesta sobre los efectos del terremoto de Lisboa en España encargada por Fernando VI al Gobernador del Consejo Supremo de Castilla, figura una carta enviada por Don Digno Manuel Murgi describiendo los efectos de dicho terremoto en la ciudad de Toledo (Martínez Solares, 2001). Donde dice que: “Y aunque se ha reconocido esta Catedral, y toda la ciudad, por los alarifes, repartida en cuarteles, no se ha advertido lesión en ningún edificio, pues, aunque se ha encontrado algún corto número de

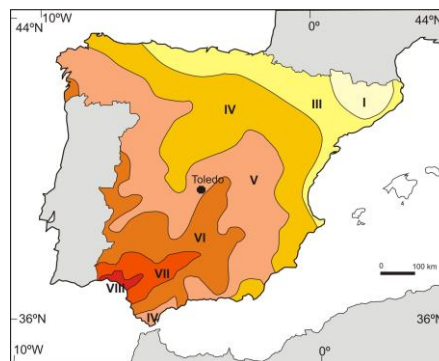


Figura 1. Situación de la ciudad de Toledo sobre el mapa de isosistas del terremoto de Lisboa de 1755 (modificada de Martínez Solares, 2001).

casas que amenazan ruina, se atribuye a lo mal parado de su fábrica, y que en éstas pudo el temblor adelantar su mal estado.”

El sustrato geológico sobre el que se asienta el Hospital de Tavera son arcillas y limos con intercalaciones de arenas de edad miocena. Mientras que la ciudad de Toledo está construida sobre materiales migmatíticos, graníticos y cuarcíticos paleozoicos. Esta diferencia de materiales pudo generar una respuesta distinta al paso de las ondas sísmicas entre la localización de la ciudad de Toledo y el emplazamiento del Hospital de Tavera. La menor consolidación de los materiales cenozoicos de la Vega Baja de Toledo pudo tener un efecto amplificador con respecto a las rocas ígneas y metamórficas de Toledo. En este trabajo, se han aplicado técnicas arqueosismológicas para valorar la posibilidad de que dichos efectos sean consecuencia del terremoto de Lisboa de primero de noviembre de 1755.

METODOLOGÍA

Se ha realizado una toma de datos de las estructuras de deformación en el Hospital de Tavera, para posteriormente realizar una clasificación de los efectos utilizando la metodología propuesta por Rodríguez-Pascua et al. (2011) para la clasificación de Efectos Arqueológicos de Terremotos (*Earthquake Archaeological Effects*, EAEs). Una vez clasificados los EAEs es necesario realizar un análisis de los mismos con objeto de ver si son compatibles con una misma dirección de movimiento medio del sustrato. Para calcular las direcciones de movimiento del sustrato se han utilizado métodos de geología estructural clásica, con objeto de orientar los daños y las deformaciones producidas en el edificio (Giner et al., 2011 & 2012). Esta metodología fue aplicada con éxito durante el terremoto de Lorca de 2011 (Giner et al., 2012; Rodríguez-Pascua et al., 2012), donde se obtuvieron trayectorias de deformación tanto a escala de toda la localidad como a escala de algunas de sus construcciones más emblemáticas como la Colegiata de San Patricio.

RESULTADOS

Las deformaciones que se han podido observar están localizadas en la torre de la linterna de la cúpula del crucero, en el doble patio porticado de dos pisos y en la fachada principal:

- En la *torre del crucero* se han identificado: desplazamientos en bloques de sillería, pliegues, caídas de claves de arco, fracturas penetrativas y reparaciones (jabalcones de acero forjado para sustentar sendas ventanas de las paredes SE y NW).
- En el *doble patio porticado*, tanto en el piso inferior como en el superior, aparecen los siguientes tipos de deformaciones: esquinas fracturadas (esencialmente en los arquivoltas) (Figura 2), pliegues en las balaustradas y desplazamientos en bloques de sillería. En el piso superior son interesantes los refuerzos de acero colocados fundamentalmente en los capiteles y arquivoltas de las balaustradas del segundo piso, en el claustro SW en las columnatas NW y SW. Siendo los refuerzos más sólidos los que protegen las columnas del pasillo NW.
- En la *fachada principal* se han encontrado fundamentalmente claves caídas de arco. La fachada principal fue construida después del terremoto de Lisboa, entre 1760 y 1762, muy posiblemente para recuperar la fachada afectada por el terremoto. Las caídas de claves de arco, son por tanto posteriores, muy posiblemente debidas a errores constructivos.

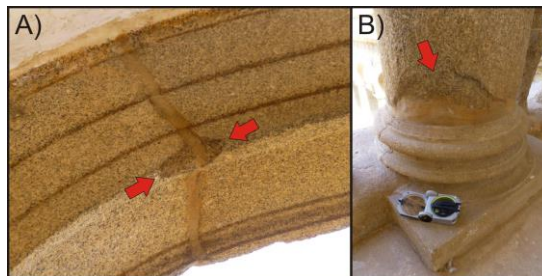


Figura 2. Esquinas fracturadas (*dipping broken corners*) en dovelas y base de columna del claustro SW en el segundo piso.

El eje largo de todo el edificio tiene una orientación N038°E, es decir que se dispone en una dirección que tendería a ser paralela con respecto a la localización epicentral del terremoto de Lisboa, al SW del Cabo de San Vicente.

El mayor número de deformaciones corresponden a esquinas fracturadas en dovelas y arquivoltas (en el piso superior: 22 en las columnatas N038°E y 6 en las N128°E) (en el piso inferior;

18 en las columnatas N038°E y 15 en las N128°E). Por tanto habría un total de 40 esquinas fracturadas en arquivadas situados en pasillos de dirección N038°E y 21 en los pasillos N128°E. Estas fracturas hicieron que los fragmentos de las esquinas se perdiesen y fueron restaurados mediante una argamasa y una pintura en trampantojo que imita el granito que compone los diferentes bloques. Este trampantojo es de una excelente factura, dificultando la observación de este tipo de estructuras.

Los mayores desplazamientos en caídas de claves de arco se dan en las ventanas laterales (muros de dirección N038°E) de la torre del crucero, que son de carácter centimétrico. En el muro NW de la torre se observa una fractura penetrativa que llega a afectar a la zona del arco superior con la consiguiente afección de la clave. En ambos muros las dos ventanas están reforzadas con unos jabalcones de hierro forjado para impedir la caída del arco (Figura 4). No se tienen constancia documental de la instalación de dichos refuerzos.

La base de las dos balastradas SW y SE del piso superior (de dirección N038°E) se encuentran plegadas, siendo los ejes de los pliegues perpendiculares a éstas (Figura 3). La balastrada también está plegada con las mismas orientaciones y además reparada mediante grapas de acero. Estos indicarían una dirección media de movimiento paralela al eje principal del edificio.



Figura 3. Pliegue en la base de la balastrada del claustro SW del segundo piso.



Figura 4. Fractura penetrativa y desplazamiento de bloques de sillería en el muro NW de la torre del crucero. Las caídas de los bloques de sillería del arco de la ventana fueron protegidas por un jabalcón de acero.

Los desplazamientos de bloques de sillería se pueden observar en el segundo piso de los claustros, en las puertas NE, el vector de desplazamiento es N045°E (Figura 5A), siendo paralelas a la dirección del edificio en los bloques del alero exterior (Figura 5B). Estas estructuras se podrían generar por movimientos en la horizontal paralelos a los vectores de desplazamiento, en este caso paralelos a la dirección del edificio.

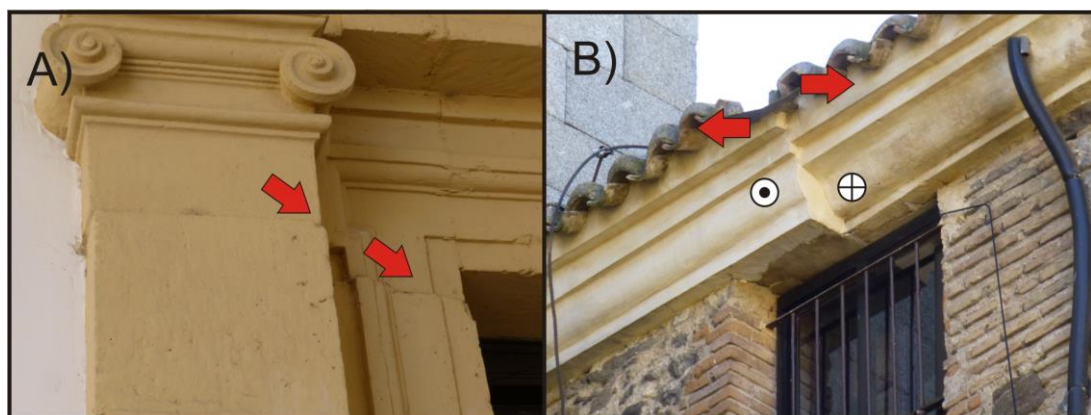


Figura 5. Desplazamiento horizontal de bloques de sillería: A) puertas NE del segundo piso del claustro; B) desplazamiento en el alero del muro exterior de dirección N128°E.

CONCLUSIONES

La mayoría de las deformaciones estudiadas en el Hospital de Tavera (superior al 50%) se ajustan a una dirección media de movimiento del sustrato de dirección N038°E, habiendo una segunda familia peor representada perpendicular a la primera (Figura 6). La orientación de la llegada de la onda del terremoto de Lisboa tendría una orientación NE-SW, llegando desde el SW (Figura 7), siendo por tanto compatible con los efectos orientados según los N038°E, que por tanto podrían ser EAEs asociados a este terremoto. Este sería el primer caso de estudio de efectos del terremoto de Lisboa de 1755 en el patrimonio de la ciudad de Toledo.

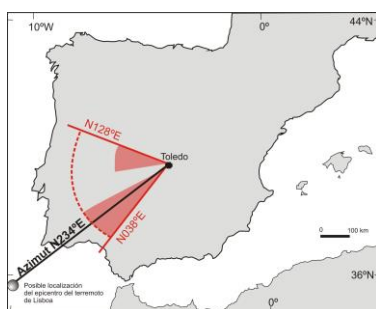


Figura 7. Rosa de direcciones (50% círculo máximo) de los EAEs estudiados en el Hospital de Tavera y localización aproximada del área epicentral del terremoto de Lisboa de 1755.

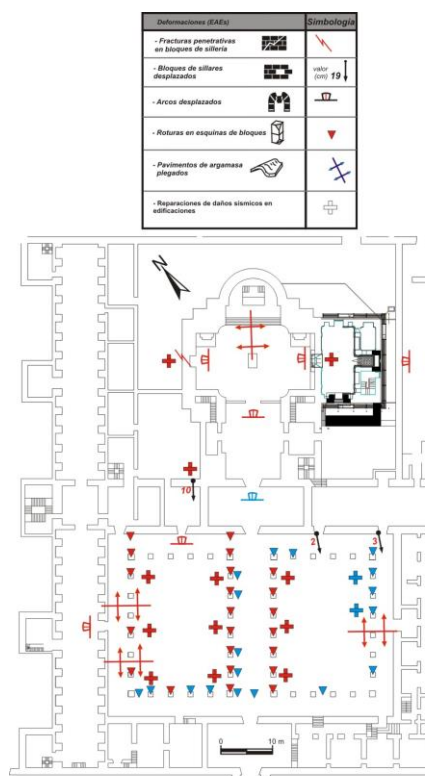


Figura 6. Planta del Hospital de Tavera y EAEs. Los EAEs en azul corresponden a la primera planta y en rojo los de la segunda planta.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los proyectos EGEO (IGME; Ref: 2612), CGL2015-67169-P (USAL), y es una actividad integrada en el grupo de trabajo QTECT-AEQUA.

REFERENCIAS

- Giner-Robles, J.L., Silva Barroso, P.G., Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Bardají Azcárate, T., Garduño-Monroy, V.H., Lario Gómez, J., 2011. Evaluación del daño sísmico en edificios históricos y yacimientos arqueológicos. Aplicación al estudio del riesgo sísmico. Proyecto EDASI. Serie Investigación. Fundación MAPFRE, 96 pp.
- Giner-Robles, J.L., Pérez-López, R., Silva, P.G., Rodríguez-Pascua, M.A., Martín-González, F. y Cabañas, L., 2012. Análisis estructural de daños orientados en el terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011. Aplicaciones en Arqueosismología. *Boletín Geológico y Minero* 123 (4): 503-513.
- Gutscher, M.A., 2005. What Caused the Great Lisbon Earthquake?. *Science* 305: 1247-1248.
- Martínez-Solares, J.M., 2001. Los efectos en España del terremoto de Lisboa. Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento. 756 pp.
- Martínez-Solares, J.M., Mezcuca, J., 2002. Catálogo sísmico de la Península Ibérica (880 a.C.-1900). Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento, 756 pp.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Silva, P.G., Giner-Robles, J.L., Garduño-Monroy, V.H., Reichert, K., 2011. A Comprehensive Classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) for Archaeoseismology. *Quaternary International* 242: 20-30. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.04.044.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Martín-González, F., Giner-Robles, J.L. y Silva, P.G., 2012. Efectos arquitectónicos del terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011. Neoformación y reactivación de efectos en su Patrimonio Cultural. *Boletín Geológico y Minero* 123(4): 487-502.

3D ELECTRICAL IMAGING OF SUBSURFACE SEISMIC DEFORMATIONS AFFECTING THE LATE ROMAN ARCHAEOLOGICAL SITE OF LA MAGDALENA (CENTRAL SPAIN)

P.G. Silva¹; P. Carrasco García²; M.A. Rodríguez-Pascua³; J.L. Giner-Robles⁴; J. Elez¹; E. Roquero⁵; C. Heras⁶; M.A. Perucha³; A.B. Bastida⁶; O. Peña Pérez²

¹Dpto. Geología, Universidad de Salamanca. Ávila – Salamanca, SPAIN. pgsilva@usal.es, j.elez@usal.es

²Dpto. Ingeniería del Terreno, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad Salamanca. Ávila. Spain. retep81@usal.es,

³Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 28003-Madrid. SPAIN. ma.perucha@igme.es, ma.rodriguez@igme.es

⁴Dpto. Geoquímica y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid. SPAIN. jorge.giner@uam.es

⁵Dpto. Edafología, Universidad Politécnica de Madrid. 28040-Madrid. SPAIN. elvira.roquero@upm.es

⁶Trébede, Patrimonio Cultural, S.L. Torres de la Alameda. Madrid. SPAIN. cmheras@trebedecultura.com

ABSTRACT

This work presents the preliminary results of 3D geophysical imaging of subsurface deformations linked to surface coseismic damage recorded in the Late Roman (4th Century AD) la Magdalena archaeological site (Henares Valley, Central Spain). Five Electrical Tomography Resistivity profiles (ERT) displays soft-sediment deformation structures in the clayey Miocene substratum beneath the Holocene floodplain deposits. These appears upwarped and affected by severe liquefaction structures and suspect fractures as a consequence of seismic shaking. Observed deformations can not be only linked to the Late Roman seismic event, but to a complex and longer Holocene seismic history.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados preliminares de la prospección geofísica 3D realizada para detectar las deformaciones sub-superficiales ligadas al conjunto de daños cosísmicos superficiales registrados en materiales romanos del siglo IV AD del yacimiento arqueológico de La Magdalena (Valle del Henares, España Central). Se han realizado cinco perfiles de Tomografía Eléctrica de Resistividades (ERT) que ilustran la existencia de estructuras de deformación plásticas y frágiles en el sustrato arcilloso Mioceno que subyace a los depósitos fluviales holocenos. Estos muestran numerosas estructuras de deformación, abombamiento y fracturación provocadas por importantes procesos de licuefacción. Las deformaciones observadas no pueden ligarse al terremoto tardorromano que afectó a la zona, sino a una historia sísmica holocena de mayor complejidad.

INTRODUCTION

The archaeological site of "La Magdalena" is located in the Henares Valley (Madrid, Central Spain) adjacent to the present town of Alcala de Henares, the old Roman City of "Complutum" (II-IV Century AD). During the middle 4th century AD an earthquake shook the site as evidenced by notable ground disruptions, sand ejections, gravel injections and the generation of metric open craters and groundcracks, disrupting roman industrial buildings and tombs (Rodríguez-Pascua et al., 2016). Several sites along the valley, including the main city of "Complutum", were also abruptly abandoned or relocated during the same period, most of them also displaying apparent earthquake archaeological effects (Rodríguez-Pascua et al., 2015). The studied Late Roman site, as well as most of the other roman sites within the valley, are founded in the northern bank of the present floodplain of the Henares river, about +5-6 m above the present river thalweg. The southern bank of the valley is dominated by high cliffs over 40 m high developed along the main fault of the area (Henares Fault). Preliminary geophysical and geotechnical data indicate that the alluvial plain of this river is about 10 m thick in the zone and made of overlapped sand-gravel channel deposits, topped by clayey-silts floodplain deposits. These materials are mainly Holocene in age, but older fluvial sediments present OSL ages of c. 22 -18 ka BP (i.e. Last Glacial Maximum; Rodríguez-Pascua et al., 2016). Preliminary 2D ERT profiles (Electrical Resistivity Profiles) and associated trench analyses developed by these authors clearly indicated the occurrence of severe subsurface ground deformations of the floodplain deposits linked to the existence of surface deformations (ground cracks, lateral spreading or sand explosion craters) affecting to Late Roman industrial facilities. This papers present the 3D Electrical resistivity analysis of the zone of the archaeological site affected by surface deformations in order to illustrate the relationships between these last with near-surface tectonic structures or deformed levels affecting to the clayey Miocene substratum in the zone.

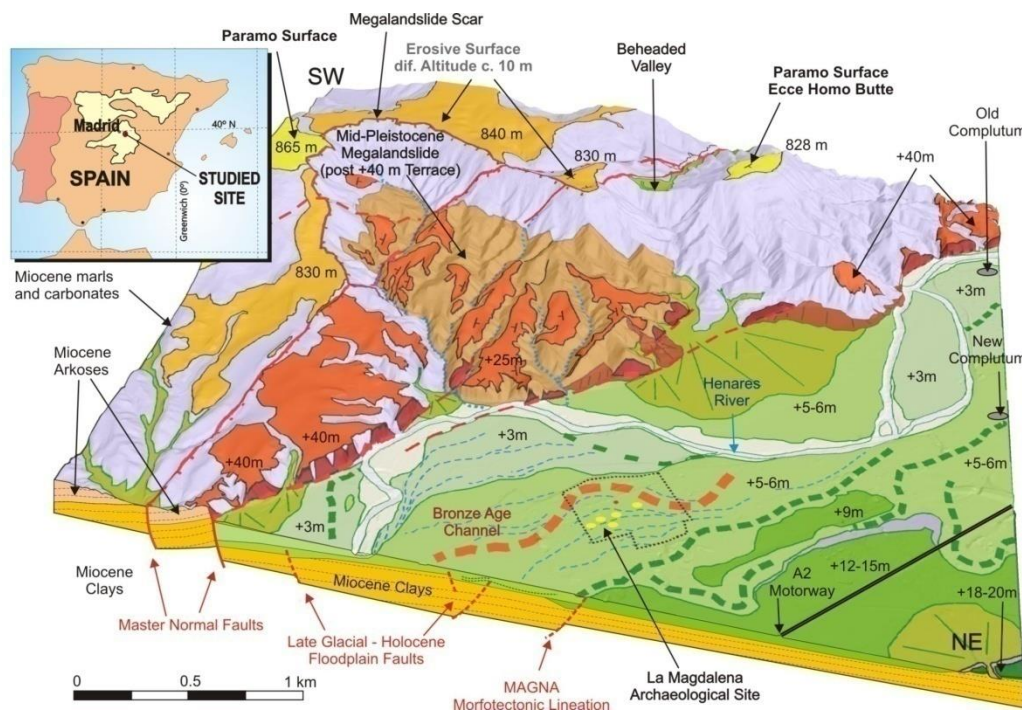


Figura 1. Geographical location of the archaeological Site of La Magdalena and 3D Geomorphological sketch of the Henares valley around the studied archaeological site illustrating the most outstanding fluvial and erosive landforms and tectonic features (modified from Rodríguez-Pascua et al., 2016).

METHODS

A set of five parallel 2D ERT pseudosections (profiles) was implemented for their former implementation in 3D models on the subsurface geology and geometry of the studied archaeological site. The investigated area covered an area of c. 110 x 150 m with an spacing of 22 m between the different performed ERT profiles. These was oriented in a SE-NW direction perpendicular to the present river thalweg. Each profile consisted in a schulmberger array of 49 electrodes with a spacing of 3m (c. 150 m length). Data was obtained by means of a Syscal.Pro multichannel (10 Channels) equipment and processed with specific software for the obtention of 2D and 3D models on the distribution of the apparent electrical resistivity in the subsurface RES2D.inv y RES3D.inv (Loke & Baker, 1996a, 1996b). The subsequent transformation of these resistivity models in the preliminary geological models presented in this work follows the basic interpretation routines developed for this kind of geophysical prospecting (Looke, 2000).

RESULTS AND DISCUSSION

The set of 2D ERT profiles in figure 2 illustrates a well-developed offlapped gravel spit-bar system migrating NW-SE featured by the high-resistivity of the quartzite gravel bars ($> 1000 \Omega/\text{m}$) to the NW and the development of a subsequent sandy fluvial channels to the SE. These last are featured by offlapped bodies of lower resistivity ($< 500 \Omega/\text{m}$). The lower resistivity values at depth ($< 100 \Omega/\text{m}$), with blue colors in figure 2, represent the clayey Miocene substratum. As noted in figure 2 ERT profiles 1 and 4 display the most relevant local deformations with relevant undulations of the contact between the Holocene fluvial deposits and the Miocene clays, otherwise nearly undeformed in the other ERT profiles (Figure 2). Most of the deformations are localized in the center of the ERT1 profile along the contact of gravel bar deposits and the paleochannel CH1, which is upwarped and wrenched. This deformed channel is located just beneath the deformed basilica building and a severely broken cistern by ground-cracks and lateral spreading associated to widespread liquefaction of the fluvial materials described in Rodríguez-Pascua et al. (2016). Similar deformations are noticed in the ERT profiles 2 to 4. In spite of ERT2 and ERT3 do not show notable deformations on the Miocene substratum, overlaying fluvial sediments outline significant deformations suggesting widespread soft-sediment deformations and upwarping between channels CH1 and CH2. ERT4

display again notable deformations linked to the occurrence of sand craters, and near-surface gravel lenses and gravel bubbles (Figure 2).

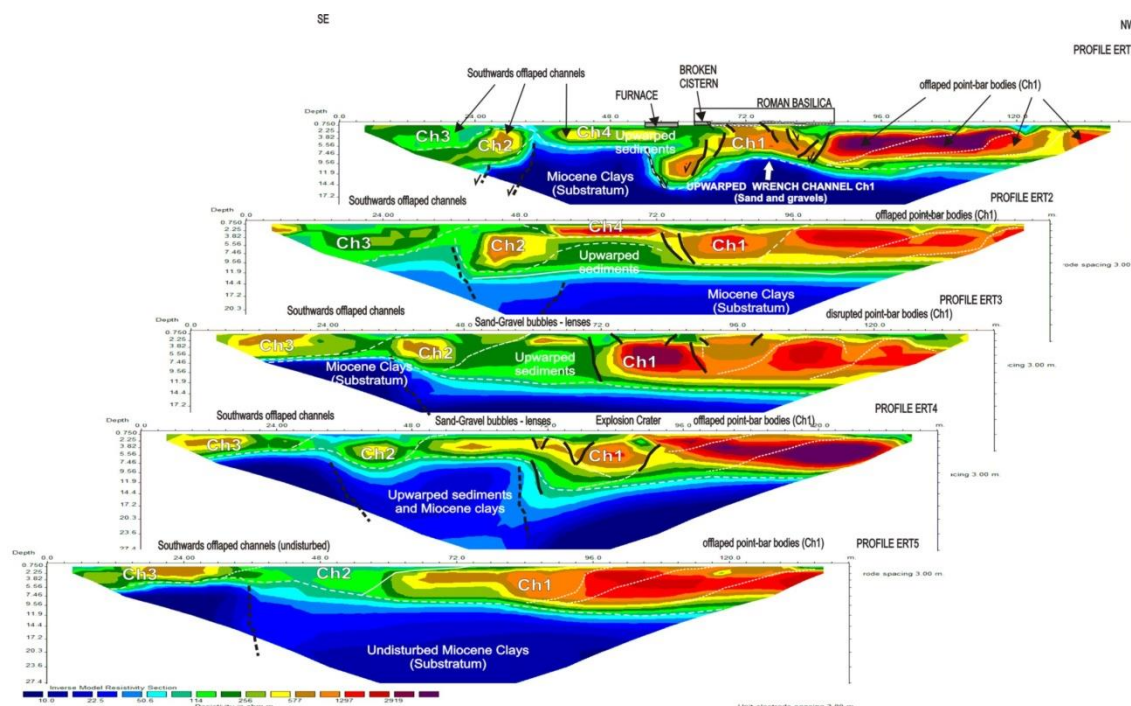


Figura 2. 2D ERT pseudosection (profiles) performed in La Magdalena archaeological site displaying the most outstanding subsurface deformation features. Profiles ERT1 and ERT4 display the most important local deformations linked to surface coseismic deformations. See figure 3 for the location of the profiles.

The preliminary 3D model illustrated in figure 3, shows the geometry of the upwarped area between the paleochannels CH1 and CH2/CH4. Paleochannel CH3 is a younger sandy channel, maybe developed by channel avulsion after the most significant period of deformation of the zone. This zone coincides with the main zone of the Late Roman necropolis in which post-mortem movement of bones reported by Rodríguez-Pascua et al. (2016) occurred. On the contrary, sand and gravel explosion craters, gravel lenses and gravel bubbles reported by these authors took place along the contact between the paleochannel CH1 and the northern point-bar gravel system or directly associated to the contact of offlapped gravel bars (Figure 3). Ejected sand and gravels come from the basal zone of the floodplain deposits as indicated by OSL ages reported by Rodríguez-Pascua et al. (2016).

Whatever the case, the important deformations recorded by the floodplain channels can not be related to the Late Roman Earthquake affecting the archaeological site. The relevant upwarping related to paleochannel CH1, maybe the same that CH2, represent a longer history of deformation throughout the entire Holocene period. The site displays several phases of occupation from the Chalcolithic period (c. 2,500 years BC). The Campanian pottery associated to burials was located in the modern channel CH3 of the zone, suggesting that most of the recorded subsurface deformations were accumulated before c. 2,500 BC. Deformations surface and subsurface deformation structures occurred during the late 4th century AD were important but overprinted on the dominant structure of the zone figured by the elongated upwarped zone (Figure 3).

CONCLUSIONS

Subsurface deformations preliminary described in this work suggest a long Holocene history of soft-sediment deformations of the fluvial deposits in the Henares valley, near the old Roman City of *Complutum* (present Alcalá de Henares). The last earthquake affecting the zone occurred in the Late 4th Century. Radiocarbon dates (Beta Analytics) from disturbed roman burials indicate preliminary dates between cal AD 325 and 400 for the seismic event. 2D and 3D resistivity sections

and models presented here, clearly outline that these last deformations and burial disturbances occurred in an upwarped zone of the alluvial deposits and/or along its northern limb (Figure 3). As reported in previous works (i.e. Rodríguez-Pascua et al., 2016) this last earthquake would have a minimum magnitude of 5.0 Mw, which is the lower empirical limit for seismic liquefaction of sands. However, earthquakes of greater magnitude should occur in the zone before the first calcolithic settlements in the zone around c. 2,500 years BC.

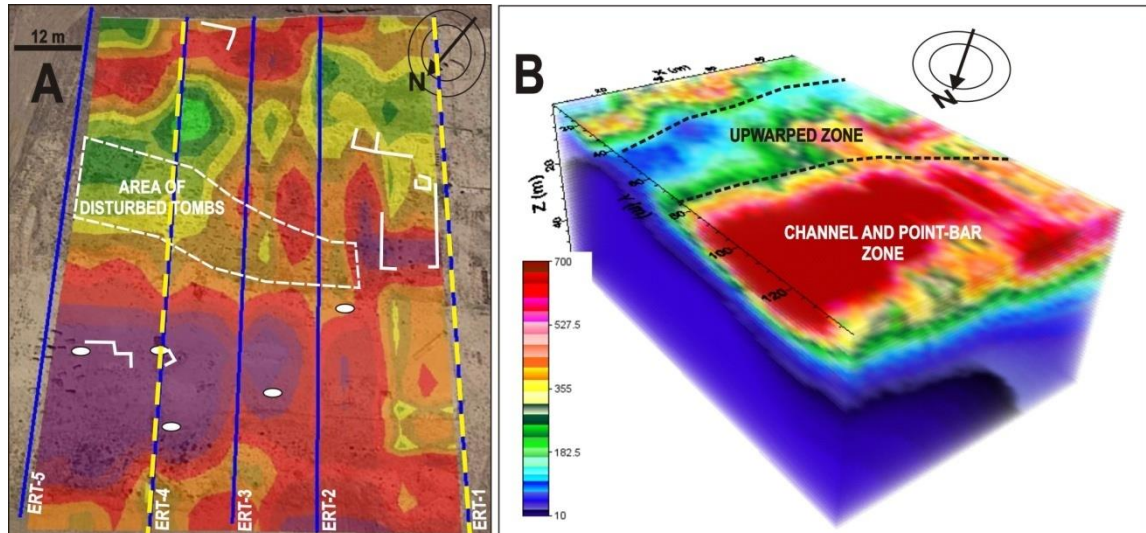


Figura 3. (A) Plan-view of the 2D ERT profiles displaying its location in relation to surface deformed building and cistern foundations (white bold lines), disturbed tombs (dashed white zone) and more relevant sand-explosion craters (white circles); Dashed yellow lines (ERT1 and ERT4) indicate the profiles with more outstanding deformations (see Figure 2). (B) Preliminary interpretation of the resulting 3D modeling of subsurface resistivity distribution.

ACKNOWLEDGEMENTS

Supported by the MINECO-FEDER Spanish research projects CGL2015-67169-P (QTECSPAIN - USAL), CGL2015-69919-R (UAH). This is a contribution of QTECT-AEQUA.

REFERENCES

- Loke, M.H., Barker, R.D., 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting* 44: 131-152.
- Loke, M.H., Barker, R.D., 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical Prospecting* 44: 499-523.
- Loke, M.H., 2000. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: a practical guide to 2-D and 3-D surveys. University of Birmingham.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Heras, C., Bastida, A.B., Giner-Robles, J.L., Silva, P.G., Perucha, M.A., Roquero, E., Carrasco, P., Pérez-López, R., Lario, J., Bardaji, T., 2015. New insights on the occurrence of ancient earthquakes in Central Spain: Archaeoseismology of the Complutum area (4th century AD, Madrid). *Miscellanea INGV* 27, 402-405.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Silva, P.G., Perucha, M.A., Giner-Robles, J.L., Heras, C., Bastida, A.B., Carrasco, P., Roquero, E., Lario, J., Bardaji, T., Pérez-López, R., Elez, J., 2016. Seismically induced liquefaction structures in La Magdalena archaeological site, the 4th century AD Roman Complutum (Madrid, Spain). *Sedimentary Geology* 344: 34-46.

LOS DESLIZAMIENTOS EN LA SERRA DOS ANCARES (NOROESTE PENÍNSULA IBÉRICA): LA HUELLA DEL IMPERIO ROMANO

A.L. Vázquez-Rodríguez¹; X. Pontevedra-Pombal²; M. Valcárcel Díaz¹

¹ Departamento de Xeografía. Universidade de Santiago de Compostela (USC). alexandreluis.vazquez@gmail.com, marcos.valcarcel@usc.es

² Departamento de Edafoloxía. Universidade de Santiago de Compostela (USC). xabier.pombal@usc.es

ABSTRACT

The Ancares Range is a space that has great gradients and it has been affected by processes which happened during the quaternary glacialism, factors that made the presence of landslides through the range possible. To these natural factors must be added the anthropic factor. In the 1st Century BC, the Roman Empire occupies the area and, once settled, the strip mining began, due to the presence of gold ores all over the range. The Roman mining activities involved a series of infrastructures which produced an intense erosion on the ground in a short time, generating a series of mass movements in different points of the area. The objective of this current paper is to establish a typification of the mass movements of the area, determining factors like the volume, the area or the typology, and to connect all of these factors with its different origins, to determine the impact of the natural and anthropic activity on the range and its trace on the current landscape.

Keywords: Ancares Range, Mass movement, Landslides, Classification, Northwest Iberian Peninsula, Roman mining

RESUMEN

La *Serra dos Ancares* es un espacio que presenta pendientes pronunciadas, y que ha sido afectado por los procesos del glaciario cuaternario, factores que hacen posible la presencia de movimientos en masa a lo largo de la sierra. A estos factores naturales, hay que sumar el factor antrópico. En el S.I b. C. el Imperio Romano ocupa el área y, una vez asentado, comienza a explotarla, debido a la presencia de yacimientos de oro en toda la sierra. Las actividades mineras romanas conllevaron una serie de infraestructuras que produjeron una intensa erosión del terreno en un corto intervalo de tiempo, generando una gran serie de movimientos en masa en diferentes puntos del área. El objetivo del presente artículo es establecer una tipificación de los deslizamientos de la zona, determinando factores como su volumen, su área o su tipología y relacionarlos con sus diferentes orígenes, así como determinar el impacto de la actividad natural y de la actividad antrópica en la sierra y su huella en el paisaje actual.

Palabras clave: Serra dos Ancares, Movimientos en masa, Deslizamientos, Clasificación, Noroeste de la Península Ibérica, Minería romana

INTRODUCCIÓN

Los grandes movimientos en masa son comunes en el área de la *Serra dos Ancares* (Noroeste de la Península Ibérica) (Figura 1). En el presente trabajo se han identificado hasta 28 movimientos en masa (Figura 2), algunos ya conocidos (Heraul, 1984; Valcárcel, 1998) y otros muchos no mencionados hasta el momento. En general responden fundamentalmente a tres tipos bien diferenciados: movimientos rotacionales, movimientos traslacionales y flujos (USGS, 2004). Pero la tipología no es el único criterio de clasificación. Por un lado, tenemos movimientos en masa que presentan un aspecto reciente, con cicatrices bien marcadas y formas muy bien definidas y por otro se distinguen aquellos movimientos en los que estas cicatrices están ya desdibujadas o incluso totalmente ocultas tras mantos de debris, generalmente de origen periglacial. Parece claro que estos episodios de desestabilización de las laderas se han dado a lo largo de un lapso de tiempo prolongado que va desde el Pleistoceno tardío hasta épocas recientes, ya que en algunos casos estos debieron ser coetáneos a la presencia de hielo glaciar en el valle. Sin embargo, frecuentemente estos movimientos están asociados a la presencia de infraestructuras hidráulicas. En este sentido la minería romana alto imperial tuvo una extraordinaria importancia en el NW en los siglos I a III de nuestra Era (Pérez García & Sánchez-Palencia, 1985; Luengo et al., 1995; Luengo et al., 2002). La técnica empleada es denominada por Plinio el Viejo como "*ruina montium*" (Sánchez-Palencia et al., 2006), y supone el desplazamiento de ingentes cantidades de material, y la génesis de movimientos en masa de origen antrópico. También la toponimia de la zona evoca esta antigua actividad minera, con términos como "muria", "corona", "agolada" ("*aqua lata*", agua canalizada en latín), etc.

A esto se le debe sumar, que al estar situada en las latitudes medias, Galicia posee interesantes características climáticas al constituir una zona de transición entre diferentes tipos de clima. Su natural carácter oceánico está afectado por el equilibrio invierno–verano de componentes templados y subtropicales; estos últimos responsables de la estacionalidad pluviométrica, más marcada en la parte sur de la región (Martínez Cortizas & Pérez Alberti, 1999). A esta diversidad climática se une un relieve complicado en sus formas y estructuración espacial y el predominio de sustratos litológicos de naturaleza ácida que, en conjunto, originan condiciones ecológicas muy variadas que favorecen el desarrollo de turberas (Figura 2). Estas constituyen un registro de los cambios ambientales, tanto de origen natural como inducidos por la actividad antrópica, y pueden ser utilizadas para afrontar la reconstrucción paleoambiental de por lo menos los últimos dos mil años, incluyendo plenamente el periodo de actividad minera relacionada con el Imperio Romano.



Figura.1 Ubicación de la Serra dos Ancares

MÉTODOS

El presente estudio, deriva en buena parte, de la realización de dos tesis doctorales: una centrada en la evolución geomorfológica (Valcárcel, 1998) y la otra centrada en la reconstrucción paleoambiental a partir del estudio de las turberas (Pontevedra Pombal, 2002). Se dispone de una buena cartografía geomorfológica de base, así como de información paleoambiental de carácter local derivada del estudio de cuatro turberas ubicadas en el área de estudio. Por lo tanto, la parte principal del trabajo de campo se realizó con motivo de estas dos investigaciones y se ha completado recientemente con nuevos reconocimientos sobre el terreno y la utilización de sistemas de información geográfica y herramientas cartográficas de alta resolución.

RESULTADOS

Tras establecer una clasificación de los movimientos en masa localizados en el área de estudio, en función de su origen y de el volumen de material movido (Tabla 1) existe una diferencia entre aquellos que son de origen natural (un total de 8 de 28), que podemos atribuir a causas tectónicas y/o a la desestabilización de las laderas derivada de la descompresión postglaciar, de aquellos otros que presentan una vinculación con la actividad minera romana (un total de 20 de 28).

Los movimientos en masa de origen natural suman un volumen total de 811.630.000 m³ de material desplazado, un 60% del material total desplazado entre los 28 deslizamientos analizados. Estos tienden a ser de mayor tamaño (Tabla 1), aunque este no es un criterio válido para diferenciarlos de los de origen antrópico. Son fenómenos que entran dentro de la dinámica geomorfológica de los espacios de montaña. La presencia de profundas gargantas fluviales derivadas de la evolución geomorfológica, la cual originó la presencia de desniveles muy importantes (hasta 650 m), así como las condiciones estructurales de debilidad parecen ser los factores que favorecieron que sucediesen

estos deslizamientos.

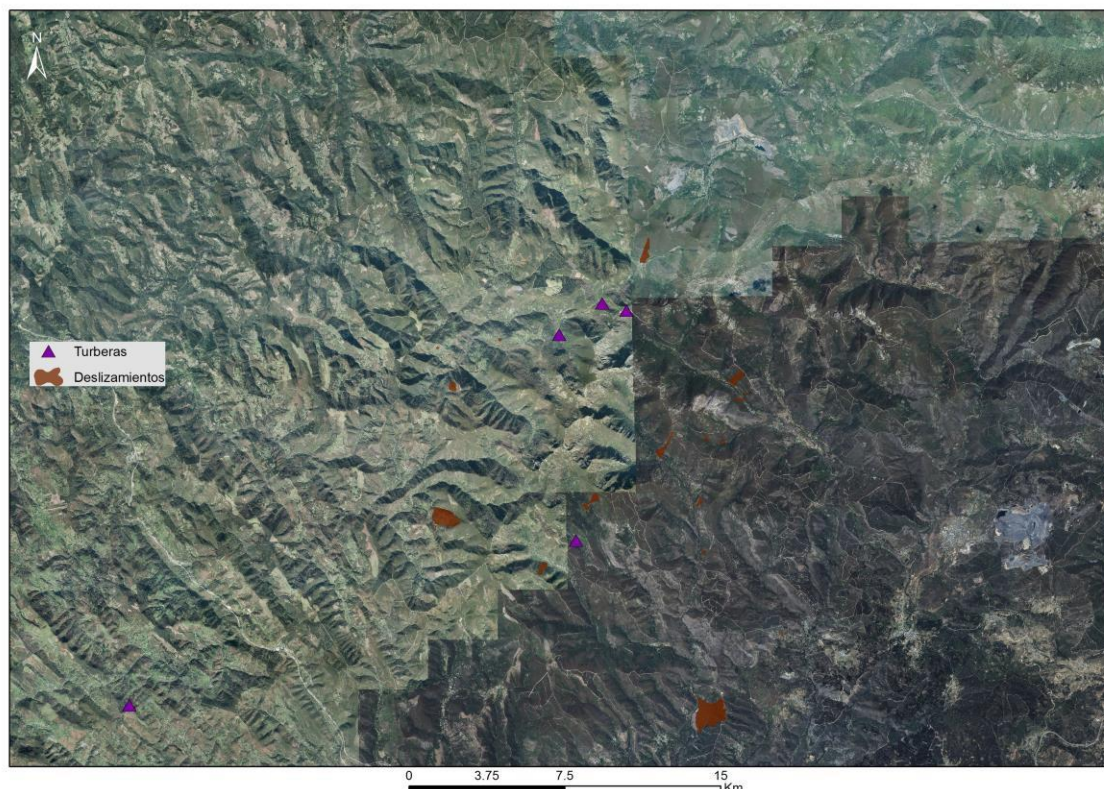


Figura 2. Ubicación de las turberas y de los movimientos en masa más relevantes del área de estudio

Los movimientos de terreno generados por la actividad minera romana representaron una movilización de 535.680.000 m³ de materiales deslizados o movidos, un 40% del total contabilizado (Tabla 1). Esta actividad no solo ha tenido un gran impacto sobre el paisaje de manera directa, sino que necesariamente ha tenido que suponer la movilización de una ingente cantidad de mano de obra, además de otras implicaciones sobre el paisaje, entre ellas una intensa deforestación y erosión. En este sentido existen registros locales que nos pueden hablar de los efectos indirectos de esta actividad, por lo menos a escala de la cordillera. Este registro se encuentra almacenado en las turberas que se localizan en las cercanías de estas explotaciones (Figura 2) y pueden ser interpretados a la luz de la inequívoca presencia de la actividad minera a escala regional.

DISCUSIÓN

En las turberas estudiadas en la *Serra dos Ancares* se ha detectado un incremento de la incorporación de elementos litogénicos, Ti y Zr, de 1.9 y 1.8 veces respectivamente en relación al contenido medio de la turba entre 2050 y 1650 yr cal. BP, mostrando una elevada sincronidad. En todas las turberas se observa que la concentración más elevada de Ti y Zr se detecta en este período, y sólo es superada durante las fases de colmatación mineral previas a la formación de la turbera. Reher et al. (2012) han indicado que durante el período romano, la presión de la agricultura y la actividad minera rompieron el ciclo forestal natural en el área de la *Serra dos Ancares*. Esto, necesariamente, generó una gran superficie de suelo expuesta lo que incrementó su inestabilidad y su erosión. En este territorio se ha descrito un proceso de deforestación sucesivo durante los últimos 3000 años (Muñoz, 2001), el cual se ha vinculado a la antropización del paisaje ligada a las actividades agrícolas. Esta tendencia es visible en la incorporación de elementos litogénicos a las turberas de la *Serra dos Ancares*, pero la intensidad con la que se produce el flujo de Ti y Zr durante el período romano es claramente mayor y podría explicarse como un incremento de alguna actividad antrópica que provoque una intensa deforestación y que esté especialmente concentrada en este período. Esta actividad probable sería la explotación de los recursos mineros.

Tabla 1. Volumen de material desplazado y origen de los movimientos en masa analizados en el área de estudio. Fuente: Vázquez-Rodríguez et al. (2017).

NAME	VOLUME (Km ³)	ORIGIN
Corneantes	0.358	Natural
Poso	0.169	Natural
Lumeras	0.166	Natural
Candin-1	0.0429	Natural
Balouta	0.041	Natural
Ortugal	0.0027	Natural
Moreda	0.00044	Natural
Piornedo	0.0062	Natural
Verdial	0.019	Natural
Freita	0.214	Roman
A Leitosa	0.132	Roman
Burbia-1	0.063	Roman
Teixeira-2	0.04	Roman
Campo do Auga	0.037	Roman
Teixeira-1	0.022	Roman
Burbia-3	0.009	Roman
Burbia-4	0.009	Roman
Penarrubia	0.00864	Roman
Aira de Pedra-2	0.00543	Roman
Brego	0.005	Roman
Campa do Barreiro	0.0045	Roman
Candin-2	0.0039	Roman
Burbia-2	0.0032	Roman
Río Seco-2	0.0027	Roman
Candin-3	0.0024	Roman
Vilar	0.0016	Roman
Río Seco-1	0.0014	Roman
Aira da Pedra-1	0.00087	Roman
TOTAL	1.37088	
ONLY NATURAL	0.80524	
ONLY ROMAN	0.56564	

CONCLUSIÓN

El sector de la Serra dos Ancares presenta un gran número de deslizamientos, tanto de origen natural como generados por la actividad minera romana altoimperial. Aunque en el volumen de material movilizado dominan los primeros, en número son claramente dominantes los segundos. Entre los de origen natural se distinguen aquellos cuya actividad se puede retrasar hasta el Pleistoceno, ya que aparecen fosilizados por depósitos periglaciares que indican unas condiciones aún frías. Por el contrario, otros parecen ser posteriores, a los que hay que presumir una edad holocena, sin mayor precisión.

Por el contrario, las labores mineras romanas son muy abundantes y han generado un gran número de fenómenos y explotaciones, incluyendo deslizamientos, y minería a cielo abierto. En volumen, sin embargo, representan un valor sensiblemente menor, pero debemos matizar este punto. En este trabajo sólo se ha considerado el volumen de material movilizado en contacto directo con las explotaciones, pero hay que comprender que muchos aportes terminaron incorporándose a la red fluvial, acumulándose como depósitos de material grueso (“murias”) o perdiéndose a través del transporte fluvial, por lo que debemos considerar el total obtenido como un dato ciertamente

infravalorado. Sin embargo su repercusión en el medio no se limitó a la huella geomorfológica, que persiste actualmente y se ha incorporado al paisaje, naturalizándose en cierta medida. También supuso una gran presión sobre el medio, generando una intensa deforestación y activando los procesos erosivos, como indican los datos polínicos y el estudio de la deposición de litogénicos sobre turberas de este ámbito.

En nuestra opinión esta herencia morfogenética constituye un patrimonio que debe ser puesto en valor en su contexto histórico y de evolución paisajística. Nuevos trabajos deben ser abordados para precisar los aspectos que quedan abiertos.

REFERENCIAS

- Church, M., Ryder, J. M., 1972. Paraglacial sedimentation: a consideration of fluvial processes conditioned by glaciation. *Geological Society of America Bulletin* 83(10): 3059-3072.
- Herail, G., 1984. Géomorphologie et géologie de l'or détritico- piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne- Éditions du C.N.R.S. Paris. pp. 450.
- Hölzer, A., Hölzer A., 1998. Silicon and titanium in peat profiles as indicators of human impact. *The Holocene* 8: 685-696.
- Jiménez Sánchez, M., 1997. Movimientos en masa en la cabecera del río Nalón (Cordillera Cantábrica, NO España). *Cuaternario y Geomorfología* 11(3-4): 3-16.
- Luengo Ugidos, M.A., García de Celis, A., Redondo Vega, J.M., 1995. Depósitos cuaternarios y minería romana en las montañas del NW de la Península Ibérica. In *Actas da 3ª Reunión do Quaternario Ibérico*. GTPEQAEQUA. Coimbra 1993, pp. 141-148.
- Luengo Ugidos, M.A., 2002. El glaciario en la Sierra del Teleno (León). In *El modelado de origen glaciar en las montañas leonesas* (pp. 29-64). Servicio de Publicaciones.
- Martínez-Cortizas, A., Valcárcel, M., Pérez-Alberti, A., Castillo Rodríguez, F., Blanco Chao, R., 1999. Cambio climático e paleoclimas cuaternarios In *Atlas Climático de Galicia*. Xunta de Galicia. pp. 167-190.
- Muñoz-Sobrinho, C., 2001. Cambio climático y dinámica del paisaje en las montañas del noroeste de la Península Ibérica. PhD. Thesis, Departamento de Botánica, Universidade de Santiago de Compostela. 163 pgs.
- Perez-Garcia, L. C., Sánchez-Palencia, F. J., 1985. Yacimientos auríferos ibéricos en la antigüedad. *Investigación y Ciencia* 104: 64-75.
- Pontevedra-Pombal, X., 2002. Turberas de montaña de Galicia. Génesis, propiedades y su aplicación como registros ambientales geoquímicos lucenses. Ph. D. Thesis, Universidade de Santiago de Compostela. Spain.
- Reher, G.S., López-Merino, L., Sánchez-Palencia, F.J., López-Sáez, J.A., 2012. Configuring the landscape: Roman mining in the conventus Asturum (NW Hispania). In: Kluiving S.J. and Guttmann-Bond E.B. (Eds.); *Landscape Archaeology between Art and Science: From a Multi- to an Interdisciplinary Approach*, Amsterdam University Press (Landscape & Heritage Proceedings), Amsterdam, pp. 125-134.
- Sánchez-Palencia, F.J., Orejas, A., Sastre, I., Pérez, L.C., 2006. Las zonas mineras romanas del noroeste peninsular. Infraestructuras y organización dl territorio. Nuevos Elementos de Ingeniería Romana. *III Congreso de las Obras Públicas Romanas*. Astorga. *Juna de Castilla y León*. Colegio de Ingenieros T. de O. P. TRAIANVS. 265-285.
- USGS, 2004. Landslide Types and Processes.
- Valcárcel Díaz, M., 1998. Evolución geomorfológica y dinámica de las vertientes en el NE de Galicia. Importancia de los procesos de origen frío en un sector de las montañas lucenses. PhD. Thesis. Departamento de Xeografía. Universidade de Santiago de Compostela.
- Vázquez-Rodríguez, A.L., Pontevedra-Pombal, X., Valcárcel Díaz, M., 2017. Morphometry and interpretation of Pleistocene and Holocene mass movements at Ancares (NW of Iberia). *Quaternary International*, vol. 452 (en revisión).



Tectónica e Vulcanismo

Tectónica y Vulcanismo

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS EFECTOS AMBIENTALES DEL TERREMOTO DE ADEMUZ DE JUNIO DE 1656 (VALENCIA, ESPAÑA)

J.L. Giner-Robles¹; P.G. Silva²; J. Elez²; M.A. Rodríguez-Pascua³; T. Bardaji⁴; M.A. Perucha³; R. Pérez-López³; E. Roquero⁵; P. Huerta²; E. Rodríguez-Escudero¹

¹ Dpto. Geoquímica y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid. SPAIN. jorge.giner@uam.es

² Dpto. Geología, Universidad de Salamanca. Ávila – Salamanca, SPAIN. pgsilva@usal.es, j.elez@usal.es, phuerta@usal.es.

³ Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 28003-Madrid. SPAIN. ma.rodriguez@igme.es, ma.perucha@igme.es.

⁴ Dpto. Geología, Geografía y Medio, Universidad de Alcalá de Henares. 28801-Madrid. SPAIN. teresa.bardaji@uah.es

⁵ Dpto. Edafología, Universidad Politécnica de Madrid. 28040-Madrid. SPAIN. elvira.roquero@upm.es

ABSTRACT

This work shows the preliminary results of the analysis of the geological effects generated by the Ademuz earthquake (Valencia, Spain) of June 7th, 1656. This event is classified as intensity VIII (EMS) in publications of the Spanish Seismic Network (IGN), currently appears in the IGN seismic catalog with no assigned intensity due to the lack of information about building damage and intensity records from the population affected. Most of the environmental seismic effects are located mainly in the vicinity of the river Turia between the localities of Ademuz and Casas Altas (c. 5 km apart). The application of the macroseismic intensity scale ESI-07 to these environmental effects, both inventoried in the field and described in the historical documentation indicates a minimum intensity VIII ESI-07. However, the slope mass movements induced by this event, in relation with geological and topographic site effects, suggest, that this event may have reached intensity IX.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados preliminares del análisis de los efectos geológicos producidos por el terremoto de Ademuz (Valencia, España) del 7 de junio de 1656. Este evento considerado como de intensidad VIII (MSK) en publicaciones del IGN, actualmente aparece en el catálogo sísmico del IGN sin intensidad asignada debido a la escasa información de poblaciones afectadas por el evento. La mayor parte de los efectos ambientales se localiza en las proximidades del río Turia entre las poblaciones de Ademuz y Casas Altas (separadas unos 5 km). La aplicación de la escala de intensidades ESI-07 a los efectos ambientales inventariados en el campo y descritos en la documentación histórica indica intensidades ESI-07 entre VIII y IX, lo que implicaría una intensidad mínima de VIII ESI-07, aunque los deslizamientos inducidos por el terremoto pudieron alcanzar intensidades de IX debido a efectos locales de amplificación geológica y topográfica.

INTRODUCCIÓN

El 7 de junio de 1656 un terremoto afectó a toda la comarca del Rincón de Ademuz (Valencia, España), provocando daños importantes en las poblaciones de Ademuz, Vallanca, Torrabaja y Puebla de San Miguel (Galvis, 1932). Este terremoto está incluido en los catálogos del IGN sin asignar intensidad (Martínez Solares & Mezcua, 2002) (Figura 1), aunque en catálogos y trabajos anteriores aparece con una intensidad MSK asignada de VIII (Bisbal Cervelló, 1984; Mezcua & Martínez Solares, 1985). La eliminación de la valoración de intensidad de este terremoto en los catálogos actuales puede deberse a la poca información de los daños producidos en las poblaciones afectadas, ya es únicamente en la población de Ademuz, donde se describen detalladamente los daños producidos: el colapso de la fortaleza, de la antigua iglesia parroquial, y daños importantes en la totalidad de las casas de la ciudad, de las que 40 llegaron a colapsar completamente. En el resto de las poblaciones afectadas sólo hay referencias poco detalladas de daños en los edificios religiosos (iglesias y ermitas) (Sánchez Garzón, 2008).

No obstante, en la documentación histórica (Antón Andrés, 1997; Eslava Blasco, 2009) se incluyen referencias a efectos ambientales producidos en las inmediaciones de algunas de estas poblaciones (grietas, procesos gravitacionales, etc...) que nos permiten asignar valores de intensidad aplicando la escala macrosísmica de intensidades ESI-07 (Michetti et al., 2007). Estos datos permiten mejorar cuantitativamente y cualitativamente la información sobre la intensidad de este sismo (Figura1).



Figura 1. Localización del epicentro del terremoto de Ademuz del 7 de junio de 1656 catalogado por el IGN (Martínez Solares & Mezcuá, 2002). Se han incluido todas las poblaciones con algún efecto ambiental inventariado bien a partir de la documentación histórica o bien mediante los trabajos de campo preliminares realizados.

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS AMBIENTALES

La documentación histórica de este terremoto es relativamente escasa, aunque las descripciones disponibles son muy claras y definen detalladamente tanto los procesos como los lugares en los que se dieron los efectos ambientales inventariados en este trabajo. Los efectos ambientales mejor descritos son los que se produjeron en las proximidades de las poblaciones de Ademuz y Casas Altas. Los efectos ambientales en la población de Ademuz descritos en la documentación de la época (documentos redactados en el mismo año del sismo) son fundamentalmente desprendimientos y agrietamientos del terreno (Antón Andres, 1997; Eslava Blasco, 2009).

Los desprendimientos afectaron a toda la ciudad pero fueron especialmente importantes en la zona SO de la misma, tal y como describe el obispo de la diócesis a la que pertenecía la población de Ademuz (Antón Andres, 1997): “*media parte de esta villa ha sido aplanada totalmente sino que además la otra media amenaza ruina; incluso la antigua parroquia, el cementerio y la fortaleza regia, construida con suntuosidad en la amplia cima del monte, ese que ahora, cual muestra de funestísima destrucción, yace abatido a trozos caídos en un profundo valle*”. En otro documento de la época en el que un notario que vivió el terremoto en la población de Ademuz, también describe los daños en la ciudad (Eslava Blasco, 2009): “*muchas casas derribadas que serían de treinta y seis a cuarenta y que también lo estaba la Iglesia que llaman Vieja y el campanario della y las restantes casas estaban de fuertes que no se podía habitar en ellas, por la plaza había tres o cuatro aberturas por la cara de la tierra que una pared muy fuerte estaba desapegada de la tierra más de tres palmos*” (aproximadamente 0,6 m).

La mayor parte de los daños consignados en Ademuz estuvieron ocasionados por el desplome de unos 300 m lineales de la pared occidental del cerro del Castillo (Figura 2). Grandes bloques de dimensiones decamétricas (hasta 20 x 5 m), todavía hoy visibles, arrasaron gran parte de las viviendas de esta zona. En la actualidad se observa un cantil vertical de unos 15 m de altura con acumulaciones de grandes bloques a su pie (Figura 2) El total de material movilizad

5000 m³, que junto con los daños en edificaciones permiten asignarle una intensidad mínima VIII ESI-07.

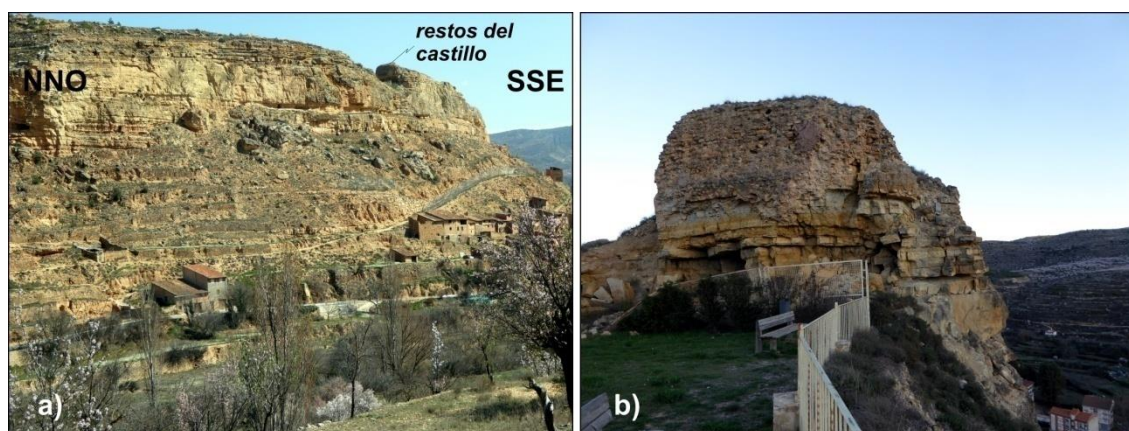


Figura 2. a) Vista de la zona más afectada por el terremoto de la población de Ademuz. La documentación histórica describe importantes daños por procesos gravitacionales en la zona SO de la ciudad. Los desprendimientos destruyeron prácticamente la totalidad de la fortaleza de la ciudad y afectó notablemente al cementerio de la ciudad que se situaba en las proximidades de la fortaleza. b) Detalle de los restos de los muros principales del castillo. El deslizamiento afectó a prácticamente la totalidad de la estructura de la fortaleza.

Otra de las zonas en la que la documentación histórica hace referencia a efectos ambientales del terremoto está localizada en un valle orientado E-O que se sitúa en el margen izquierdo del río Turia en las inmediaciones de la población de Casas Bajas. Se describen grandes procesos gravitacionales que afectaron a todo el valle, y la presencia de grandes grietas que presumiblemente estarían relacionadas con los deslizamientos que se produjeron (Eslava Blasco, 2009) (Figura 3): *“toda la falda de él se había caydo dentro de la Rambla y lo que más les admiró fue el ver que había mucha parte de las Junqueras de la Rambla a la parte de arriba de la tierra del monte que había caydo. Vieron también en la peña viva del monte más de treinta aberturas que podía hir por cada una dellas un coche olgadamente”*.

El análisis preliminar de los deslizamientos asociados a este pequeño valle nos indica que afectaron a unos 3 km lineales del mismo. Se reactivaron grandes deslizamientos de materiales Cretácicos y Jurásicos a favor de la gran fractura NNE-SSO que delimita la vertiente septentrional del valle. El volumen de materiales movilizados supera ampliamente el millón de metros cúbicos con desplazamientos de algo más de 200 metros. Las grandes grietas que se mencionan en las descripciones históricas se refieren en su mayoría a las grietas de cabecera de los mencionados deslizamientos. Las dimensiones de los efectos descritos en esta zona permiten asignar una intensidad mínima IX ESI-07. Este punto es de especial relevancia en el análisis de este terremoto, ya que en esta zona no existían poblaciones que pudieran aportar valores de intensidades MSK.

Se han inventariado algunos otros efectos en la zona que parecen tener una relación directa con la ocurrencia del terremoto, como es el caso del encajamiento anómalo del río Ebrón (afluente del Turia) a su paso por la población de Castielfabib. El encajamiento actual del río (en algunos puntos superior a los 40 m) podría estar relacionado con la desestabilización de un sistema de tobas holocenas en facies palustres y de represamiento. Dichas facies tobáceas están relacionadas con estructuras de barrera-cascadas y pequeños saltos de agua activos hasta época romana según datos radiométricos en el techo de la misma en las inmediaciones de la población de Castielfabib (Lozano et al., 2012).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La identificación y el análisis de los efectos ambientales descritos en la documentación histórica permiten asignar valores de intensidad ESI-07 de VIII, en el caso de la ciudad de Ademuz, e intensidades de VIII o IX a los importantes procesos de ladera en las proximidades de la población de Casas Bajas. Dichos valores de intensidad máxima (IX), nos permiten considerar que la zona epicentral de este terremoto se localizaría en la margen oriental del río Turia en las proximidades con

la confluencia del Barranco de Malas o Segas próximo a esta población. Este hecho estaría apoyado por la situación de los sismos instrumentales registrados en esta área (años 2006-2007), cuyos epicentros se sitúan en un radio máximo de 700 m alrededor de Casas Bajas. Este sería el caso del terremoto del 10 de marzo del 2006 (Mw 4,3) que se sintió con una intensidad máxima de V EMS en todo el sector del valle del Turia entre Casa Bajas al sur y Torrebaja al norte, a lo largo de unos 8 km lineales. El análisis de este sismo muestra que la incorporación del análisis de los efectos ambientales a los terremotos históricos introduce nuevos puntos de información macrosísmica que permiten mejorar la distribución de intensidades en zonas despobladas. Este hecho nos permite localizar con menor grado de incertidumbre el epicentro macrosísmico, y de este modo valorar su posible relación con las fuentes sísmicas definidas en la zona por la sismicidad instrumental.

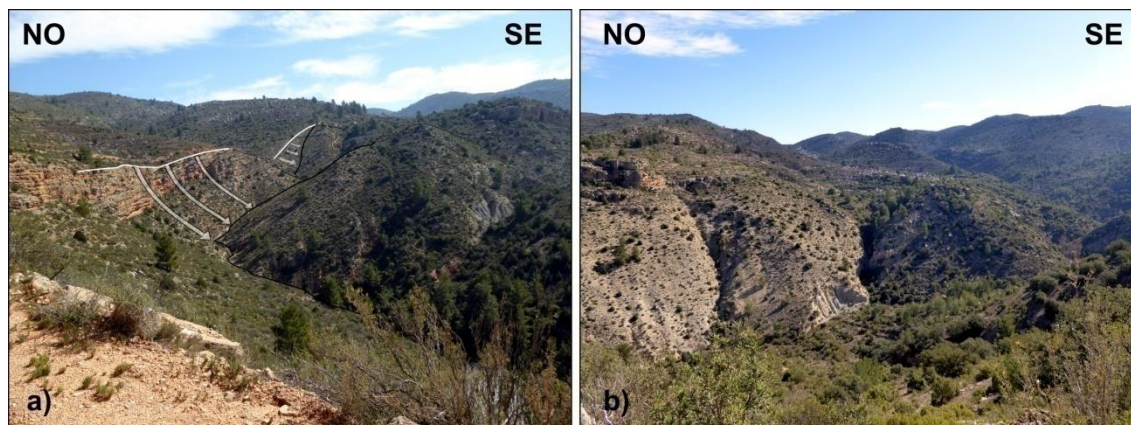


Figura 3. Vista de los deslizamientos descritos en la documentación de la época situados en las proximidades de la población de Casas Altas en un valle E-O en el margen izquierdo del río Turia. En la zona de entrada a este valle, se observan grandes deslizamientos que afectan a importantes volúmenes de material (superior al millón de m³) (a). En la zona más interna del valle se observan también procesos gravitacionales de menor entidad (b), posiblemente antiguos deslizamientos reactivados por el terremoto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución a los proyectos CGL2015-67169-P (USAL), CGL2013-47412-C2-2-P (IGME), EGEO (2612-IGME) y al grupo QTECT-AEQUA y GQM-AEQUA.

REFERENCIAS

- Antón Andrés, A., 1997. Documentos del Archivo Vaticano (II, 1656). *Ababol* 9: 5-12.
- Bisbal Cervello, L., 1984. Estudio de la distribución de intensidades sísmicas en el ámbito valenciano. Su incidencia en las obras públicas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia (11 tomos).
- Eslava Blasco, R., 2009. El terremoto de Ademuz del año 1656: un nuevo documento, en *El poso de la historia*. *Ababol* 59: 8-15.
- Galbis Rodríguez, J., 1932. Catálogo Sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5° E y 20° W de Greenwich y los paralelos 45° y 25° Norte, Tomo I y II. Instituto Geográfico Catastral y de Estadística, Madrid.
- Lozano M.V., Sancho, C.; Arenas, C.; Vázquez-Urbez, M.; Ortiz, J.E., de Torres, T.; Pardo, G.; Cinta Osácar, M.A., Auqué, L., 2012. Análisis preliminar de las tobas cuaternarias del río Ebrón (Castielfabib, Valencia, Cordillera Ibérica) *Geogaceta*, 51, 55-58.
- Martínez Solares, J.M., Mezcuá, J., 2002. Catálogo Sísmico de la Península Ibérica (880 a.C. - 1900). Monografías IGN, 18. IGN, Madrid (Spain), 253 pp.
- Mezcuá, J., Martínez Solares, J.M., 1985. Sismicidad del area Ibero-Mogrebi. Instituto Geográfico Nacional (IGN). Publicación 203. Madrid. 301 pp.
- Michetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S., Serva, L., Tatevossian, R., Vitoori, E., Audemard, F., Azuma, T., Clague, J., Comerci, V., Gurpinar, A., Mc Calpin, J., Morner, N., Ota, Y., Roghazin, E., 2007. Environmental Seismic Intensity scale -ESI 2007. In: Guerrieri, L., Vittori, E. Eds. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia 74. APAT, Rome, Italy, 41 pp.
- Sánchez Garzón, A., 2008. Del Paisaje, alma del Rincón de Ademuz (II) Autoediciones Tagus. 425 pp.

SEDIMENTARY RECORD OF PRE-QUATERNARY TSUNAMIS IN THE GIBRALTAR STRAIT AREA AFTER THE ZANCLEAN FLOOD

P.G. Silva¹; J. Elez¹; P. Huerta¹; J. Civis¹; M.A. Perucha²; E. Roquero³; M.A. Rodríguez-Pascua²; A. Martínez-Graña¹; T. Bardaji⁴; K. Reicherter⁵

¹ Dpto. Geología, Universidad de Salamanca. Ávila – Salamanca, SPAIN. pgsilva@usal.es, j.elez@usal.es, phuerta@usal.es, jcivis@usal.es, amgrana@usal.es

² Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 28003-Madrid. SPAIN. ma.perucha@igme.es, ma.rodriguez@igme.es

³ Dpto. Edafología, Universidad Politécnica de Madrid. 28040-Madrid. Spain. elvira.roquero@upm.es

⁴ U.D.Geología, Universidad de Alcalá, 28871- Alcalá de Henares, Madrid, Spain. teresa.bardaji@uah.es

⁵ Institute of Neotectonics and Natural Hazards, RWTH Aachen University. 52056-Aachen. Germany. k.reicherter@nug.rwth-aachen.de

ABSTRACT

The refilling of the Mediterranean after the Messinian Salinity Crisis make possible to consider the Gibraltar Strait as a giant kilometric dam separating the Atlantic waters from the adjacent dissected Mediterranean Basin. The available evaluations on associated drawdown (-1000 m), time of refilling (3 years) and associated rates of loading (10 m/week) coming from recent models allow to infer the occurrence of a mega-case of reservoir-induced seismicity (RIS) during or soon after the Zanclean Flooding. Stratigraphic data presented here indicate the occurrence of a giant tsunami event with an estimated wave run-up close to 100 meters. The mixture of pelagic and planktonic foraminifera in the basal breccias of the tsunamites and the species indicate a late Zanclean biostratigraphy.

RESUMEN

El relleno del Mediterráneo tras la crisis de salinidad Messiniense permite considerar al Estrecho de Gibraltar como una presa natural gigante separando las aguas del Atlántico de la desecada cuenca mediterránea. Las estimaciones actuales acerca del descenso de las aguas en el Mediterráneo (-1000 m), tiempo de relleno de la cuenca (3 años) y tasas de elevación del nivel del mar asociadas (10 m/semana) permiten considerar al mencionado escenario como un caso especial de sismicidad inducida por embalses (RIS) durante o poco después de la inundación zancliense. Los datos estratigráficos y sedimentológicos que se presentan en este trabajo indican el registro de un evento de tipo tsunami gigante con un run-up cercano a los 100 m. La mezcla de foraminíferos pelágicos y planctónicos presente en la tsunamitas, así como las especies presentes en ellas, permiten situarlas bioestratigráficamente en los estados finales del Zancliense.

INTRODUCTION

For first time Pliocene Zanclean littoral deposits are documented in the Mediterranean side of the Gibraltar Strait axis (Algeciras Bay, South Spain). In spite of the limited extension of the exiting outcrops, surveyed sedimentary sequences record the catastrophic consequences of the rapid refilling of the desiccated Mediterranean Basin during the Zanclean Flood after the Messinian Salinity Crisis (MCS). During the MCS the Gibraltar Arc worked as a gigantic kilometric threshold damming the Atlantic waters. Evaluation of associated drawdown (-1000 m), time of refilling (c. 3 years) and associated rates of water re-loading (c. 10 m/week) available from recent models (García-Castellanos and Villaseñor, 2011), agree with the minimum requirements for the occurrence of a case of Reservoir-Induced Seismicity (RIS; Gupta, 2002) at the end, or soon after, the Zanclean Flood. This work introduces to stratigraphic evidences on the occurrence of a Zanclean giant tsunami event (close to 100 m high) probably linked to catastrophic consequences of the rapid refilling of the Mediterranean. This apparent tsunami event is recorded in two Lower Pliocene outcrops around the City of Algeciras, at Los Barrios and the Aladides Hill, separated about 4 km.

LOS BARRIOS SITE.

The new outcrops of the Motorway Jerez-Los Barrios record the almost complete Pliocene series described for the region (Guerra-Merchan et al., 2014) prograding into the Algeciras Basin. The outcrops display undeformed Pliocene materials inset in the underlying Lower Miocene clayey olisthostrom. Survey of the available outcrops around Los Barrios strongly suggests that the preserved materials belong to the infilling of a near-shore flat paleovalley inundated during the last stages of the Zanclean flooding. The preserved sediments grade from basal massive clayely marls,

thin interbedded marls and sands to upper bioclastic calcarenites and littoral conglomerates typical from the upper Pliocene series in the Gibraltar Strait Area (Goy et al., 1995; Rico-Garcia et al., 2008).

The intermediate unit of interbedded marls and sands (1.6 m thick) is rich in littoral macrofauna (molluscs and gastropods). This unit embeds large blocks (2x1 m) of Triassic sandstones detached from the underlying olisthostromic unit of the Gibraltar area. The large blocks are resting in a 10-12 cm thick breccia of marly sands which includes a variety of reworked clasts of Triassic sandstone, limestone, Lower Miocene red clays (rip-up mud clasts) and large fragments of littoral fauna constituting the erosive base of this intermediate unit over the underlying basal massive clayey marls. This breccia is rich in foraminifera displaying an outstanding mixture of benthonic and planktonic groups with a pelagic index of 0.8, featuring this deposit as a tsunamite. Of special interest is the occurrence of *Globoturborotalita nepenthes*, *G. margaritae* and *Sphaeroidinellopsis seminulina* (Lower Pliocene) and the absence of *G. punctulata* (Upper Pliocene), which place this deposit in the Lower Pliocene Zanclean Biozone (MPL-2; Iaccarino et al., 2007). The boulders, embedded by the upper littoral sand and marls, display three different shoreline levels defined by encrusted intertidal boring molluscs and “*Lithophaga*” separated 15-20 cm each. These markers indicate a subsequent rapid inundation process of the zone. All these data indicate the occurrence of a tsunami-type energetic event during the earlier phases of the Zanclean flooding inundating a near-shore littoral area within the Algeciras basin.

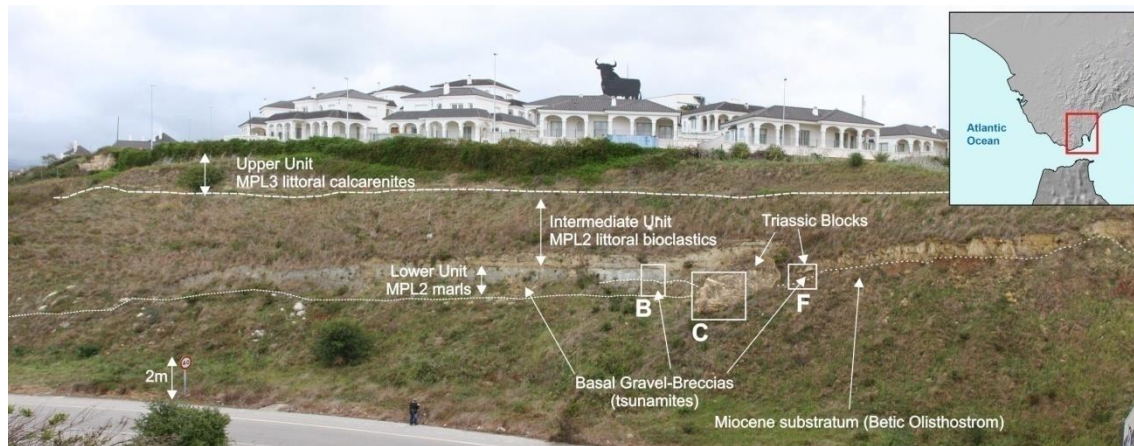


Figure 1. Location of the main studied outcrop in the outskirts of the locality of Los Barrios (Algeciras Bay). Southern access to the Jerez-Los Barrios Motorway.

THE ADALIDES HILL CONGLOMERATES.

The Hill constitutes a flat relief 700 m long and 200 m wide and elevated +95 m a.s.l. in the outskirts of the city of Algeciras. Descriptions from the Geological Map of the zone indicated the occurrence of high-energy deposits mantling the entire top-flat area of the Adalides Hill (Martín-Serrano & Piles, 1985). At present, the hill is densely urbanized, but several isolated outcrops (up to 5 m thick) are still visible (Figure 1). The conglomeratic deposits are made of a variety of heterometric clasts and boulders, even 3 m in diameter, embedded in a reddish clayey-sand matrix in which the presence of mud rip-up clasts reworked from the underlying clayey substratum (Algeciras flysch Fm.) is significant. The coarser clasts occur in a distinctive basal level in which the occurrence of upwards imbricated clasts and mud rip-up clasts is common. In some outcrops, this lower unit shows accumulations of stacked and imbricated broken boulders (up to 1 m in diameter) resting over a basal breccias containing mud-clasts of previous red-soils (similar to the Los Barrios tsunamite). The occurrence of the Adalides conglomerates is an anomalous sedimentary feature in the Plio-Quaternary series of the area, since is impossible to relate to any fluvial terrace system of the zone (Martín-Serrano & Piles, 1985). Here this energetic conglomeratic formation is related to the occurrence of a tsunami with a minimum run-up of 95 m flooding an ancient narrow valley and stacking broken boulders upstream.

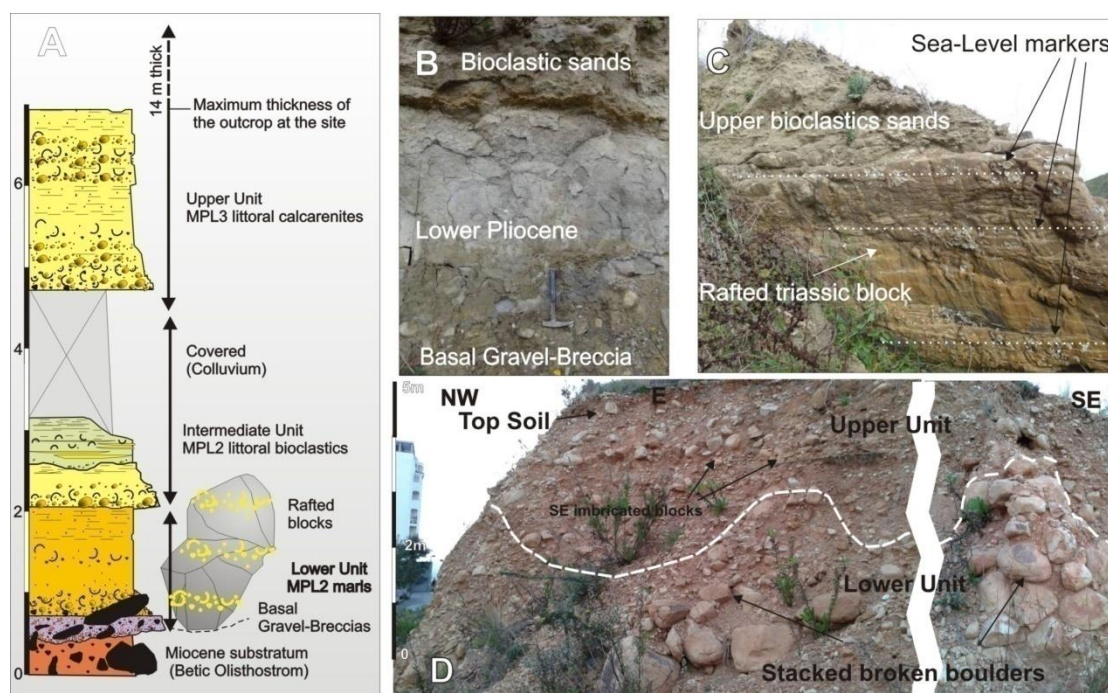


Figure 2. (A) Log of the Pliocene at Los Barrios (Motorway) displaying the basal breccias (zanclean tsunamites) marl and sands (intermediate unit) and the upper bioclastic littoral calcarenites. (B) Basal breccias unit or tsunamite. (C) Metric block (1.6 x 2.2 m) of Triassic sandstone displaying the three levels of boring littoral organisms (lithophaga) and topped by the upper bioclastic calcarenites. (D) Overall view of the present outcrops of the Aladides conglomerates displaying broken boulders.

CONCLUSIONS.

Data reported here make possible to correlate the Aladides conglomerates with the Lower Pliocene sequence outcropping at Los Barrios containing similar large boulders (up to 3 m in diameter) imbricated clasts and mud rip-up clast reworked from the substratum. The unique significant difference between both deposits is the nature of the matrix, reddish clayey-sands at the Aladides hill (of presumable terrestrial origin) and greyish marly-sands at Los Barrios (of clear littoral nature). On the other hand, the difference in elevation at the Aladides hill (+95 m) and Los Barrios (+40 m) can be explained by the plausible record of a same high-energy event in emerged (valley) and submerged (littoral) areas respectively. The tsunami could be a consequence of an strong earthquake (> 8.5 Mw) triggering large-scale landslides and subsequent tsunamis as occurred in the Lituya Bay in the year 1958 (Fritz et al., 2009).

In fact, the reported tsunami event clearly occurred in the final stages, or soon after the reflooding of the Mediterranean Basin after the Messinian Salinity crisis. The rapid refilling of the Mediterranean in nearly 3 years-time proposed by some hydraulic modelling of the process (García-Castellanos et al., 2009) and the big amount of water loading involved in the process with an equivalent water column of c. 208 m high will probably induce seismic activity in the zone (Silva et al., 2012). In this scenario large-scale landslide processes as those recorded in the Camarinal threshold (Esteras et al., 2000) or in the onshore area of the Algeciras Bay (Martín-Serrano, 1985; Silva et al., 2012) are capable to explain the occurrence of giant tsunami events (c. 100 m wave-height) as those preliminary reported in this work. In detail, the basal breccia units identified at both sites contain sufficient paleontological and sedimentological features to be identified as tsunamites of Zanclean age.

ACKNOWLEDGEMENTS

Supported by the MINECO-FEDER Spanish research projects CGL2015-67169-P (QTECSPAIN - USAL), CGL2015-69919-R (UAH). This is a contribution of QTECT-AEQUA.

REFERENCES

- Esteras M., Izquierdo J., Sandoval N., Mamad A., 2000. Evolución morfológica y estratigráfica plio-cuaternaria del Umbral de Camarinal (Estrecho de Gibraltar) basada en sondeos marinos. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 13(3/4): 539-550.
- Fritz, H.M., Mohamed, F., Yoo, J., 2009. Lituya Bay Landslide Impact Generated Mega-Tsunami. *Pure and Applied Geophysics* 166: 153–175.
- García-Castellanos, D., Estrada, F., Jiménez-Munt, I., Gorini, C., Fernández, M., Vergés, J., De Vicente, R., 2009. Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis. *Nature* 462(7274): 778-781.
- García-Castellanos, D., Villaseñor, A., 2011. Messinian salinity crisis regulated by competing tectonics and erosion at the Gibraltar arc. *Nature* 480(7377): 359-363.
- Goy, J.L., Zazo, C., Silva, P.G., et al., 1995. Evaluación geomorfológica del comportamiento neotectónico del Estrecho de Gibraltar (Zona Norte) durante el Cuaternario. In: M. Esteras, ed. *El Enlace Fijo del Estrecho de Gibraltar*, SECEGSA, Madrid, Vol. 2, 51-69.
- Guerra-Merchán A., Serrano F., Hlila R., El Kadiri K., de Galdeano C.S., Garcés, M., 2014. Tectono-sedimentary evolution of the peripheral basins of the Alboran Sea in the arc of Gibraltar during the latest Messinian-Pliocene. *Journal of Geodynamics* 77: 158-170.
- Gupta, H.K., 2002. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. *Earth-Science Reviews* 58: 279–310.
- Iaccarino, S.M., Premoli-Silva, I., Biolzi, M., et al., 2007. Practical manual of Neogene planktonic foraminifera. 6th course. Università degli Studi di Perugia, Perugia, Italy. 140 pp.
- Martín Serrano, A., 1985. La estructura de los flyschs del Campo de Gibraltar: consecuencias tectónicas y paleogeográficas. *Boletín Geológico y Minero* 161: 117-140.
- Martín Serrano, A., Piles, E., 1985. Cartografía geológica y memoria de la hoja 1078 (La Línea), Mapa Geológico de España, Plan MAGNA, 2ª Serie. IGME, Madrid, Spain.
- Rico-García, H., Aguirre, A.J., González-Delgado, J.A., 2008. Taphonomy and taphofacies models of the Pliocene deposits of Vejer de la Frontera (Cádiz, SW Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 285(3-4): 264-276.



Métodos e tecnologias de investigação

Métodos y tecnologías de investigación

PROJECTO SHELLS - A UTILIZAÇÃO DE CONCHAS DE *PATELLA* E *MYTILUS* NA RECONSTRUÇÃO DE PALEOTEMPERATURAS DA ÁGUA DO MAR

A.M. Monge Soares¹; P.J.C. Portela¹; I. Gutiérrez-Zugasti²; J. Zilhão³; M.F. Araújo¹; P.M. Carreira¹; D. Nunes¹; P. Callapez⁴; M. Nabais⁵

¹ Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Estrada Nacional 10 (km 139,7), 2695-066 Bobadela, Portugal. amsoares@ctn.tecnico.ulisboa.pt, paulo.portela@ctn.tecnico.ulisboa.pt, faraujo@ctn.tecnico.ulisboa.pt, carreira@ctn.tecnico.ulisboa.pt, dina@ctn.tecnico.ulisboa.pt

² Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria (IIIPC), Universidade de Cantabria, Santander, Espanha. igorgutierrez.zug@gmail.com

³ Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA), Universidade de Barcelona, Barcelona, Espanha. joao.zilhao@ub.edu

⁴ Centro de Investigação da Terra e do Espaço (CITEUC), Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. zapellac@gmail.com

⁵ Institute of Archaeology, University College London (UCL), Londres, Reino Unido. mariananabais@gmail.com

ABSTRACT

The archaeological site of Figueira Brava, a cave excavated in Miocene biocalcarenes of the Serra da Arrábida, is the only site in Eurasia with a substantial record of Pleistocene (80-110 ka) seaside human activity. The human occupation of the cave by the Neanderthals is associated with a midden of marine molluscs, large crab shell and other crustaceans fragments, that also contains fish and mammal remains.

The stable isotope content of biogenic CaCO_3 has been extensively used to study and characterize past environmental features, namely using $\delta^{18}\text{O}$ as a palaeothermometer to estimate past seawater temperatures and $\delta^{13}\text{C}$ in the growth increments of marine shells as an upwelling proxy. Also $\delta^{18}\text{O}$ has been a powerful tool in archaeological studies to determine the seasonality of collection of marine molluscs by prehistoric people.

The aim of the SHELLS research project is the application of stable isotope analyses ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) in micro-samples (c. 100 μg) of marine shell carbonate (Figure 1) to determine if prehistoric marine mollusc collection during the Neanderthal occupation of the cave of Figueira Brava was seasonal or year-round and, simultaneously, to determine palaeotemperatures and to study the course and intensity of coastal upwelling at that time. For this purpose, the study of modern analogues, i.e., the study of shells of living molluscs, accompanied by the monitoring of present-day conditions of seawater, is the usual approach. In our project shells of the genera *Patella* (the most abundant and well preserved in the midden) and *Mytilus* are being analyzed. Each month, modern specimens of these marine molluscs (*Patella vulgata*, *Patella depressa* [Figure 2], *Patella ulyssiponensis* and *Mytilus edulis*) are being collected alive on the rocky seashore near Figueira Brava. Also seawater samples are collected near the cave, on a monthly basis. Results allow to verify if these species record in their shells the seasonal fluctuations of environmental parameters and, if so, to determine, in the research to be developed, the temperature of the seawater where the molluscs lived at the time they were collected by Neanderthals occupying the cave of Figueira Brava.

RESUMO

O sítio arqueológico da Figueira Brava, uma gruta escavada nos biocalcarenes da Serra da Arrábida, é o único sítio na Eurásia com um registo substancial da atividade humana numa região costeira durante o Plistocénico (entre 80 e 110 ka). A ocupação humana (pelos Neandertais) da gruta está associada a um concheiro com restos de moluscos marinhos, fragmentos de pinças de sapateira e de outros crustáceos, além de conter também restos de peixes e de mamíferos terrestres.

O teor em isótopos estáveis do CaCO_3 biogénico tem sido largamente utilizado para estudar e caracterizar aspectos de ambientes passados, fazendo uso, por exemplo, do teor em $\delta^{18}\text{O}$ como um paleotermómetro para estimar a temperatura da água do mar, ou o teor em $\delta^{13}\text{C}$, determinado nos incrementos de crescimento das conchas marinhas, como um índice de *upwelling*. O $\delta^{18}\text{O}$ tem também sido usado como uma poderosa ferramenta em estudos arqueológicos para determinar a sazonalidade da colheita de moluscos marinhos por populações pré-históricas.

Um dos objetivos do projeto SHELLS é, através da utilização da análise de isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) em micro-amostras (c. 100 μg) do carbonato de conchas marinhas (Figura 1), determinar a eventual sazonalidade da colheita de moluscos marinhos durante a ocupação pelos Neandertais da gruta da Figueira Brava e, simultaneamente, determinar as paleotemperaturas e estudar o comportamento e intensidade do *upwelling* costeiro naquela época. Para isso, a análise de analógicos modernos, isto é, o estudo da conchas de moluscos actuais, acompanhado do conhecimento e monitorização das condições actuais da água do mar, é o caminho habitualmente utilizado. No nosso projecto estão a ser analisadas amostras dos géneros *Patella* (as mais abundantes e melhor preservadas no concheiro) e *Mytilus*. Todos os meses, exemplares modernos destes

moluscos marinhos (*Patella vulgata*, *Patella depressa* (Figura 2) e *Patella ulyssiponensis*, bem como *Mytilus edulis*) estão a ser colhidos vivos na costa rochosa na vizinhança da Figueira Brava. Também amostras da água do mar são colhidas, numa base mensal, nas proximidades da gruta. Os resultados obtidos permitem verificar se essas espécies registam nas suas conchas as flutuações sazonais dos parâmetros ambientais e, a partir daí, no trabalho a desenvolver, determinar a temperatura da água onde os moluscos, colhidos pelos Neandertais que ocuparam a Gruta da Figueira Brava, viveram e a época da sua colheita.

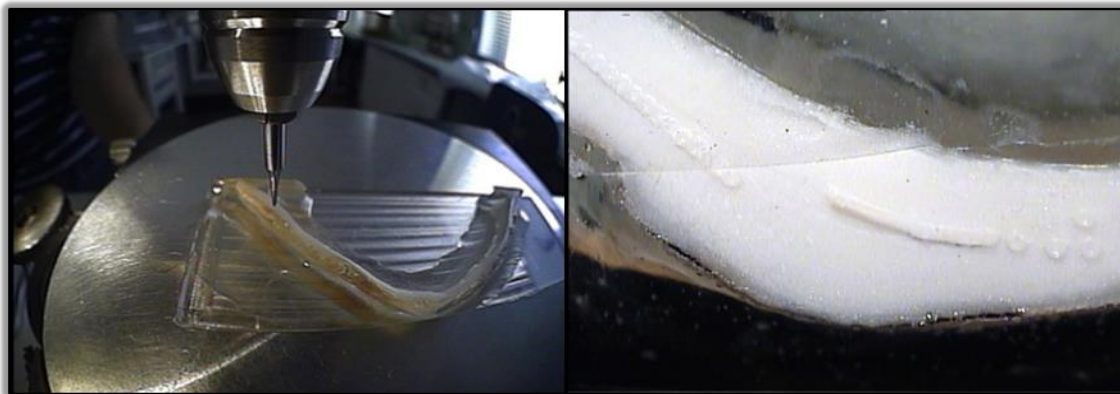


Figura 1. Obtenção de micro-amostras de carbonato de conchas de lapas modernas.
Figure 1. Collection of micro-samples of carbonate in transversal sections of limpet shells.

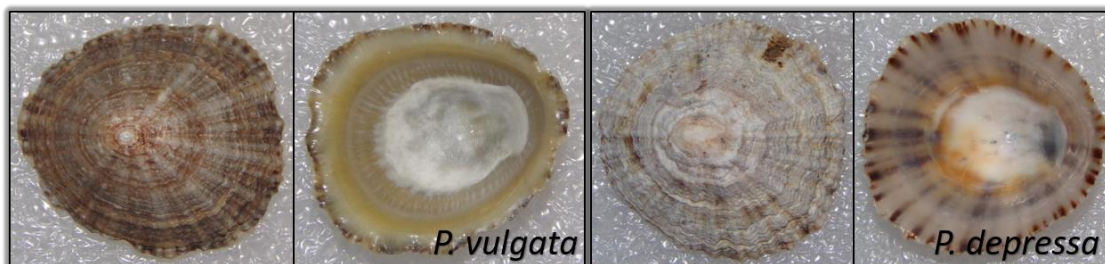


Figura 2. Conchas de lapas modernas colhidas junto à gruta da Figueira Brava.
Figure 2. Whole modern limpet shells collected near the cave of Figueira Brava.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado pelo projeto PTDC/EPH-ARQ/6485/2014, da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Os investigadores do C2TN/IST agradecem também o apoio da FCT através do Projecto UID/Multi/04349/2013.

THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF MESOFOSSIL PLANTS USING THE NON-DESTRUCTIVE SYNCHROTRON RADIATION X-RAY TOMOGRAPHIC MICROSCOPY (SRXTM)

M.M. Mendes¹; P.A. Dinis²

¹CIMA – Centre for Marine and Environmental Research; Universidade do Algarve, Campus Universitário de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. mmendes@mail.telepac.pt

²MARE - Marine and Environmental Sciences Centre; Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, R. Sílvio Lima, 3030-079 Coimbra, Portugal. pdinis@dct.uc.pt

ABSTRACT

The most recently application of synchrotron radiation X-ray tomographic microscopy (SRXTM) and associated phase contrast approaches (PCXTM) has provided new openings for palaeobotanical studies. This new technique allows accurate analysis of plant fossil material without the destruction of unique specimens. Detailed reconstructions can be obtained by the combination of external information recovered from scanning electron microscopy (SEM) with SRXTM data. The application of SRXTM is particularly well-suited for charcoalfied mesofossil specimens and also has the added advantage that the information is captured digitally and is readily converted into three-dimensional reconstructions. The SRXTM allows the analysis of the internal and external structure of fossil material in multiple planes and in two or three dimensions. The SRXTM has been essential for solving critical structural details that have enhanced systematic understanding and improved phylogenetic interpretations. The slice data can be manipulated using either AMIRA or AVIZO software for computed tomography.

RESUMO

A técnica de microtomografia de raios-X por radiação de sincrotrão (SRXTM) associada ao método de contraste de fase (PCXTM) trouxe contributos relevantes para os estudos paleobotânicos. Esta nova técnica permite fazer análises não destrutivas, precisas e minuciosas dos vegetais fósseis. As reconstruções detalhadas podem ser efectuadas através da combinação da informação recolhida a partir de microscopia electrónica de varrimento (SEM) com os dados de SRXTM. A aplicação de SRXTM é particularmente adequada para o estudo de mesofósseis incarbonizados e a partir da informação digital obtida é possível fazer reconstruções tridimensionais. Esta técnica possibilita a análise de estruturas internas e externas do material fóssil em múltiplos planos 2D ou 3D. A técnica de SRXTM tem sido fundamental na análise de pormenores estruturais dos vegetais fósseis contribuindo para melhor compreensão da sistemática e das interpretações filogenéticas. As imagens seccionais obtidas podem ser manipuladas através de *software* para tomografia computadorizada: AMIRA ou AVIZO.

INTRODUCTION

Over the past four decades, the discovery of small isolated and exquisitely preserved vegetative and reproductive structures in the mesofossil floras from the Early Cretaceous of the Lusitanian Basin (western Portugal) has provided significant advances in the understanding of early phases of angiosperm radiation and diversification and improved our knowledge on the composition of terrestrial vegetation (e.g., Friis et al., 2010, 2011, 2015; Mendes et al., 2014a, 2014b). These fossil specimens are typically small and charcoalfied or lignitized and preserved both three-dimensional morphology and excellent cellular detail. Formerly, this plant material was study using a scanning electron microscopy (SEM). More recently, the application of the synchrotron radiation X-ray tomographic microscopy (SRXTM) to tiny fossils has provided new opportunities for palaeobotanical studies. The SRXTM technique allows more detailed interpretations of external and internal features of plant fossils, unlike with conventional sectioning, without damage to the specimens enabling the reconstruction of fossil material. Since the attenuation-based SRXTM does not provide enough contrast in our plant material because of the low absorption of the charcoalfied cell walls, we have been used the phase-contrast X-ray tomographic microscopy (PCXTM) to improved de quality of the tomograms successfully.

In this work, we present an overview of the SRXTM technique applied in order to understand the organisation and critical structural details of a new fossil flower *Kajanthus lusitanicus* gen. et sp. nov. described from the Early Cretaceous of Portugal. The SRXTM provides an exciting new

window into the study of external and internal structure of critical plant mesofossils from the Early Cretaceous age but this method can be applied in the analysis of the Quaternary plant material.

METHODS

The new fossil flower was extracted from the sediments by sieving in water followed by treatment in hydrofluoric and hydrochloric acid, rinsing in water and finally air dried. Measurements were made using dissecting microscope as well as from images from scanning electron microscopy (SEM) and synchrotron-based X-ray tomographic microscopy (SRXMT). For SEM, fossil flower was mounted on aluminum stub using nail polish, sputter coated with gold, and studied using a Phillips 515 Scanning Electron Microscope at 15 kV, and a Hitachi S-4300 Field Emission Scanning Electron Microscope at 2 kV. Internal structures were studied using SRXMT at the TOMCAT beamline of the Swiss Light Source at the Paul Scherrer Institute, Switzerland (Stampanoni et al., 2006). A more detailed outline of the technique used for coalified plant fossils is given by Friis et al. (2014). Slice data derived from the scans (Hintermüller et al., 2010) were then analyzed and manipulated using AVIZO (version 6.1 and 7.1) software for computed tomography.

RESULTS

The new fossil flower, *Kajanthus lusitanicus* gen. et sp. nov. described from the Early Cretaceous of Portugal is small, actinomorphic, trimerous, bisexual and slightly compressed with floral organs strongly adhering. The perianth is organized in more than two whorls. The filaments are thick and anthers tetrasporangiate. The pollen sacs are expanded with extrorse dehiscence. The SRXTM technique documents the presence of an apocarpous gynoecium and a superior ovary consisting of three free carpels tightly adhering to each other along the ventral faces (Figure 1A-C). The orthoslices in longitudinal sections through the carpels revealed the presence of several curved ovules in each carpel arranged in two longitudinal rows on marginal placentae and stamens with strongly protuberant pollen sac (Figure 1D, E). The character set of the *Kajanthus lusitanicus* flower is only found in extant Lardizabalaceae (Ranunculales).

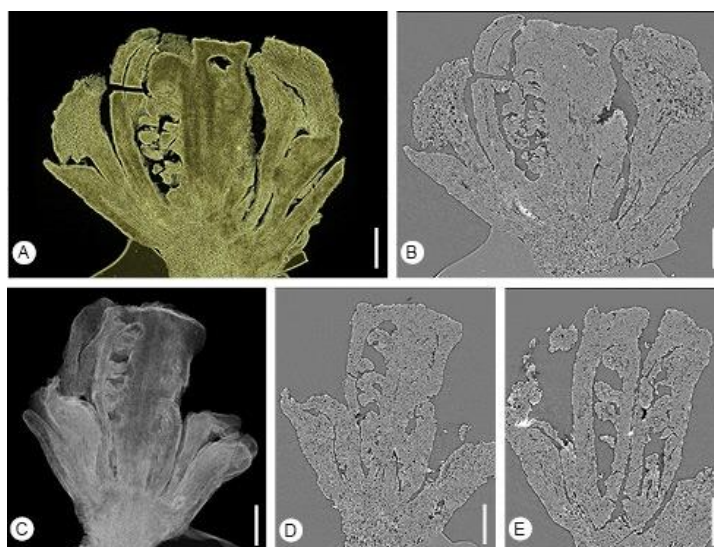


Figure 1. SRXTM reconstructions of *Kajanthus lusitanicus* gen. et sp. nov. from the Early Cretaceous of Lusitanian Basin (western Portugal). **A.** Longitudinal voltex reconstruction showing carpels in the central part of flower followed towards the outside of two stamens with strongly protuberant pollen sac. **B.** Longitudinal orthoslice through central part of flower showing carpels, stamens and perianth parts. **C.** Transparent voltex rendering of flower showing perianth parts and carpels in the centre. **D, E.** Longitudinal orthoslices through carpels showing the curved ovules and flattened apex of the carpels. Scale bars – 100 µm.

DISCUSSION & CONCLUSION

The new fossil flower *Kajanthus lusitanicus* is coalified with very few details preserved at the cellular level. However, critical and essential details of floral organisation are clear from SRXTM

reconstructions such as arrangement and number of floral parts, placentation and position of ovule, allowing the reconstruction of the new Early Cretaceous flower.

The application of SRXMT in palaeobotanical research provides an alternative and non-destructive technique for the study of plant mesofossils (flowers, fruits and seeds), revealing very useful information on internal features with high resolution in order to understand and visualize the detailed structure of fossil flowers and other plant mesofossils with an unprecedented and extraordinary level of detail. This method has been applied successfully to image a great variety of small mineralized (calcite and pyrite) and non-mineralized (charcoalified) plant fossils. The information is taken digitally and readily converted into three-dimensional reconstructions advancing our understanding of plant diversity and improving phylogenetic interpretations.

REFERENCES

- Friis, E.M., Crane, P.R., Pedersen, K.R., Stampanoni, M., Marone, F., 2015. Exceptional preservation on tiny embryos documents seed dormancy in early angiosperms. *Nature* 528: 551-554.
- Friis, E.M., Marone, F., Pedersen, K.R., Crane, P.R., Stampanoni, M., 2014. Three-dimensional visualization of fossil flowers, fruits, seeds and other plant remains using synchrotron radiation X-ray tomographic microscopy (SRXTM): New insights into Cretaceous plant diversity. *Journal of Paleontology* 88: 684-701.
- Friis, E.M., Pedersen, K.R., 2011. *Canrightia resinifera* gen. et sp. nov., a new extinct angiosperm with *Retimonocolpites*-type pollen from the Early Cretaceous of Portugal: Missing link in the eumagnoliid tree? *Grana* 50:3-29.
- Friis, E.M., Pedersen, K.R., Crane, P.R., 2010. Cretaceous diversification of angiosperms in the western part of the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162: 341-361.
- Stampanoni, M., Groso, A., Isenegger, A., Mikulian, G., Chen, Q., Bertrand, A., Henein, S., Betemps, R., Frommherz, U., Bohler, P., Meister, D., Lange, M., Abela, R. 2006. Trends in synchrotron-based tomographic imaging: the SLS experience, p. 780410-1/11. In: U. Bonse, Developments in X-ray Tomography V, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE).
- Friis, E.M., Crane, P.R., Pedersen, K.R., Stampanoni, M., Marone, F., 2015. Exceptional preservation on tiny embryos documents seed dormancy in early angiosperms. *Nature* 528: 551-554.
- Hintermüller, C., Marone, F., Isenegger, A., Stampanoni, M., 2010. Image processing pipeline for synchrotron-radiation-based tomographic microscopy. *Journal of Synchrotron Radiation* 17: 550-559.
- Mendes, M.M., Dinis, J., Pais J., Friis E.M., 2014a. Vegetational composition of the Early Cretaceous Chicalhão flora (Lusitanian Basin, western Portugal) based on palynological and mesofossil assemblages. *Review of Palaeobotany and Palynology* 200: 65-81.
- Mendes, M.M., Grimm, G.W., Pais, J., Friis, E.M., 2014b. Fossil *Kajanthus lusitanicus* gen. et sp. nov. from Portugal: Floral evidence for Early Cretaceous Lardizabalaceae (Ranunculales, basal eudicot). *Grana* 53: 283-301.



Sistemas de interface oceano-continente

Sistemas de interfaz oceano-continente

CAMBIOS EUSTÁTICOS EN EL MARJAL DE ALMENARA DURANTE EL HOLOCENO

A. Rodríguez-Pérez¹; A.M^a. Blázquez Morilla¹; J. Usera Mata²

¹ Instituto de Medio Ambiente y Ciencias Marina (IMEDMAR). Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir".
C/ Guillem de Castro, 94. 46003-Valencia. anarodriper@gmail.com

ABSTRACT

The holocene evolution of the Almenara marsh has been studied from mechanical cores, have been studied from a sedimentary, micropaleontological and chronostratigraphic point of view. The results have made it possible to differentiate and characterize the environments that have occurred during this period. In two of this cores, located on the coast, different deposits with littoral facies have been determined, as well as the Maximum Flood Area during MIS 1, which took place in this area around 5,500 years cal BP, according to dates made from ¹⁴C.

RESUMO

Se têm estudado a evolução dos pântanos de Almenara (Castellón) a partir de enquetes mecânicos que foram estudados desde o ponto de vista sedimentario, micropaleontológico y cronoestratigrafico. Os resultados destes estudos têm permitido diferenciar e caracterizar os ambientes que tiveram lugar ao longo do deste período. Em duas das pesquisas realizadas no litoral se têm determinado diferentes depósitos com facies litorais, assim como a superfície de máxima inundação durante MIS 1, que teve lugar nesta área sobres 5.500 anos cal BP, de acordó com as datación ¹⁴C.

INTRODUCCIÓN

El marjal de Almenara tiene una extensión de 1488, 72 ha, se trata de una zona húmeda de gran importancia ubicada en la provincia de Castellón. Está limitada norte por el río Belcaire, al sur el río Palancia, al este el mar Mediterráneo y al oeste la Sierra de Espadán. Debido a su biodiversidad, ha sido incluida recientemente en el Convenio RAMSAR, además de estar declarada Lugar de Interés Comunitario y Zona de Especial Interés para las Aves. El objetivo principal de este trabajo es conocer la evolución holocena del marjal así como los cambios eustáticos que se han sucedido en el ambiente a lo largo de este periodo.

Trabajos previos han estudiado los sedimentos desde un punto de vista geoquímico desde el Pleistoceno superior hasta el Holoceno (López-Buendía et al., 1995; Mediato & Santiesteban, 2006; Mediato et al., 2011a, 2011b; Mediato, 2016).

MÉTODOS

A partir de la fotointerpretación de pares estereoscópicos y del análisis de ortofotos y de la información topográfica de la zona se determinó la mejor localización de los sondeos mecánicos para la extracción de testigos. Los sondeos se realizaron con una sonda de recuperación de testigo a rotación de 15 cm de diámetro y fueron muestreados cada 10 cm. Se obtuvieron dos réplicas sobre las que se realizó el estudio sedimentario y micropaleontológico; el primero de ellos se basa en el análisis granulométrico y morfoscópico del sedimento, así como en la determinación del porcentaje de materia orgánica y carbonato. El estudio micropaleontológico tiene por objetivo inferir el paleoambiente a partir de la asociación de foraminíferos bentónicos. Para ello se extrajeron al menos 300 caparazones en aquellas muestras donde fue posible; en las muestras con menor abundancia se triaron la totalidad de los individuos. También se han considerado otros organismos como ostrácodos, bivalvos y gasterópodos fósiles. La cronología fue determinada a partir de dataciones por ¹⁴C, efectuadas en el laboratorio de Beta Analytic (Florida, USA).

RESULTADOS

El sondeo 4 se sitúa a unos 450 m de distancia de la costa actual, en las coordenadas UTM 30S 740710, 4401250 (WGS84), con una altitud de 0,3 m y una profundidad de 9,5 m. Se extrajeron un total de 90 muestras que han sido divididas en siete unidades sedimentarias; dos de estas muestras han sido datadas por ¹⁴C (Blázquez et al., 2017). La unidad I ocupa desde los -9,5 m hasta los -9,25

m y está formada por arena de color blanco con predominio de carbonato y fragmentos de cuarzo. En ella se encuentran rizotúbulos, concreciones ferruginosas, algunos restos de plantas y un contenido biogénico pobre (oogonios de carofitas y fragmentos de bivalvos y gasterópodos). La unidad II se extiende hasta los -7,2 m, donde predominan las limoarcillas color marrón claro con dos intercalaciones de arenas; el contenido biogénico es escaso y lo forman carofitas, fragmentos de bivalvos, y caparazones foraminíferos de la especie *Ammonia tepida* (Cushman) en dos muestras. La unidad III tiene una potencia de 2,4 m y engloba veintitrés muestras de color blanco formadas por arena de cuarzo, sin restos biogénicos. La unidad IV ocupa hasta -2,7 m y la forman veintisiete muestras, distinguiéndose niveles de limos y arcillas que alternan con niveles de arenas de carbonatos. Su contenido micropaleontológico lo forman fragmentos de moluscos, escasas valvas de ostrácodos y algunos foraminíferos donde predomina *A. tepida*, seguida de *Haynessina germanica* (Ehrenberg) y *Criboelphidium excavatum* (Terquem). La unidad V la forman cinco muestras que ocupan hasta los -1,5 m; de color gris y compuestas por limos y arcillas con arena de cuarzo y presencia de algunos restos de turba y *Posidonia oceanica* (Linné); el contenido biogénico es pobre y está formado por restos de gasterópodos marinos y dulceacuícolas, algunos oogonios de carofitas y escasos foraminíferos. Una datación por ^{14}C en la base de la unidad da una edad de 6.900-6.720 años cal BP. La unidad VI tiene una potencia de 0,75 m y comprende nueve muestras de arena de cuarzo de color gris con rizomas de *P. oceanica* en la base y un nivel de cantos aplanados a 1 m de profundidad. Se encuentran fragmentos de bivalvos y gasterópodos marinos, bien conservados en el techo, y abundantes foraminíferos, donde destacan las especies de hábitat marino *Rosalina globularis* (d'Orbigny), *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob), *Elphidium macellum* (Fichtel & Moll), *C. excavatum*, *Bolivina pseudoplicata* (Heron-Allen & Earland), *Miliolinella circularis* (Bornemann) y *Adelosina longirostra* (d'Orbigny). Se ha datado una muestra de la base de la unidad a partir de ^{14}C y ha dado una edad comprendida entre 5.580 y 5.530 años cal BP y 5.480 y 5.310 años cal BP. Por último, la unidad VII ocupa los 0,75 m del techo del sondeo y está formada por once muestras de color gris, en las que predomina la arena de cuarzo y carbonato. Se observan rizotúbulos, precipitación de carbonatos, gasterópodos de agua dulce, salobre y marina, ostrácodos dulceacuícolas y de agua salobre y abundantes foraminíferos alóctonos (*A. tepida*, *R. globularis*, *C. excavatum*, *L. lobatula*, *A. longirostra*, *Ammonia beccarii* (Linnaeus), *E. macellum*), que muestran caparazones erosionados.

El sondeo 5 se sitúa a unos 400 m de distancia de la línea de costa actual, en las coordenadas UTM 30S 742074, 4403710 (WGS 84), con una altitud de 1,56 m y una profundidad de 12,5 m. Se extrajeron en total 91 muestras que se han separado en cuatro unidades sedimentarias. La unidad I se extiende desde la base hasta -9,91 m y comprende trece muestras de color beige formadas por arena con alguna grava pequeña; su biofacies es pobre y está formada por algunas valvas de ostrácodos y foraminíferos, donde predomina la especie *A. beccarii*, acompañada por *H. germanica*, *C. excavatum*, *Elphidium crispum* (Linnaeus) y *E. macellum*. La unidad II ocupa hasta los -3,39 m y la forman cincuenta y una muestras de arena gruesa de color beige, con gravas pequeñas, compuesta por cuarzo, calcita, caliza y precipitados de carbonato. A lo largo de la unidad se observan niveles ricos en limos y arcillas y otros con abundantes cantos y gravas redondeadas y puntualmente angulosas. Los restos biogénicos son escasos, constituidos por gasterópodos marinos y foraminíferos, entre los cuales destaca *A. beccarii*. La unidad III la forman veintiuna muestras que ocupan hasta los -0,77 m, son de color beige y están formadas por arena de cuarzo hialino y calcita; se identifican algunos niveles de gravas y otros de limos y arcillas. Entre el contenido micropaleontológico se encuentran gasterópodos marinos y foraminíferos abundantes de las especies *A. beccarii*, *R. globularis*, *C. excavatum*, *A. mamilla*, *A. longirostra* y *E. macellum*. La unidad IV la forman seis muestras y tiene una potencia de 0,77 m, son de color marrón claro y están formadas por cuarzo hialino y carbón. El contenido biogénico lo forman fragmentos de bivalvos y gasterópodos, así como foraminíferos poco abundantes de las especies *A. beccarii*, *R. globularis* y *C. excavatum*.

DISCUSIÓN

Atendiendo a los resultados obtenidos, la interpretación paleoambiental de los sondeos es la siguiente (Figura 1):

El sondeo 4 muestra en su base (unidad I) un depósito carbonatado con exposición subaérea cuyo origen es la precipitación masiva de carbonato, probablemente en un medio subacuático, por la abundancia de rizotúbulos, restos de plantas, y organismos fósiles acuáticos. En contacto progresivo (unidad II) se observan facies de *backbarrier flat* donde se aprecian facies de marjal, con finas granulometrías, foraminíferos de aguas salobres y oogonios de carofitas, que contactan con facies de barrera que se asocian con las pasadas de arenas. Sobre este depósito (unidad III) se instala un nivel litoral que presenta arenas con predominio de cuarzo hialino y calcita sin restos faunísticos, que podría corresponderse con la playa emergida inmediata (*backshore*). A continuación (unidad IV) se registra un marjal salobre con fluctuaciones en el nivel de agua, según muestra la alternancia de sedimentos limoarcillosos con arenas de carbonatos y el contenido fósil de carácter salobre. La presencia de algunos foraminíferos marinos indica la proximidad del mar en este punto. Sobre este ambiente se deposita un marjal dulceacuático u oligohalino (unidad V) que tiene lugar en torno a 6.900-6.720 años cal BP, cuyo contenido biogénico y características sedimentológicas reflejan una mayor estabilidad respecto al marjal de la unidad anterior y una profundidad escasa. El siguiente ambiente (unidad VI) se instaló en la zona hacia 5.480-5.310 años cal BP y se corresponde con un ambiente marino, atendiendo a la presencia de *P. oceanica*, arenas de cuarzo y el contenido micropaleontológico de origen marino, posiblemente se trate de facies de shoreface o foreshore. El último depósito (unidad VII) se interpreta como un marjal con influencia marina, en el que se encuentra fauna y foraminíferos característicos de ambos ambientes.

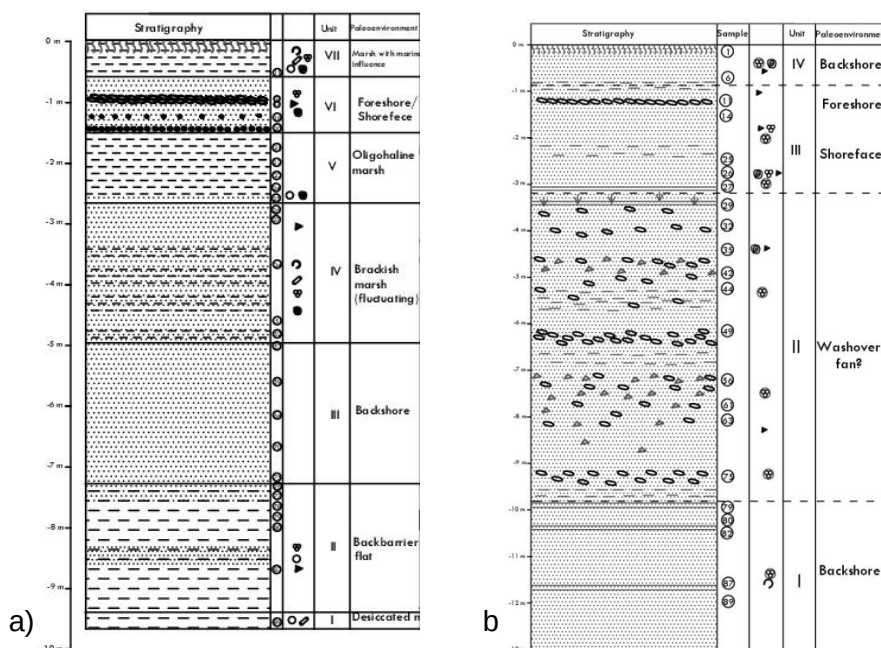


Figura 1. Columnas estratigráficas e interpretación de los sondeos. a) Sondeo 4; b) Sondeo 5.

La base del sondeo 5 (unidad I) se corresponde con un *backshore* según el predominio de arenas de cuarzo de tamaño seleccionado, escaso contenido biogénico, abundancia precipitados de óxido de hierro y predominio de *A. beccarii*. El siguiente depósito (unidad II) podría interpretarse como un *washover fan*, aunque sus características micropaleontológicas, sedimentarias y estratigráficas no permiten confirmar esta interpretación. A continuación (unidad III) se observa un ambiente de origen marino según refleja su fauna y contenido en foraminíferos, que se interpreta como un depósito de *shoreface* en la base y que hacia techo da paso a sedimentos de *foreshore*. Este ambiente supone una entrada marina al medio con anterioridad a 5.542-5.367 años cal BP según una datación realizada en esta unidad. El último depósito (unidad IV) lo forma un ambiente emergido, probablemente en facies de *backshore*, en el que dominan las arenas seleccionadas de cuarzo hialino, precipitaciones de óxido de hierro y foraminíferos marinos poco abundantes y muy rodados.

En relación con los cambios eustáticos más recientes registrados en el marjal de Almenara, se observa que en los sondeo 4 y 5 un paleoambiente de *shoreface* da paso hacia techo a un *foreshore*, cuya base se data en torno a 5.500 años cal BP. No se registra en ninguno de los sondeos un paleoambiente previo en facies marinas. La Máxima Superficie de Inundación en la marjal de Almenara coincide, por tanto, con la propuesta de Pirazzoli (2005), quien atribuye el nivel máximo de la transgresión holocena en el Mediterráneo hacia 6.000 años BP; en contraste, otros autores sitúan la máxima inundación en torno al 7.000 años cal BP (Zazo et al., 1994, 1996; Goy et al., 1996; Dabrio et al., 2000; Fernández-Salas et al., 2003; Mediato, 2016). Hacia techo, este paleoambiente es sustituido por facies de *backshore* en el norte (sondeo 5) mientras que en el sondeo 4 se registran facies de marjal.

CONCLUSIÓN

En el marjal de Almenara la Máxima Superficie de Inundación se reconoce en los sondeos costeros (sondeo 4 y 5) por un ambiente de *shoreface* que da lugar a un ambiente de *foreshore*. Se registra en sondeos localizados entre 400 y 450 m de la línea de costa actual y se data alrededor de 5.500 años cal BP. Los foraminíferos que colonizan el ambiente son: *A. beccarii*, *R. globularis*, *A. longirostra*, *L. lobatula*, *C. excavatum* y *B. pseudoplicata*.

REFERENCIAS

- Blázquez, A.M., Rodríguez Pérez, A., Torres, T. y Ortiz, J.E., 2017. Effect of global factors on holocene environmental changes in the Almenara marsh (Western Mediterranean). *Quaternary Research*. In press.
- Dabrio, C.J., Zazo, C., Goy, J.L., Sierro, F.J., Borja, F., Lario, J., ..., Flores, J.A., 2000. Depositional history of estuarine infill during the Late Pleistocene-Holocene postglacial transgression. *Marine Geology* 162: 381-404.
- Fernández-Salas, L.M., Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Rodero, J., Díaz del Río, 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): 1037-1054.
- Goy, J.L., Zazo, C., Dabrio, C., Lario, J., Borja, F., Sierro, F.J., Flores, J.A., 1996. Global and regional factor controlling changes of coastlines in Southern Iberia (Spain) during the Holocene. *Quaternary Science Reviews* 15 (8-9): 773-780.
- López-Buendía, A.M., Bastida, J., Querol, X., Fernández-Turiel, J.L., 1995. Geoquímica comparada de depósitos de turberas altas (tremedales de los Montes Universales, Teruel) y de turberas bajas (Marjales de la depresión Valencia-Castellón). *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 20: 99-116.
- Mediato, J.F., 2016. Oscilaciones del nivel del mar desde el Pleistoceno superior en el sector costero Sagunto-Benicasim (Valencia-Castellón). *Registro sedimentario, geoquímico e histórico*. Tesis doctoral (inédita). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Mediato, J.F., Santisteban, J.I., 2006. Subfacies geoquímicas: una mejora en la caracterización de depósitos litorales (sondeo de Almenara, provincia de Castellón). *Boletín Geológico y Minero* 117: 519-524.
- Mediato, J.F., Santisteban, J.I., Mediavilla, R., Dabrio, C.J., 2011a. Análisis estratigráfico y sedimentológico del registro Holoceno del marjal de Almenara. Variaciones eustáticas. En: *Avances en Geomorfología Litoral*: 163-166.
- Mediato, J.F., Santisteban, J.I., Mediavilla, R., Dabrio, C.J., 2011b. Análisis geoquímico del registro holoceno del marjal de Almenara. Variaciones eustáticas. *Actas de las VI Jornadas de Geomorfología Litoral, Tarragona*, pp. 166-170.
- Pirazzoli, P.A., 2005. A review of posible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area. *Quaternary Science Reviews* 24: 1989-2001.
- Zazo, C., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Bardaji, T., Ghaleb, B., Lario, J., ..., Borja, F., 1996. Cambios en la dinámica litoral y nivel del mar durante el Holoceno en el Sur de Iberia y Canarias. *Geogaceta* 20: 1679-1682.
- Zazo, C., Goy, J.L., Hillaire-Marcel, C., Dabrio, C., Hoyos, M., Lario, J., ..., Silva, P.G., 1994. Variaciones del nivel del mar: Estadios isotópicos 7, 5 y 1 en las costas peninsulares (S y SE) e insulares españolas. *Gibraltar during the Quaternary, AEQUA, Monografías* 2: 26-35.

CARACTERIZACIÓN SEDIMENTARIA DE FACIES TEMPESTÍICAS EN BARRERAS ARENOSAS DEL ESTUARIO DE HUELVA (SO ESPAÑA).

P. Gómez^{1,2}; J. Rodríguez-Vidal^{1,2}; M.L. González-Regalado¹; M.J. Clemente¹; L.M. Cáceres^{1,2}; A. Toscano¹; M. Abad³; T. Izquierdo³; F. Ruiz¹

¹ Depto. Ciencias de la Tierra, Campus del Carmen, Universidad de Huelva, España. jrvidal@dgeo.uhu.es

² Campus de Excelencia Internacional-CEIMAR, Universidad de Huelva, España.

³ Depto. de Geología, Universidad de Atacama, Copiapó (Chile).

ABSTRACT

This work characterizes the sedimentary facies of storms that are recorded in the upper reaches of the internal sand barriers at the mouth of the Roman paleo-estuary of Huelva (*Palus Erebea*). This storm facies reveals a very effective growth mechanism for the backshore area by means of its vertical aggradation and northward progradation during high-energy wave episodes. The calibrated and modelled radiocarbon dates in marine shells of *Glycymeris* provide a time range between the late 1st BC and the entire 2nd AD centuries.

RESUMEN

Este trabajo caracteriza las facies tempestíticas que se localizan en las barreras arenosas internas del estuario de Huelva y que conformaban la bocana de la antigua *Palus Erebea* romana. Su edad calibrada por radiocarbono está comprendida entre finales del siglo I a.C. y todo el siglo II d.C.

INTRODUCCIÓN

Hace unas tres décadas que se iniciaron los estudios morfosedimentarios de los depósitos holocenos de la costa atlántica del golfo de Cádiz, sobre todo en los estuarios de los ríos Tinto-Odiel y Guadalquivir (p.e. Rodríguez-Vidal, 1987; Zazo et al., 1994). Durante estos años las interpretaciones genéticas, evolutivas y cronológicas se han realizado por medio de sondeos y de afloramientos superficiales. Recientemente, los nuevos perfiles naturales encontrados en la Isla de Saltés (La Cascajera) están ofreciendo una nueva perspectiva sobre la génesis y cronología de los depósitos que rellenaron el estuario de los ríos Tinto y Odiel, durante el presente alto marino interglaciar (Rodríguez-Vidal et al., 2015).

FACIES DE TEMPESTITAS

El objetivo principal de este trabajo es el análisis de los niveles sedimentarios superiores de la barrera arenosa de La Cascajera que, en su extremo occidental alcanza, a techo, algunas decenas de centímetros y, hacia la zona central y oriental, ocupa todo el espesor aflorante en marea baja, es decir, algo más de 3 m (Figura 1). La secuencia sedimentaria basal de estos cordones arenosos ya ha sido interpretada como llanura de cheniers, sobre la que se acumulan depósitos tempestíticos con morfología de abanicos de desbordamiento, progradantes hacia tierra y agradantes a techo (Figura 1). En ellos se han diferenciado tres facies principales:

FACIES 1: Se caracteriza por niveles de acumulación de valvas desarticuladas, principalmente de *Glycymeris violascens*, en una matriz arcillosa muy escasa. Los fragmentos de bivalvos y las valvas desarticuladas constituyen más del 90% de la asociación faunística presente en algunas de las muestras, aunque también pueden contener granos de cuarzo. Su base tiene un espesor variable (escala decimétrica/centimétrica) que se alternan con capas de arcillas menos potentes. Muestran una superficie de erosión que se hunde en sentido noroeste y está comúnmente cubierta por una capa de conchas de bivalvos, dispuesta de forma imbricada y/u orientada paralelamente.

FACIES 2: Está formada por arena bioclástica de tamaño medio-grueso y grava con bajo contenido en grano fino (arena: 75-20%; grava: 65-20%; grano fino: <3%). Este depósito, situado sobre la facies de chenier infrayacente, forma capas de entre 20-50 cm de espesor. Se muestran con una base erosiva y deformada, delimitada por niveles bioclásticos de valvas de moluscos con un porcentaje variable de matriz arcillosa. Estos depósitos muestran una clara inclinación N-NO con una cara de avalancha inclinada (>30°) que definen cuerpos sedimentarios progradantes y de acreción lateral.

FACIES 3: Consiste en arena bioclástica de tamaño medio-fino y grava con bajo contenido en sedimentos de grano fino (arena: 80-20%; grava: 65-30%; grano fino: < 5%). Observamos capas de 30-40 cm de espesor, normalmente clasificadas, con laminación paralela difusa y generalmente definida por cambios en el tamaño de grano.

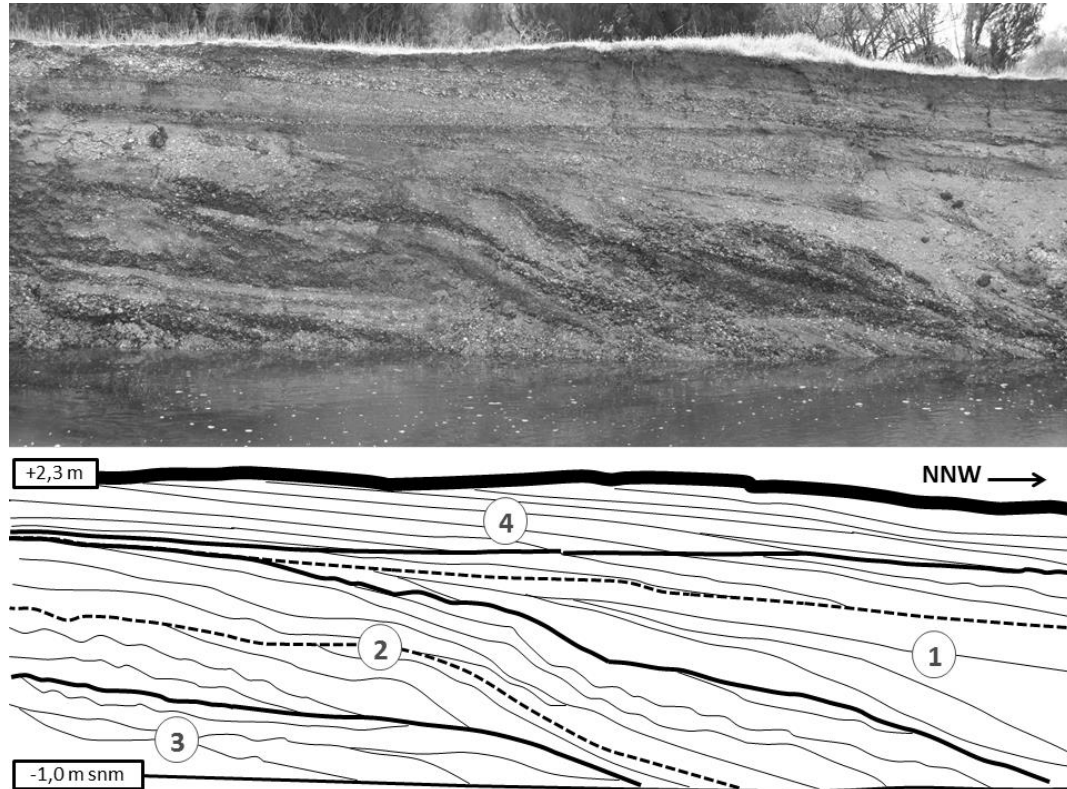


Figura 1. Afloramiento-tipo (en marea baja) de una secuencia tempestítica en el flanco noreste de La Cascajera, donde se aprecia superposición de lóbulos progradantes de abanicos de desbordamiento en sus sectores proximal (1), medio (2) y distal (3); recubiertos por un tramo agradante y condensado (4) de depósitos de “cola” de abanico que estabilizan y hacen aflorar permanentemente la barrera estuarina (+2,3 m) por encima del nivel máximo de marea. La línea negra gruesa indica un suelo orgánico sobre arena.

CONCLUSIONES

Las barreras arenosas relictas, en el interior del estuario de Huelva (Isla Saltés), nos muestran cómo las paleo-bocanas evolucionaron desde llanuras de cheniers, que funcionaban inicialmente como bajíos, hasta su consolidación como barreras construidas por tormentas. Su emersión se produjo por progradación y agradación de abanicos y lóbulos de arenas y conchas, que volcaban sus sedimentos en los flancos internos de los canales mareales (“esteros”) o sobre las llanuras de fangos. La barrera de La Cascajera nos ha servido de ejemplo para este estudio de facies sedimentarias de alta energía, con una secuencia tempestítica que abarcaría temporalmente desde la segunda mitad del siglo I a.C. hasta finales del siglo II d.C. o, incluso, comienzos del siglo III d.C.

REFERENCIAS

- Rodríguez-Vidal, J., 1987. Modelo de evolución geomorfológica de la flecha litoral de Punta Umbría, Huelva, España. *Cuaternario y Geomorfología* 1: 247-256.
- Rodríguez-Vidal, J., Abad, M., Cáceres, L.M., González-Regalado, M.L., Clemente, M.J., Gómez, P., Toscano, A., Izquierdo, T., Ruiz, F., Soares, A.M.M., 2015. Registro de tempestitas en llanura de cheniers durante los siglos I a.C./d.C. (estuario de Huelva). *Geo-temas* 15: 77-80.
- Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C.J., Belluomini, G., Improta, S., Lario, J., Bardaji, T., Silva, P.G., 1994. Holocene sequence of sea-level fluctuations in relation to climatic trends in the Atlantic-Mediterranean linkage coast. *Journal of Coastal Research* 10: 933-945.

ANTHROPOGENIC IMPACT IN THE SUANCES ESTUARY (CANTABRIA, N. SPAIN): MICROFAUNAL AND GEOCHEMICAL EVIDENCES IN ITS RECENT GEOLOGICAL RECORD

H. Serrano¹; A. Cearreta¹; M.J. Irabien¹; J. Gómez Arozamena²

¹ Universidad del País Vasco UPV/EHU, humberto.serrano@ehu.eus, alejandro.cearreta@ehu.eus, mariajesus.irabien@ehu.eus

² Universidad de Cantabria, jose.gomez@unican.es

ABSTRACT

Benthic foraminiferal contents and Zn, Pb, Cd and Hg concentrations have been analyzed in three short cores of the Suances estuary (Cantabria, N. Spain) in order to characterize the environmental evolution of its recent geological record. High levels these metals and reduced numbers of foraminifera have been detected along all cores, suggesting a very intense and persistent deterioration of the original conditions of the estuary as a consequence of mining, industrial and urban activities during the last 160 years. Multiproxy geochemical and microfaunal techniques represent a powerful tool for the historical monitoring of the environmental transformation process in coastal areas.

RESUMEN

Se ha analizado el contenido en foraminíferos bentónicos y las concentraciones de Zn, Pb, Cd y Hg en tres sondeos cortos de la Ría de Suances (Cantabria, España) con el fin de caracterizar la evolución ambiental de su registro geológico reciente. Se han detectado altos niveles de estos metales, así como reducidas cantidades de foraminíferos en todos los sondeos, lo que sugiere la existencia de un deterioro persistente de las condiciones originales del estuario asociado a la actividad minera, industrial y urbana desarrollada durante los últimos 160 años. El uso conjunto de técnicas geoquímicas y microfaunísticas representa una poderosa herramienta para el seguimiento de los procesos de transformación ambiental en las zonas costeras.

INTRODUCTION

The Suances estuary (Cantabria, Northern Spain) is a shallow mesotidal coastal setting, 5.5 km long and 150 m wide, and one of the most polluted coastal environments in the Bay of Biscay (Figure 1). Anthropogenic occupation during the last 160 years has reduced around 30% the original estuarine surface. The channeling of the estuary accomplished since 1878 CE has modified its hydrodynamic conditions, causing a drastic reduction of the energy level in its intertidal flats and favoring an intense accumulation of polluted muddy sediments (Irabien et al., 2008).

The “Real Compañía Asturiana de Minas” intensely exploited the Reocín deposits, located few km upstream, from 1856 until 2003 CE, when the mine was closed due to resource exhaustion. These Zn and Pb ores represented one of the largest carbonated deposits of this kind in Europe (Velasco et al., 2003). As a consequence, several industries dedicated to the treatment of metals settled around the estuary. In 1908 CE the Solvay Company was deployed, dedicated to the production of caustic soda (Toca, 1997), while AZSA-Asturiana de Zinc, specialized in the toasting of Zn sulfur concentrates, was inaugurated in 1929 CE.

The objective of this work is the study of the recent environmental transformation of this estuary through the geochemical and microfaunal evolution present in its recent geological record.

METHODS

Three short cores (0.5 m long), retrieved in May 2016, have been analysed in order to complete from previous works (Irabien et al., 2008, Serrano et al., 2016) the evaluation of the recent geological record and infer possible post-industrial environmental changes in the last years, especially after the cessation of mining activity in 2003 CE. They were obtained in three locations along the estuary (Figure 1): two in Miengo (right bank) and one near to the “Vuelta Ostrera” Waste Water Treatment Plant (WWTP, core EDAR) on the left bank. In each core, a high resolution analysis of both the microfaunal content of benthic foraminifera (through their observation under a binocular microscope) and the concentration of heavy metals (obtained through Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry, ICP-OES after digestion with aqua regia) was carried out.

RESULTS

In general, very high levels of Pb, Zn and Cd have been detected in all cores, together with a reduced number of foraminiferal tests (Table 1). The foraminiferal assemblages decrease from the base of the cores to the upper part, while heavy metals show an inverse trend.

The high concentration in heavy metals and the very poor microfaunal results along the cores suggest that the very low environmental quality of the sediment is very persistent through time. The core recovered near the WWTP shows very low foraminiferal diversity and extremely poor species abundance (Table 1). In statistical terms, it can be considered as abiotic. However, contents of heavy metals at this location are not as high as those obtained in the other two cores, where many samples clearly exceed the Effect Range-Medium values (ERMs) for Pb, Zn, Cd and Hg proposed by Long et al., (1995) (Table 1). These ERMs indicate concentrations above which biological effects are frequently expected.

Table 1. Summary of geochemical and microfaunal data.

Geochemical data	Pb	Zn	Cd	Hg
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
EDAR core	14 - 184	41 - 1700	<0.5 - 3.5	<1 - 1
MIENGO1 core	30 - 642	91 - 4230	<0.5 - 9.8	<1 - 8
MIENGO2 core	544 - 2700	2070 - >10000	5.7 - 35.3	<1 - 41
Regional background (Viguri et al., 2007)	26 ± 4	92 ± 26	-	-
ERM (Long et al., 1995)	218	410	9.6	0.71
Microfaunal data	Abund. ranges	Divers. ranges	Total species	
	Ind./15 g sedim.	Species/sample	Species/core	
EDAR core	0 - 8	0 - 8	9	
MIENGO1 core	23 - 2895	4 - 13	30	
MIENGO2 core	0 - 32882	0 - 8	18	

DISCUSSION

Previous works carried out in the estuary detected high concentrations of heavy metals (Zn, Pb, Cd and Hg mainly) and organic compounds (PAHs) in surface sediments and recent geological record (Coz et al., 2007; Irabien et al., 2008). The obtained data in this study allowed to illustrate the process of its recent environmental transformation. These values are higher than the regional background values for estuarine sediments (Viguri et al., 2007; Table 1). The lower estuary changed from unpolluted sandy conditions with an abundant and diverse foraminiferal assemblage to a muddy tidal flat enriched in heavy metals and depleted of microfauna, indicating a strong pauperization in the quality of the sediments. In the same way, surface samples recovered recently (May 2015) in 22 locations along the estuary (Figure 1) showed a reduced number of foraminiferal tests (specially in the left bank) and very high heavy metal concentrations too, reflecting the effect of the poor environmental quality of the estuary nowadays (Serrano et al., 2016). In view of the results obtained, together with data from previous works, and although mining activity ceased more than a decade ago, it is not possible yet to talk about a true process of environmental regeneration in the estuary.

CONCLUSION

The multiproxy use of geochemical and microfaunal techniques for monitoring the environmental transformation of coastal areas has proven to be a very useful tool. The information obtained both in surface samples and the recent geological record constitutes an excellent basis to compare the effectiveness of the possible measures of action that could be taken for the environmental recovery of this estuary.

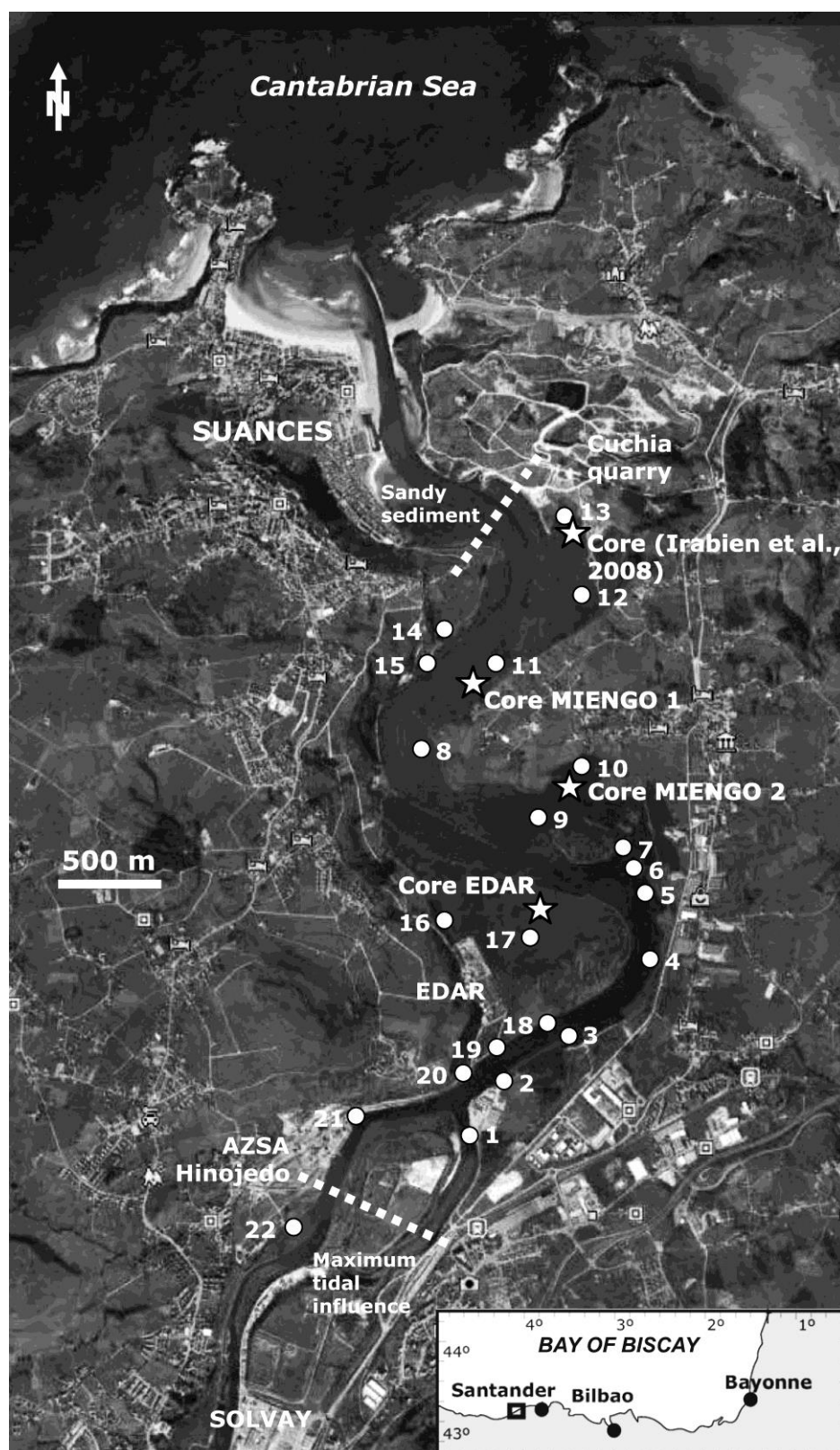


Figure 1. Location of surface samples (circles) and cores (stars) in the Suances estuary (N. Spain).

ACKNOWLEDGEMENTS

Research funded by the ANTROPICOSTA-Anthropocene sedimentary record in the Cantabrian coastal environments (Spanish MINECO, CGL2013-41083-P) and HAREA-Coastal Geology Research Group (Basque Government, IT976-16) projects.

REFERENCES

- Coz, A., González-Piñuela, C., Andrés, A., Viguri, J.R., 2007. Physico-chemical and environmental characterisation of sediments from Cantabrian estuaries (Northern Spain). *Aquatic Ecosystem Health & Management* 10 (1): 41-46.
- Irabien, M.J., Cearreta, A., Leorri, E., Gómez, J., Viguri, J., 2008. A 130-year record of pollution in the Suances estuary (southern Bay of Biscay): implications for environmental management. *Marine Pollution Bulletin* 56: 1719-1727.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19 (1): 81-97.
- Serrano, H., Cearreta, A., Irabien, M.J., Gómez Arozamena, J., 2016. Impacto humano en la ría de Suances (Cantabria): indicadores geoquímicos y microfaunísticos en los sedimentos actuales. *Geogaceta* 60: 63-66.
- Toca, A., 1997. Industria química y cambio tecnológico: el proceso electrolítico Solvay en Torrelavega. *Quaderns d'Historia de l'enginyeria* Vol. II: 40-69.
- Velasco, F., Herrero, J. M., Yusta, I., Alonso, J.A., Seebold, I., Leach, D., 2003. Geology and geochemistry of the Reocín zinc-lead deposit, Basque-Cantabrian Basin, Northern Spain. *Economic Geology* 98: 1371-1396.
- Viguri, J.R., Irabien, M.J., Yusta, I., Soto, J., Gómez, J., Rodríguez, P., Martínez-Madrid, M., Irabien, J.A., Coz, A., 2007. Physico-chemical and toxicological characterization of the historic estuarine sediments: a multidisciplinary approach. *Environment International*: 436-444.

FORAMINIFERA ASSEMBLAGES IN COASTAL PALAEOENVIRONMENTS IN THE VALENCIA LAGOON

M. López-Belzunce¹; A. María Blázquez¹; P. Carmona²; J. Miguel Ruiz²

¹ Instituto de Medio Ambiente y Ciencia Marina (IMEDMAR). Universidad Católica de Valencia. C/ Guillem de Castro, 94. 46003-Valencia

² Departamento de Geografía. Universitat de València. Av. Blasco Ibáñez, 28. 46010. Valencia

ABSTRACT

Three different benthic foraminiferal assemblages have been identified at north of Valencia lagoon in the last 3000 cal yr BP. Differences between the units allow to identify three palaeoenvironments: a brackish lagoon with high marine connection, composed of a mixture of normal-marine salinity (stenohaline) and brackish (euryhaline) benthic foraminifera. The following section indicates that a brackish lagoon with marine connection continues, but with a lower connexion in respect of marine environment; increased abundance of brackish species is noted. This marine influence is perceived until at least 1073 ± 240 cal yr BP. Finally, a brackish marsh is recorded at the top of the core, characterised by flood events and also by influence of freshwater when total isolation of the lagoon occurred (791 ± 104 cal yr BP) at the north of Valencia lagoon. The core position allows concluding that the marine influence at the northern lagoon remains longer time regarding southern locations, according to previous studies.

RESUMEN

Se han identificado tres asociaciones diferentes de foraminíferos bentónicos en los últimos 3.000 años BP al norte de la Albufera de Valencia. Las diferencias entre las unidades permiten identificar tres paleoambientes: una laguna salobre con alta conexión marina, formada por una mezcla de foraminíferos bentónicos de salinidad marina normal (estenohalinos) y taxones de aguas salobres (eurihalinos). La siguiente unidad muestra un depósito lagunar en el que la comunicación marina continúa, aunque en menor medida, donde se constata la mayor abundancia de especies salobres. Esta conexión marina se percibe al menos hasta 1073 ± 240 años BP. Finalmente, se registra una marjal salobre hacia el techo del testigo, caracterizada por períodos de inundación y también por la influencia de agua dulce en el momento del aislamiento total de la laguna (791 ± 104 años BP). La posición del sondeo permite inferir que la influencia marina en la zona norte de la Albufera perdura durante más tiempo respecto a posiciones más meridionales, de acuerdo con estudios previos.

INTRODUCTION

The aim of this study is to characterize the main benthic foraminiferal assemblages and their distribution along one core obtained at the north of Valencia lagoon. This paper is part of a widely research of the Valencia lagoon (Carmona et al., 2015). These organisms play a major ecological role in the ecosystem; their wide environmental range and calcareous tests make them suitable for providing interpretation and extrapolation tools for palaeoecological and palaeoenvironmental reconstructions (Blázquez & Usera, 2010; Blázquez & Ferrer, 2012).

Coastal lagoons and flood plains are environments highly vulnerable and they are very exposed to processes such as flooding, subsidence, sediment scarcity and coastline erosion. The foraminifera have proved to be a reliable tool for understanding these changes in the environments.

METHODS

A manual core was realized in the north of the Valencia lagoon, called Tremolar 2, in geographical coordinates $39^{\circ}24'21''$, $0^{\circ}21'18''$, at 0.65 m a.s.l and 3.5 m thick. The methodology used in this study is based on the integration of geomorphological, stratigraphic, sedimentological and micropalaeontological techniques (foraminifera, charophytes, ostracods, etc.) and ^{14}C dating.

In this case it is focused on the foraminifera methodology. Systematic sampling involved collection at intervals of 10 cm along the core. The tests were picked using a binocular stereomicroscope until a representative number of 300 individuals per sample were obtained. The resulting data were quantitatively analysed, and Diversity Index (Shannon & Weaver, 1949), Dominance, Equitability and Fisher's Alpha (Fisher et al., 1943) were calculated in order to establish the composition, proportional abundance and dominance of the species identified in the samples.

RESULTS AND DISCUSSION

The sedimentological features and microplaeontological study allow us to distinguish three environments (Table 1 and 2): brackish lagoon with high marine connection (2.8-2.1 m bsl), brackish lagoon with low marine connection (2.1-1.2 m bsl) and a brackish marsh (1.2 bsl-0.3 asl).

1) Brackish lagoon with high marine connection (2.8-2.1 m bsl): the dominant foraminiferal assemblage is formed by a mixture of brackish organism, *Ammonia tepida* (Cushman, 1926), *Haynesina germanica* (Ehrenberg, 1840), *Criboelphidium excavatum* (Terquem, 1875) and *Pseudolachlanellae burnea* (D'Orbigny, 1839), with another of marine salinity foraminifera, with lower presence, formed by *Rosalina globularis* (D'Orbigny, 1839), *Miliolinella circularis* (D'Orbigny, 1839) and *Pseudotriloculina rotunda* (D'Orbigny, 1826). Besides, there are epiphytic species of *Posidonia oceanica*, such as *Planorbulina mediterraneensis* D'Orbigny, 1826 and *Nubecularia lucifuga* Defrance, 1825. Regarding the diversity indices in this unit, indicates an environment with lower diversity, as correspond to restricted waters. Fisher's alpha diversity presents higher values at this unit (Table 1), and the dominance indices the lowest values indicating high presence of different species. Three ^{14}C dating were obtained from this unit from the bottom to the top respectively: 3.1 m -3.2 m, 2941 ± 268 cal yr BP; 2.8 m-2.9 m, 2648 ± 185 cal yr BP; 2.7m-2.8 m, 2797 ± 50 cal yr BP.

Table 1. Medium values of Diversity indexes.

Medium values	Brackish lagoon, high marine connection	Brackish lagoon, low marine connection	Brackish marsh	Hiposaline marsh
Samples	32-26	25-16	15-7	7-1
Taxa_S	15,29	5,80	2,75	3,67
Individuals	316,43	322,10	231,25	305,50
Dominance_D	0,51	0,65	0,83	0,83
Shannon_H	1,25	0,71	0,33	0,37
Equitability_J	0,46	0,42	0,33	0,29
Fisher_alpha	3,58	1,02	0,62	0,59

2) Brackish lagoon with low marine connection (2.1-1.2 m bsl): The microfossils study indicates the low presence of normal-marine salinity species, even its absence, and increasing abundance of brackish species (Table 2) *A. tepida*, *C. excavatum* and *H. germanica*. It is remarkable the high abundance of the specie *C. excavatum* and massive calcium carbonate precipitation processes that are observed at the top of this unit. These sediments, together with micropaleontological evidence, are interpreted as episodes of saturation, which indicate an energy decrease in the environment. The values of diversity decrease at this level and increase the dominance of brackish foraminifera. One ^{14}C dating at 2.2 metres deep indicate an age of 1073 ± 240 cal yr BP.

Table 2. Relative abundance of the principal benthic foraminiferal assemblages.

Samples	32-26	25-16	15-7	7-1
Relative abundance%				
<i>Miliolinella circularis</i>	1,46	1,06	0,00	0,00
<i>Pseudolachlanellae burnea</i>	2,52	2,40	0,00	0,00
<i>Pseudotriloculina rotunda</i>	1,39	0,82	0,00	0,00
<i>Ammonia tepida</i>	67,78	77,93	90,00	90,63
<i>Criboelphidium excavatum</i>	2,05	9,57	1,91	2,07
<i>Haynesina germanica</i>	9,90	7,92	4,92	6,33
<i>Rosalina globularis</i>	2,31	0,00	0,00	0,00

3) Brackish marsh (1.2 bsl-0.3 asl): this unit can be separated in two sub-units divided by a peat layer. The first subunit shows the low presence of different foraminifera species and a low diversity index, and plant structures can be also observed. The great organic matter content and the appearance of charcoal in the middle of this unit can be an indicative of swampy environment. The second subunit shows hiposaline species like *Entzia macrescens* (Brady, 1870) and pyrite concretions typical from anoxia marsh. Therefore, the benthic foraminiferal assemblage suggests a brackish marsh. The diversity indices are the lowest of the three units. One ^{14}C dating was obtained at the peat layer with an age of 144 ± 159 cal yr BP at 1.12 metres of deep.

The principal assemblage analysed, the sedimentological evidences together with the ^{14}C dating, suggested firstly, at unit I, a restricted brackish lagoon clearly communicated with the sea. Secondly, the unit II, corresponds to brackish lagoon with low marine connection with desiccation events at the top of the unit; this unit is dated at 1073 ± 240 cal yr BP. This palaeoenvironment is identical as the one recognised in the core SAL 1/2 in the nearby area situated further south (Carmona et al., 2016) until 3710 ± 130 cal yr BP. At that moment, a brackish lagoon without marine connection was formed, around 820 ± 90 cal yr BP a shift to a totally isolated lagoon environment took place, changing from brackish lagoon to freshwater due to the Turia river influence. The core analysed in this research still have marine communication at least 1073 ± 240 cal yr BP. Therefore, it suggests that the barrier island at the north was closed later. Carmona & Ruiz (1999) indicate that the barrier island located in front of core SAL 1/2 was opened at that moment, according geomorphological criteria.

Finally, the last unit identified as a brackish marsh can be differentiated in two subunits. The first one is characterised with flood events with an age of 791 ± 104 cal yr BP, which is consistent with the core SAL 1/2 when total isolation of the lagoon occurred. The second one is still a brackish marsh unlike core SAL 1/2, where a freshwater lagoon was identified. In these samples foraminifera were barely found. These facts may suggest the influence of the Turia River and the Catarroja Channel as a source of freshwater, but with the proximity of the marine environment. In this context, the constancy of the marine influence at this area was located during more time at the North lagoon. In consequence, it is possible that the north barrier island was closed later, according with Carmona & Ruiz (1999).

CONCLUSION

The principal assemblages of benthic foraminifera were *A. tepida*, *H. germanica* and *C. excavatum*, with intermittent dominance of normal-marine foraminifera as *R. globularis*, *M. circularis* and hiposaline marsh taxa like *E. macrescens*.

The evolution of the Valencia lagoon at this point in the last 3000 cal yr BP was from a brackish lagoon with clear marine communication, with low energy and almost isolated, to a complete isolation of the brackish lagoon, with massive precipitation and charcoal events at the top. The marine influence is perceived until at least 1073 ± 240 cal yr BP. Lastly, a deposit of brackish marsh indicates the disconnection with the open sea and the greater influence of the fluvial environment.

In any case, the foraminifera association continues to indicate that the proximity of the marine environment at this part of the marsh. In contrast, in the further core, the marine disconnection is identified in 3710 ± 130 cal yr BP, and the top shows a freshwater lagoon and a swampy environment, which could indicate that the barrier island was closed later at the most northern part of the lagoon.

REFERENCES

- Blázquez, A.M., Ferrer, C., 2012. Role of human actions on landscape changes since the Upper Holocene in the Bajo Segura Basin (SE Spain). *Catena* 97: 31-40.
- Blázquez, A.M., Usera, J., 2010. Palaeoenvironments and Quaternary foraminifera in the Elx coastal lagoon (Alicante, Spain). *Quaternary International* 221: 68-90.
- Carmona, P., Ruiz, J.M., 1999. Evolucion en el Holoceno reciente del delta del río Turia y la restinga de la Albufera de Valencia. In *Geoarqueología i Quaternari litoral. Memorial María Pilar Fumanal*. Valencia, pp. 321-330.
- Carmona, P., Ruiz-Pérez J.M., Blázquez, A.M, López-Belzunce, M., Riera, S., Orengo, O., 2016. Environmental evolution and mid-late Holocene climate events in the Valencia lagoon (Mediterranean coast of Spain). *The Holocene* 26(11): 1750–1765.

- Fisher, R.A., Corvet, A.S., Williams, C.B., 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a randomn sampel of an animal population. *Journal Animal Ecology* 12: 42-58.
- Shannon, C.E., Wiener, W., 1949. The matematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. 117 p.

ALTERAÇÕES AMBIENTAIS NA COSTA MOÇAMBICANA, DURANTE O HOLOCÉNICO

A. Gomes¹; E. Skosey-LaLonde²; B. Zinsious^{1, 2}; C. Gonçalves¹; N. Bicho¹; M. Raja^{1, 3}; J. Cascalheira¹; J. Haws^{1, 4}

¹ Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano, Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

aisgomes@ualg.pt

² University of Connecticut, EUA

³ Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique

⁴ University of Louisville, EUA

ABSTRACT

In the framework of the project "Stone Age Vilankulos: Modern Human Origins Research South of the Rio Save, Mozambique" a geoarchaeological survey was conducted in 2016 aiming to better understand the environmental history and landscape evolution of the Inhambane coastal area, Southeastern Mozambique, including the environmental context of human occupation. To reach this purpose, 23 sediment surface samples were collected across a variety of environments (e.g. freshwater, brackish and marine environments). These samples will be used as modern analogues to interpret the sedimentological and paleontological records (i.e. diatom record) of 4 cores collected in a mangrove area of the Inhambane estuary and then reconstruct its palaeoenvironmental evolution. Preliminary data on the modern diatoms analysis, and cores sedimentological description and dating are presented.

RESUMO

No âmbito do projeto "A Idade da Pedra em Vilankulos: Pesquisa sobre as Origens do Homem Moderno a Sul do Rio Save, Moçambique" em 2016 efetuou-se uma investigação geoarqueológica com o objetivo de compreender melhor a história ambiental e a evolução da paisagem na zona costeira de Inhambane, Sudeste de Moçambique, incluindo o contexto ambiental para a ocupação humana da área. Para atingir este objectivo, recolheram-se 23 amostras de sedimento superficial ao longo de uma variedade de ambientes (e.g. ambientes de água doce, salobra e salgada). Estas amostras serão usadas como análogos modernos para interpretar os registos sedimentares e paleontológicos (i.e., registo de diatomáceas) de 4 sondagens efetuadas numa área de mangal do estuário de Inhambane e depois reconstruir a sua evolução paleoambiental. Neste trabalho apresentam-se os resultados preliminares da análise de diatomáceas das amostras modernas, e a descrição sedimentológica das sondagens e as suas datações.

INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre as alterações ambientais e os seus factores forçadores é de grande importância para a compreensão da evolução humana e dos padrões de assentamento. Contudo, a maioria da investigação paleoambiental desenvolvida em conjunto com estudos arqueológicos, tem sido desenvolvida em sedimentos de afloramentos ou em sondagens de mar profundo, ambos com problemas associados: (i) a exposição dos afloramentos à meteorização e (ii) as sondagens de mar profundo encontram-se muito distantes dos sítios arqueológicos para poderem dar resposta a muitas das questões essenciais aos estudos arqueológicos (Cohen et al., 2016). Assim, as zonas de mangal, localizadas na proximidade de sítios arqueológicos, são os melhores locais para desenvolver estes estudos interdisciplinares, uma vez que elas preservam registos sedimentares relevantes, com fósseis de diversos organismos que são muito sensíveis quer a alterações climáticas quer do nível médio do mar. Além disso, contrastando com outras áreas do planeta, existem poucos estudos paleoambientais em África (e.g. Robinson & Rowan, 2017) e especificamente em Moçambique, que é uma área chave para o estudo da evolução humana (Bicho et al., 2016). Desta forma, este estudo tem como objetivo (i) contribuir para uma melhor compreensão da evolução do estuário de Inhambane, sudeste de Moçambique, através de um estudo multi-proxy e (ii) compreender os seus impactos na evolução humana e nos padrões de assentamento.

MÉTODOS

Recolheram-se 23 amostras de sedimento superficial ao longo de uma variedade de ambientes: ambientes de água doce - bacia do Rio dos Elefantes no Sudoeste de Moçambique - e ambiente intermareal de água salobra e salgada - na área costeira de Inhambane, Sudeste de

Moçambique. Todos os pontos de amostragem foram georeferenciados e a área de estudo foi sobrevoada com um drone para recolher dados fotogramétricos. Tanto as amostras superficiais como as amostras dos testemunhos das sondagens foram utilizadas para efetuar análises de diatomáceas, texturais e geoquímicas.

RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO

As preferências ambientais das principais espécies de diatomáceas das amostras modernas, englobam uma vasta gama ambiental, o que é essencial para efetuar reconstruções paleoambientais precisas, particularmente na reconstrução da história ambiental de uma área influenciada por alterações climáticas e pelo nível médio do mar. Nestas amostras verificou-se ainda que a preservação das diatomáceas é moderada nos canais de maré e elevada em ambientes menos hidrodinâmicos. A diversidade das diatomáceas é elevada em todas as amostras analisadas e a equitabilidade é moderada a elevada.

Os resultados das análises geoquímicas efetuadas às amostras das sondagens, revelaram que a maior parte da matéria orgânica presente nas amostras tem uma origem terrestre (Meyers, 1997) nos últimos 4700 anos cal BP. As concentrações mais elevadas de CaCO_3 e os valores mais baixos do rácio C/N podem relacionar-se com a progradação lateral do mangal, que é provavelmente a responsável pela alternância entre ambientes mais e menos hidrodinâmicos. Estas alterações ambientais podem também ter sido responsáveis pela fraca preservação das diatomáceas registada numa secção da sondagem M1.

REFERÊNCIAS

- Bicho, N., Haws, J., Raja, M., Madime, O., Gonçalves, C., Cascalheira, J., Benedetti, M., Pereira, T., Aldeias, V., 2016. Middle and Late Stone Age of the Niassa region, northern Mozambique. Preliminary results. *Quaternary International* 404, 87–99. doi:10.1016/j.quaint.2015.09.059
- Cohen, A., Campisano, C., Arrowsmith, R., Asrat, A., Behrensmeyer, A.K., Deino, A., Feibel, C., Hill, A., Johnson, R., Kingston, J., Lamb, H., Lowenstein, T., Noren, A., Olago, D., Owen, R.B., Potts, R., Reed, K., Renaut, R., Schäbitz, F., Tiercelin, J.-J., Trauth, M.H., Wynn, J., Ivory, S., Brady, K., O'Grady, R., Rodysill, J., Githiri, J., Russell, J., Foerster, V., Dommain, R., Rucina, S., Deocampo, D., Russell, J., Billingsley, A., Beck, C., Dorenbek, G., Dullo, L., Feary, D., Garello, D., Gromig, R., Johnson, T., Junginger, A., Karanja, M., Kimburi, E., Mbuthia, A., McCartney, T., McNulty, E., Muiruri, V., Nambiro, E., Negash, E. W., Njagi, D., Wilson, J. N., Rabideaux, N., Raub, T., Sier, M. J., Smith, P., Urban, J., Warren, M., Yadeta, M., Yost, C., Zinaye, B., 2016. The Hominin Sites and Paleolakes Drilling Project: Inferring the environmental context of human evolution from eastern African rift lake deposits. *Scientific Drilling* 21: 1–16. doi:10.5194/sd-21-1-2016
- Meyers, P.A., 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry* 27 (5/6): 213–250.
- Robinson, J.R., Rowan, J., 2017. Holocene paleoenvironmental change in southeastern Africa (Makwe Rockshelter, Zambia): Implications for the spread of pastoralism. *Quaternary Science Reviews* 156: 57–68. doi:10.1016/j.quascirev.201

PALAEOGEOGRAPHICAL EVOLUTION OF COASTAL SYSTEMS OF SW PORTUGAL

M. Leira¹; M.C. Freitas¹; C. Andrade¹

¹ Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Bloco C6, Piso 3, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.
mleira@fc.ul.pt

ABSTRACT

The present study provides an overview of the development of coastal systems of the southwest coast of Portugal over the last ~7500 years. A well-supported chronology provides an accurate time estimation of sedimentary gaps and changes in sedimentary accumulation rates. Stratigraphic analysis shows that elevation was the main factor controlling the origin and evolution of each coastal system type.

INTRODUCTION

Portuguese littoral morphological and sedimentary systems were formed during transgressive periods, such as the Holocene. Patterns and consequences of sea level rise (SLR) during and following the last deglaciation in the Iberian Peninsula have been studied by several authors (Lario et al., 2002; Zazo et al., 2008; Boski et al., 2008; Vis et al., 2008). All authors agree that SLR was initially very rapid and that slowed down afterwards. This subsequent evolution varies, according to the authors, from a stabilization with oscillations (Zazo et al., 2008) to stages of descent (Boski et al., 2008). Our aim is to review existing core and chronostratigraphic data to provide a history of inundation and sedimentation along the SW Portuguese coastal zone during the Holocene transgression.

METHODS

The southwest Portuguese coast shows different types of sedimentary systems. From beaches fronting well-developed dune systems and dune slacks (wet and dry) to permanently flooded open estuaries and (3) back-barrier lagoons. We performed a comparative stratigraphic metanalysis of already studied coastal systems (Table 1) supported by palaeoenvironmental reconstructions that combined sedimentological analysis with robust chronologies to recognize regional sedimentary patterns, major changes in sediment accumulation rates, and investigate erosional and/or non-depositional episodes preserved as sedimentary hiatuses.

Table 1: List of sites included in this study and original references within parentheses.

Site name (references)
Albufeira (Bao et al., 1999; Freitas et al., 2002); Alcantarilha, Ribeira do Farelo, Ribeira da Torre (Schneider et al., 2016); Guadiana estuary (Boski et al., 2002; Fletcher et al., 2007); Lagoa de Sancha (Cruces, 2015); Lagoa de Sto André (Freitas et al., 2003); Lagoa do Golfo, Vale da Carragueira (Queiroz, 1999); Lagoa Travesa, Figueira de Baixo (Mateus, 1992); Mira estuary (Alday et al., 2006); Lagoa de Melides, Poços do Barbaroxa (Queiroz, 1999; Freitas et al., 2002; Cruces, 2015); Carcavai, Quarteira, Sao Lourenço (Schneider et al., 2009; Trog et al., 2015); Tagus estuary (Almeida et al., 2009).

RESULTS

The study of the sedimentary sequences allowed the identification of several phases characterized by pronounced variation in sedimentation rates. Early Holocene accumulation was low. In tandem with the rising sea level, sedimentation rates increased during transgression. Once sea level reached its Holocene maximum, sedimentation rates declined considerably. In the Quarteira estuary, the accumulation rate from 5.3 ka until 3.0 ka cal BP ranged from 0.4 to 1.4 mm/y. In the Carcavai estuary, a “no-sedimentation” episode has to be considered between 6.3 ka and 3.3 ka cal BP. Sedimentation rates also dropped considerably between 5.3 and 2.6 ka cal BP at Barbaroxa de Baixo and from about 4.1 to 3.2 ka BP at Lagoa Travessa and Barbaroxa de Cima. Sedimentation increased at all sites immediately after and until recently, when they slowed down again. An abrupt change is visible after 1.0 ka cal BP in many of the studied sites.

DISCUSSION

The sedimentary records of these systems share a common development consisting of two distinct sedimentary phases, with major changes in accumulation rates, separated by a “no-sedimentation” episode that took place sometime in the period 6.0 to 2.5 ka cal BP. The observed differences in timing basically depend on the relative elevation of the systems (Bao et al., 2007; Costas et al., 2009). Lower sites, estuaries and back-barrier lagoons, were flooded between the Early and the Mid-Holocene, while systems occupying intermediate positions were formed during the Mid-Holocene. Finally, sites in higher coastal positions developed at the Late Holocene. Higher sedimentation rates are favored by larger accommodation spaces as a consequence of sea level rise.

CONCLUSION

The studied coastal systems share three main evolutionary phases that involved major changes in sedimentation rates: (1) During the early Holocene, rapid SLR favored high sedimentation rates; (2) The Mid-Holocene stabilization of sea-level brought up a scenario of limited accommodation space, characterized by negligible or very low accumulation rates; (3) Finally, during the Late Holocene, the renewed acceleration in rates of SLR allowed creation of new accommodation space, increasing sedimentation rates.

REFERENCES

- Alday, M., Cearreta, A., Cachao, 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(3): 532-543.
- Almeida, I.M., Andrade, C., Freitas, M.C., Moreno, J., Cabral, M.C., Craveiro, S.C., Marques, F.M.S.F., 2009. Holocene Paleoenvironmental Evolution of the Lisbon Downtown Area as Recorded in the Esteiro da Baixa Sediments—First Results. *Journal of Coastal Research*: 574-578.
- 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.
- Bao, R., Alonso, A., Delgado, C., Pagés, J.L., 2007. Identification of the main driving mechanisms in the evolution of a small coastal wetland (Traba, Galicia, NW Spain) since its origin 5,700 cal yr BP. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 247: 296-312.
- Boski, T., Moura, D., Veiga-Pires, C., Camacho, S., Duarte, D., Scott, D.B., Fernandes, S.G., 2002. Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150(1), 103-122.
- 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.
- 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.
- Cruces, A.G., 2016. *Caracterização de ambientes de transição do SW Alentejano a distintas escalas temporais*. PhD These, Universidade de Lisboa, Portugal.
- 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.
- 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, 161-170.
- Freitas, M.C., Andrade, C., Rocha, F., Tassinari, C., Munhá, J. M., Cruces, A., Vidinha, J., da Silva, C. M., 2003. Lateglacial and Holocene environmental changes in Portuguese coastal lagoons 1: the sedimentological and geochemical records of the Santo André coastal area. *The Holocene* 13(3): 433-446.
- Lario, J., Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Borja, F., Silva, P.G., Sierro, F., González, A., Soler, V., 2002. Changes in sedimentation trends in SW Iberia Holocene estuaries (Spain). *Quaternary International* 93-94: 171-176.
- Mateus, J., 1992. *Holocene and present-day ecosystems of the Carvalhal Region, Southwest Portugal*. PhD thesis, Rijksuniversiteit Utrecht, Netherlands.
- Queiroz, P.F., 1999. *Ecologia histórica da paisagem do Noroeste Alentejano*. PhD thesis, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Schneider, H., Höfer, D., Trog, C., Busch, S., Schneider, M., Baade, J., Daut, G., Mäusbacher, R., 2010. Holocene estuary development in the Algarve Region (Southern Portugal)—A reconstruction of sedimentological and ecological evolution. *Quaternary International* 221(1): 141-158.
- Schneider, H., Höfer, D., Trog, C., Mäusbacher, R., 2016. Holocene landscape development along the Portuguese Algarve coast—A high resolution palynological approach. *Quaternary International* 407: 47-63.
- Trog, C., Hempel, R., Frenzel, P., Mäusbacher, R., 2015. Holocene palaeoenvironmental changes in three lagoons on the Algarve coast of Portugal. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 95(2): 203-221.
- 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. *Quaternary International* 181, 72-87.
- Vis, G.-J., Kasse, C., Vandenbergh, J., 2008. Late Pleistocene and Holocene palaeogeography of the Lower Tagus Valley (Portugal): effects of relative sea level, valley morphology and sediment supply. *Quaternary Science Reviews* 27: 1682-1709.



Sistemas marinhos

Sistemas marinos

GEOMORPHOMETRY OF MUD VOLCANOES IN THE GULF OF CADIZ.

O. Sánchez-Guillamón¹; M.C. Fernández-Puga²; L.M. Fernández Salas³; J.T. Vázquez¹; D. Palomino¹; L. Somoza⁴; T. Medialdea⁴; N. López-González¹; R. León⁴, F.J González⁴

¹ Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Málaga, Puerto Pesquero S/N, 29640 Fuengirola, Málaga. olga.sanchez@ma.ieo.es, juantomas.vazquez@ma.ieo.es, desiree.palomino@ma.ieo.es, nieves.lopez@ma.ieo.es

² Facultad de CC del Mar y Ambientales, Avda. República Saharaui S/N, 11510 Puerto Real, Cádiz. mcarmen.fernandez@uca.es

³ Instituto Español de Oceanografía, C.O. de Cádiz, Muelle Pesquero S/N, 11640 Cádiz. luismi.fernandez@cd.ieo.es

⁴ Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. l.somoza@igme.es, t.medialdea@igme.es, r.leon@igme.es, fj.gonzalez@igme.es

ABSTRACT

Full coverage bathymetric digital elevation models (DEMs) have provided an ideal input for quantitative geomorphological analysis of the Gulf of Cadiz mud volcanoes. A geomorphometric analysis of 65 structures has been carried out, by means of 7 variables, in order to quantitatively describe mud volcano size, shape and slope. Subsequently, the application of a grouping analyst ArcGIS tool enables a morphometric classification in four mud volcanoes groups. The morphometric methodology of DEM could give insights into the processes that affect the geomorphology of mud volcanoes.

RESUMO

Modelos de elevação digital de cobertura total (MED) tem provido um insumo ideal para análises quantitativas geomorfológicas do Golfo de Cádiz. Nós definimos o contorno basal das 65 estruturas e sete variáveis morfológicas têm sido computadas para descrever quantitativamente tamanho, forma e inclinação do vulcão. Subsequentemente, a aplicação da uma ferramenta de análise de grupo ArcGIS permite uma classificação morfométrica em 4 tipos de vulcões. A metodologia morfométrica de MED pode gerar novas informações dos processos que afetam a morfologia de vulcões de lama.

INTRODUCTION

The morphology of a mud volcano (MV) is the result of the complex interaction through space and time between constructive (fluidized mud extrusion, stacked deposition and biomineralizations) and destructive (gravitational, bottom currents action, deformation and collapse) processes that can shape distinctly these seafloor structures. In the Gulf of Cadiz (GoC), more than 60 MVs gathered in different fields have been discovered since 2000 between 150 and 4000 m below sea level (mbsl) (e.g. Somoza et al., 2003). They are related to Pliocene-Quaternary tectonic structures and deep overpressured shale and evaporite diapirs (Medialdea et al., 2009). This work is focused on a quantitatively determine how these processes affect MVs morphology and to establish morphometric groups based on their footprint at the seafloor.

MATERIAL AND METHODS

High resolution bathymetric datasets (10-90 m cell size) were acquired using multibeam echosounders. In order to carry out morphometric analysis, DEMs were analyzed, MV contours were extracted and seven morphometric variables were computed that quantitatively describe MV size, shape and slope (Figure 1A). Moreover, we have applied a GIS-based tool to classify MVs in different morphometric groups defined on the relationships between these variables.

RESULTS

Descriptive statistics show mostly sub-circular MVs ranging from 10 to 250 m height, 2° to 50° flank slope and volumes up to 13 km³. The application of aforementioned methodology has established four different morphometric groups (G1-G4) (Figure 1): the first group (G1) is constituted by the 14 smoothest and circular isolated MVs located at the lower slope of the GoC, mainly at the Deep Portuguese field (DPF). The second group (G2) is composed of the 17 most elongated, irregular and smallest edifices, mainly located in clusters at the western Moroccan field (WMF) and the shallow Spanish field (SSF). The third group (G3) is the most representative with 31 sub-conical MVs of intermediate size and slope. It is widespread at both Spanish and Moroccan fields. The fourth group (G4) contains only 3, the largest and sized outlier MVs located at the Middle and Eastern Moroccan fields (MMF and EMF) (Figure 1C).

DISCUSSION AND CONCLUSION

Circular and the smoothest MVs of G1 are the deepest, hence lower resolution would be partially dismiss their geometry. Even though, they are linked to thrust faults and deep salt diapirs (Medialdea et al., 2009) that point out possible morphological differences in the style, nature and rate of extrusion of MVs related to marly clay diapirs of the middle slope of the GoC. Smallest and most irregular MVs in G2 are located on undulated seafloor characterized by escarpments related to thrusts fronts in the WMF (Fernández-Puga et al., 2015) and affected by moderate bottom currents in the SSF (Palomino et al., 2016). The great variety of intermediate MVs in G3 is related to the interaction of diapirism processes and recent tectonic activity (Somoza et al., 2003), the overpressured sediments due to the highest sedimentary loading and thickness at the Moroccan margin (Gutscher et al., 2012) and the action of bottom currents such as the Mediterranean Outflow Water in the Spanish MV fields (Palomino et al., 2016). Outstanding MVs of G4 are linked to the WNW-ESE transfer fault system of the GoC, suggesting a possible major fault control of MV activity and emplacement (Toyos et al., 2016).

This morphometric methodology produces a comparable dataset that enables to quantitatively document different morphologies in MVs associated to different geological processes. It could be used as a comprehensive morphometric MVs classification methodology.

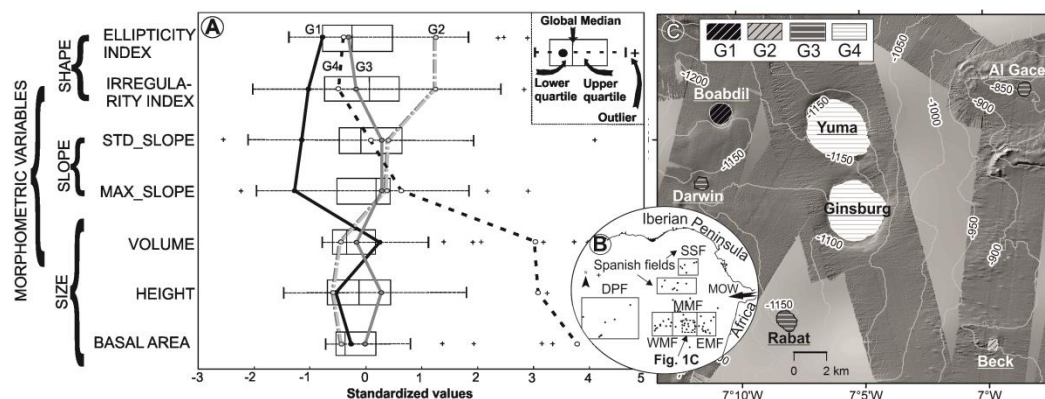


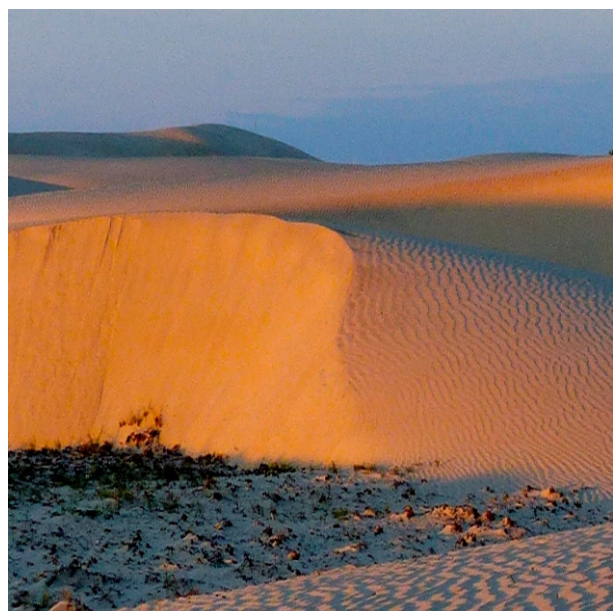
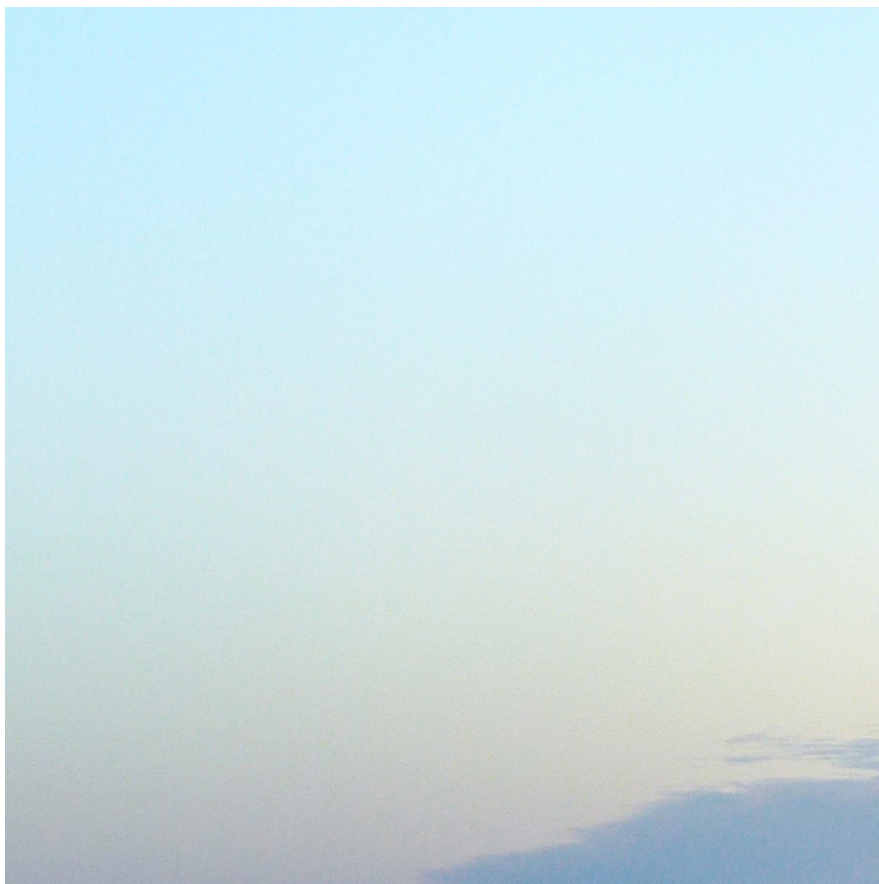
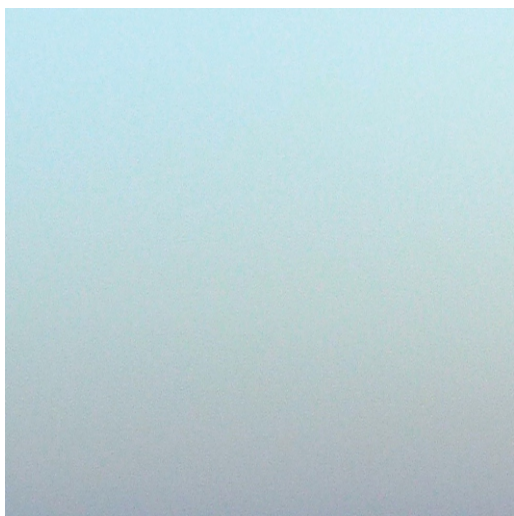
Figure 1. Morphometric analysis of MVs in the Gulf of Cadiz. A) Parallel box plot showing the relationships between the four groups (G1-G4) and the seven featured variables; B) Basemap of the Gulf of Cadiz with the location of the MVs; C) Hillshade map of the Middle Moroccan MV field showing examples of each morphometric groups: G1 (Boabdil MV), G2 (Beck MV), G3 (Darwin, Al Gacel and Rabat MVs) and G4 (Yuma and Ginsburg MVs).

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is a contribution to SUBVENT (CGL2012-39524-C02-01) and INPULSE (CTM2016-75129-C3-1-R) projects, Spain MINECO.

REFERENCES

- Fernández-Puga, M.C., Sánchez-Guillamón, O., Fernández-Salas, L.M., Vázquez, J.T., Palomino, D., Somoza, L., Medialdea, T., González, F.J., León, R., 2015. Morphological and structural characterization of new mud volcanoes along the Moroccan margin of the Gulf of Cadiz. In: *Abstracts of the VIII Symposium on the Iberian Atlantic margin*, pp. 153-156.
- Gutscher, M.A., Domínguez, S., Westbrook, G.K., Le Roy, P., Rosas, F., Duarte, J.C., Terrinha, P., Miranda, J.M., Graindorge, D., Gailler, A., Sallares, V., Bartolome, R., 2012. The Gibraltar subduction: A decade of new geophysical data. *Tectonophysics* (574-575), 72-91.
- Medialdea, T., Somoza, L., Pinheiro, L.M., Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., León, R., Ivanov, M.K., Magalhaes, V., Díaz-del-Río, V., Vegas, R., 2009. Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cádiz. *Marine Geology* 261: 48-63.
- Palomino, D., López-González, N., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L., Sánchez-Leal, R., Díaz-del-Río, V., 2016. Multidisciplinary study of mud volcanoes and diapirs and their relationship to seepages and bottom currents in the Gulf of Cádiz continental slope (northeastern sector). *Marine Geology* 378: 196-212.
- Somoza, L., Díaz-del-Río, V., León, R., Ivanov, M., Fernández-Puga, M.C., Gardner, J.M., Hernández-Molina, F.J., Pinheiro, L.M., Rodero, J., Lobato, A., Maestro, A., Vázquez, J.T., Medialdea, T., Fernández-Salas, L.M., 2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cadiz mud volcano area: acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data. *Marine Geology* 195: 153-176.
- Toyos, M.H., Medialdea, T., León, R., Somoza, L., González, F.J., Meléndez, N., 2016. Evidence of episodic long-lived eruptions in the Yuma, Ginsburg Jesús Baraza and Tasyo mud volcanoes, Gulf of Cádiz. *Geo-Marine Letters* 36: 197-214. doi: 10.1007/s00367-016-0440-z.



LISTA DE AUTORES

LISTA DE AUTORES

A

- A. A. B. Junior **43**
 A. A. Gomes (albgomes@gmail.com) 58
 A. A. Martins (aam@uevora.pt) 26, 58, 98
 A. B. Bastida 121
 A. Cearreta (alejandro.cearreta@ehu.eus) 96, 157
 A. Gomes (aisgomes@ualg.pt) 24, **88**, 90, **165**
 A. L. Vázquez-Rodríguez (alexandreluis.vazquez@gmail.com) 35, **125**
 A. M. Costa (acosta@dgpc.pt) 67
 A. M. Monge Soares (amsoares@ctn.tecnico.ulisboa.pt) **107**, **143**
 A. M. S. Bettencourt 115
 A. M^a. Blázquez Morilla 151
 A. María Blázquez 161
 A. Martinez-Graña (amgranna@usal.es) 53, 92, 137
 A. Nascimento 90
 A. Pérez Cueva (Alejandro.Perez@uv.es) 73
 A. Rodrigues 67
 A. Rodríguez-Pérez (anarodriper@gmail.com) 151
 A. S. Murray (anmu@dtu.dk) 96
 A. Toscano 155

B

- B. Alonso (belen@icm.csic.es) 103
 B. Bautista (begovigo@usal.es) 53
 B. Ghaleb (ghaleb.bassam@uqam.ca) 41
 B. Zinsious (bkzinsious@gmail.com) 24, 165

C

- C. Andrade 67, 167
 C. Costa (cmcosta@ulag.pt) **28**, 115
 C. Dabrio (dabrio@geo.ucm.es) 92
 C. Gonçalves (cmgoncalves@ualg.pt) **21**, 24, 165
 C. Heras (cmheras@trebedecultura.com) 121
 C. Hillaire-Marcel (chm@uaqm.ca) **14**, 41
 C. N. de Carvalho (carlos.praedichnia@gmail.com) 19
 C. Sousa (cssousa@ualg.pt) 77, 83
 C. Veiga-Pires (cvpieres@ualg.pt) 41
 C. Zazo (mcnzc65@mncn.csic.es) 92

D

- D. Casas (d.casas@igme.es) 103
 D. M. R. Sampath (rmudiyanselage@ualg.pt) **71**, 83
 D. Moura (dmoura@ualg.pt) 88, **90**, 92
 D. Nunes (dina@ctn.tecnico.ulisboa.pt) 143
 D. Palomino (desiree.palomino@ma.ieo.es) 103, 171

E

- E. Font (font_eric@hotmail.com) 45
 E. Moya (emoyaurbano@gmail.com) 103
 E. Rodríguez-Escudero 133
 E. Roquero (elvira.roquero@upm.es) 49, 53, **92**, 121, 133, 137
 E. Sainz de Murieta (elisa.sainzdemurieta@bc3research.org) **96**
 E. Skosey-LaLonde (eskoseylalonde@gmail.com) 24, 165

F

- F. J. González (fj.gonzalez@igmes.es) 171
F. J. González-Vila 85
F. J. Lobo (pacolobo@iact.ugr-csic.es) 105
F. L. Lorente 43
F. Ruiz 155
F. Sousa (mfernandasousa57@gmail.com) 19
F. Tátá 113

G

- G. Ercilla (gemma@icm.csic.es) 103

H

- H. Lantzsch (lantzsch@uni-bremen.de) 105
H. Serrano (humberto.serrano@ehu.eus) 157

I

- I. Benedetti 24
I. Guerrero-Amador (inmaguer@us.es) 37
I. Gutiérrez-Zugasti (igorgutierrez.zug@gmail.com) 143
I. Mendes (imendes@ualg.pt) 105
I. Sanchez Ramos (isabelm.sanchez@uam.es) 117

J

- J. A. González-Pérez 85
J. Bermejo 31
J. Campos 31
J. Cascalheira (jmcascalheira@ualg.pt) 21, 24, 113, 165
J. Civis (jcivis@usal.es) 137
J. Duarte 67
J. Elez (j.elez@usal.es) 49, 53, 121, 133, 137
J. Gómez Arozamena (jose.gomez@unican.es) 157
J. Hall-Riaza 35
J. Haws (jahaws@gmail.com) 21, 24, 165
J. Horta (jphorta@ualg.pt) 90
J. Huvi 69
J. J. Fernández-Caro 37
J. L. Giner Robles (jorge.giner@uam.es) 49, 53, 121, 133
J. L. Goy (joselgoy@usal.es) 92
J. M. Azevedo 69
J. M. Ruiz (jose.m.ruiz-perez@uv.es) 73, 79
J. Miguel Ruiz 161
J. Morín de Pablos (jmorin@audema.com) 117
J. Nespereira (jnj@usal.es) 103
J. Ponte (jorgeponte89@gmail.com) 41
J. R. González de la Cal (info@paz-cal.com) 117
J. R. Sampedro-Guimarey 35
J. Rodríguez-Vidal (jrvidal@dgeo.uhu.es) 31, 155
J. Schönfeld (jschoenfeld@geomar.de) 105
J. T. Vázquez (juantomas.vazquez@ma.ieo.es) 103, 171
J. Urrea (javier.urra@ma.ieo.es) 103
J. Usera Mata 151
J. Zilhão (joao.zilhao@ub.edu) 11, 143
J.-P. Buylaert (jabu@dtu.dk) 96

K

K. Reicherter (k.reicherter@nug.rwth-aachen.de) 137

L

L. André (linoantonio@gmail.com) 24

L. Antón 105

L. C. R. Pessenda (pessenda@cena.usp.br) 43

L. M. Cáceres 31, 155

L. M. Fernández Salas (luismi.fernandez@cd.ieu.es) 103, 171

L. Pereira 77

L. Somoza (l.somoza@igme.es) 171

M

M. A. Perucha (ma.perucha@igme.es) 49, 117, 121, 133, 137

M. A. Rodríguez-Pascua (ma.rodriguez@igme.es) 49, 53, 117, 121, 133, 137

M. Abad 155

M. Benedetti (benedettim@uncw.edu) 24

M. C. Fernández-Puga (mcarmen.fernandez@uca.es) 171

M. C. Freitas 67, 167

M. Carvalho (mcarvalho@unm.edu) 24

M. Costa-Casais (manuela.costa@usc.es) 63

M. Diniz 67

M. F. Araújo (faraujo@ctn.tecnico.ulisboa.pt) 143

M. Farran (mfarran@icm.csic.es) 103

M. I. Reguera (mi.reguera@igme.es) 105

M. J. Clemente 155

M. J. Irabien (mariajesus.irabien@ehu.eus) 157

M. Kumar (a40176@ualg.pt) 85

M. L. González-Regalado 155

M. Leira (mleira@fc.ul.pt) 67, 167

M. López-Belzunce 161

M. M. Mendes (mmmendes@mail.telepac.pt) 145

M. Nabais (mariananabais@gmail.com) 143

M. P. Gouveia (mariamport@gmail.com) 26, 58, 98

M. P. Mata (p.mata@igmes.es) 103

M. Raja (mussaraja@gmail.com) 21, 24, 165

M. Senra (martaccsenra@gmail.com) 115

M. Valcárcel Díaz (marcos.valcarcel@usc.es) 33, 125

N

N. Bicho (nbicho@ualg.pt) 21, 24, 113, 165

N. López-González (nieves.lopez@ma.ieu.es) 103, 171

O

Ó. Ferreira 105

O. Peña Pérez 121

O. Sánchez-Guillamón (olga.sanchez@ma.ieu.es) 171

O. Tello (olvido.tello@ieu.es) 103

P

P. A. Dinis (pdinis@dct.uc.pt) 69, 145

P. Arias 67

P. Callapez (zapellac@gmail.com) 143

P. Carmona (Carmona@uv.es) 79, 161

P. Carmona (pilar.carmona@uv.es) 73
P. Carrasco García (retep81@usal.es) 121
P. G. Silva (pgsilva@usal.es) 49, 53, 117, 121, 133, 137
P. Gómez 31, 155
P. Horta 113
P. Huerta (phuerta@usal.es) 133, 137
P. J. C. Portela (paulo.portela@ctn.tecnico.ulisboa.pt) 107, 143
P. M. Carreira (carreira@ctn.tecnico.ulisboa.pt) 143
P. P. Cunha (pcunha@dct.uc.pt) 19, 26, 58, 96, 98
P. V. Gómez-Diego 53

R

R. Baena-Escudero (baena@us.es) 37
R. Blanco-Chao (ramon.blanco@usc.es) 63
R. León (r.leon@igme.es) 171
R. Mota 67
R. Pérez-López 133
R. Tallón-Armada (rebeca.tallon@usc.es) 63

S

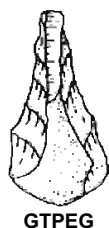
S. Figueiredo (Silverio.figueiredo@ipt.pt) 19, 26
S. L. Lebreiro (susana.lebreiro@igme.es) 105
S. Oliveira (soniaajoliveira@gmail.com) 88, 90

T

T. Bardají (teresa.bardaji@uah.es) 53, 92, 137
T. Boski (tboski@ualg.pt) 65, 71, 77, 83, 85, 92
T. Hanebuth (thanebuth@coastal.edu) 105
T. Izquierdo 155
T. Medialdea (t.medialdea@igme.es) 171
T. Taboada-Rodriguez (teresa.taboada@usc.es) 63
T. Tominic (tina.tominic@gmail.com) 58

X

X. Pontevedra-Pombal (xabier.pombal@usc.es) 35, 125



ORGANIZAÇÃO

ORGANIZACIÓN

CIMA

Centro de Investigação Marinha e Ambiental



ICArEHB



UAlg

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

 **centro**
ciência viva
do **algarve**